Informe metodológico de adecuación de instalaciones de acondicionamiento térmico en entornos patrimoniales protegidos

30/06/25

Interreg
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
España – Portugal
feenert

Índice de contenidos

0. Introducción **5**

0.1 Antecedentes 7

0.2 Introducción 10

1. Marco Teórico **13**

1.1 Definición de las instalaciones térmicas propuestas 13

1.2 Importancia de la sostenibilidad en entornos patrimoniales 17

1.3 Evolución histórica de las instalaciones de acondicionamiento térmico en entornos patrimoniales 21

1.4 Desafíos y consideraciones específicas para la adecuación de instalaciones de acondicionamiento térmico en entornos patrimoniales 23

1.5 Marco Legal y normativo. Comparativa de regulaciones internacionales 27

2. Metodología **37**

2.1 Selección de casos de estudio 37

2.2 Evaluación del entorno patrimonial 39

2.3 Evaluación de viabilidad técnica y económica de las instalaciones de acondicionamiento térmico en edificios 41

2.4 Métodos de mitigación de impactos en el patrimonio histórico y cultural 43

2.5 Herramientas de análisis y evaluación utilizadas 46

2.6 Estrategias de comunicación y sensibilización con la comunidad local 48

3. Estudio de casos **51**

3.1 Descripción de los entornos patrimoniales seleccionados 51

3.2 Análisis de la implementación de instalaciones renovables en cada caso 65

3.3 Resultados obtenidos 72

3.4 Evaluación de casos de éxito 75

3.5 Evaluación de casos no exitosos. Desafíos encontrados 79

3.6 Conclusiones y buenas prácticas 82

4. Análisis de resultados **84**

4.1 Impacto de las instalaciones de acondicionamiento térmico en edificios ubicados en entornos patrimoniales protegidos 84

4.2 Beneficios económicos, sociales y ambientales 85

4.3 Análisis coste beneficio detallado 86

4.4 Identificación de posibles conflictos y limitaciones 89

4.5 Evaluación de la efectividad de las estrategias de mitigación 91

5. Conclusiones **93**

5.1 Síntesis y conclusiones de la evaluación realizada 93

5.2 Necesidades para la adecuación de instalaciones de acondicionamiento térmico en entornos patrimoniales 94

5.3 Recomendaciones para estudios futuros 95

6. Referencias **97**

Anexo 1. Análisis costo-beneficio **100**

Anexo 2. Plantilla de autoevaluación **127**

Índice de tablas

Tabla 1. Datos iniciales estimados de los edificios de los entornos patrimoniales seleccionados. 68
Tabla 2. Criterios de hermeticidad 70
Tabla 3. Criterios de viabilidad de ventilación mecánica. 70
Tabla 4. Criterios sobre la posibilidad de atravesar la fachada. 71
Tabla 5. Criterios sobre la posibilidad de renovar el suelo. 72
Tabla 6. Resumen del análisis costo-beneficio para la solución 1. 88
Tabla 7. Resumen del análisis costo-beneficio para la solución 2. 89

Índice de figuras

Figura 1. Preservación e integración de sistemas bioclimáticos. 10
Figura 2. Esquema de comportamiento térmico. 11
Figura 3. Estrategias para la integración discreta de instalaciones modernas. 13
Figura 4. Diagrama de flujo simple sistemas de ventilación 15
Figura 5. Sistemas radiantes como solución discreta. 16
Figura 6. Intervención térmica exitosa en Patrimonio. 17
Figura 7. Planificación técnica y diseño de estrategias sostenibles. 18
Figura 8. Desafío de la escala urbana. 19
Figura 9. El reto de la invisibilidad. 25
Figura 10. Fundamentos de la intervención patrimonial. 28
Figura 11. Rigor metodológico en la selección. 37
Figura 12. Metodología de selección de casos de estudio 38
Figura 13. Matriz de criterios en la evaluación de casos de estudio 39
Figura 14. La base documental. 40
Figura 15. Principio de mínima intervención. 44
Figura 16. Implementación de sistemas de recuperación de calor. 48
Figura 17. Flujo de información y objetivos 49
Figura 18. Sensibilización y acceso comunitario. 50
Figura 19. Arquitectura monumental. 51
Figura 20. Ejemplos del patrimonio pacense. 52
Figura 21. Casa de las Dos Torres (Plasencia). 53
Figura 22. Casa-Palacio del Marqués de la Conquista (Trujillo). 54
Figura 23. Iglesia de San Miguel Arcángel (Jerez de los Caballeros) 55
Figura 24. Plaza Chica (Zafra). 56
Figura 25. Barrio judío (Hervás) 57
Figura 26. Arquitectura popular de la Sierra de Gata (Robledillo de Gata) 58
. Figura 27. Fachadas de piedra y madera (Valverde de la Vera) 59
Figura 28. Arquitectura compacta de piedra (Tornavacas) 60
Figura 29. Casas tradicionales de Piedra (Nuñomoral). 61
Figura 30. Casas blancas tradicionales en el entorno de la Fortaleza de Elvas. 62
Figura 31. Fachada de Vivienda en el centro histórico de Évora. 63
Figura 32. Viviendas tradicionales de piedra en la Serra da Estrela. 64
Figura 33. Edifício dos Paços do Concelho (Elvas). 66
Figura 34. Diagrama de selección de soluciones. 69
Figura 35. Edificio residencial (Cáceres). 101
Figura 36. Teatro López de Ayala (Badajoz). 103
Figura 37. Antigua Casa de la Salud - Colegio Jesuitas (Plasencia). 105
Figura 38. Edificio residencial (Trujillo). 107
Figura 39. Museo de Arte Sacro (Jerez). 109
Figura 40. Convento Santa Clara (Zafra). 111
Figura 41. Cine (Hervás). 113
Figura 42. Alojamento local (Robledillo de Gata). 115
Figura 43. Edificio residencial (Valverde de la Vera). 117

Figura 44. Ayntamiuento Plaza de Jose Antonio (Tornavacas). 119
Figura 45. Ayntamiento de Nuñomoral. 121
Figura 46. Paços do Concelho (Elvas). 123
Figura 47. Edificio residencial (Évora). 125
Figura 48. Museo Histórico-Militar de Almeida (Serra da Estrela). 127

0. Introducción

0.1 Antecedentes

FEEnERT es un proyecto que surge a raíz del objetivo de promoción de la rehabilitación de las arquitecturas tradicionales históricas en la Eurorregión EUROACE. Esta Eurorregión abarca las regiones portuguesas del Alentejo (4 NUTS III y 47 municipios) y del Centro (10 NUTS III y 77 municipios) y la región española de Extremadura, compuesta por dos NUTS III y 383 municipios que abarcan un territorio de 92.500km2. En términos de superficie, la zona EUROACE supone un 16% del territorio total de la Península Ibérica, mientras que, en términos de población, supone únicamente alrededor de un 7% de la población de la península.

La estructura territorial de la zona EUROACE se compone de medias y pequeñas ciudades. El extenso territorio y los recursos naturales y paisajísticos constituyen uno de los activos más relevantes dentro de este espacio fronterizo, siendo destacable, además, la existencia de una adecuada dotación de servicios y una buena accesibilidad extrarregional. A continuación, se exponen brevemente las tres principales regiones de esta zona.

Región del Alentejo (Portugal)

Alentejo (capital regional: Évora) es la región portuguesa más extensa con un área territorial equivalente a unos 31.500 km², que corresponde aproximadamente a un tercio del territorio del país. Alentejo incluye los NUTs III de Baixo Alentejo, Alto Alentejo, Alentejo Central y Alentejo Litoral, con un total de 47 municipios, y limita con las regiones portuguesas de Centro, Algarve y las regiones españolas de Extremadura y Andalucía.

Esta región ha sido históricamente una zona de asentamientos agrícolas que data de la época romana. En sus núcleos urbanos y rurales, se pueden encontrar edificaciones que conservan una arquitectura tradicional adaptada al clima mediterráneo semiárido de la región. Esta adaptación se refleja en el uso de materiales locales como la piedra y la cal, así como en técnicas constructivas que optimizan la temperatura interior frente a las altas temperaturas estivales.

Región Centro (Portugal)

La Región Centro Portugal, cuya capital es Coímbra, se extiende sobre 28.000 km². Esta región comprende íntegramente los distritos de Coimbra, Castelo Branco y Leiria, la mayor parte de los distritos de Aveiro, Viseu y Guarda, parte norte del Distrito de Lisboa y cerca de un tercio del Distrito de Santarém. Ubicada en la parte central de Portugal, la región tiene una posición estratégica ya que está situada entre los dos principales centros urbanos nacionales: Lisboa y Oporto.

La Región Centro es rica en asentamientos históricos que datan de la Edad Media y el Renacimiento. Esta región ha sido un importante centro de comercio y cultura, con una gran influencia arquitectónica tanto de los estilos manuelino y renacentista como de la arquitectura tradicional portuguesa.

Extremadura (España)

Extremadura es una comunidad autónoma española situada al suroeste de la península ibérica. Está compuesta por dos provincias: Cáceres y Badajoz, cuyas capitales son sus dos ciudades más pobladas. La región tiene su capital en Mérida. Su territorio cubre una superficie de 41.634 km², aproximadamente el 8% de la superficie total del país.

Extremadura cuenta con un vasto patrimonio cultural y arquitectónico que abarca desde la época romana hasta la modernidad. Con poblaciones rurales que conservan estructuras de arquitectura popular, la región ofrece un ejemplo destacado de la interacción entre las técnicas constructivas tradicionales y el entorno natural, adaptado al clima continental seco.

Dentro de estas tres regiones de mayor tamaño, existen numerosas edificaciones históricas que reflejan la diversidad cultural y la adaptación ecológica de las comunidades a su entorno, cuyo valor no es solamente histórico, sino también como reflejo de una parte integral del tejido social y económico de las zonas rurales.

Estos edificios son significativos consumidores de energía, lo que resalta la necesidad urgente de implementar mejoras en su eficiencia energética. Así, el objetivo de FEEnERT es llevar a cabo un conjunto de acciones que adapten las construcciones vernáculas y patrimoniales de uso no residencial a los riesgos asociados al cambio climático, promoviendo una rehabilitación sensible, sostenible y resiliente que mejore la eficiencia energética de estas edificaciones, y haciéndolo en cumplimiento de la normativa vigente, mayoritariamente la transposición de la Directiva 2010/31/UE sobre eficiencia energética, por la que se excluye a los edificios históricos de realizar intervenciones que puedan alterar su carácter o aspecto.

Esto no solo contribuirá a la preservación del patrimonio cultural, sino que también fomentará el desarrollo económico y social en la Eurorregión EUROACE.

0.2 Introducción

0.2.1 Contexto del estudio

La preservación del patrimonio cultural es un pilar fundamental para la identidad y continuidad de las sociedades, representando un valioso legado histórico, arquitectónico y social. En este sentido, los edificios históricos y las edificaciones tradicionales en entornos patrimoniales protegidos constituyen elementos del patrimonio arquitectónico de elevado valor, por lo que requieren medidas de conservación que equilibren la preservación de su autenticidad con la adaptación a los estándares de confort y eficiencia energética actuales.

La adecuación de estos espacios a las crecientes necesidades de climatización y confort térmico plantea desafíos únicos. Por un lado, está la necesidad de asegurar condiciones óptimas de habitabilidad y salud ambiental para sus ocupantes, incluso en los casos de uso no residencial. Por otro lado, existe el reto de realizar estas intervenciones con una sensibilidad y cuidado extremo para no alterar la esencia y los valores arquitectónicos, históricos y culturales de las estructuras. En consecuencia, la implementación de instalaciones de acondicionamiento térmico y ventilación en estos entornos patrimoniales debe realizarse con una metodología que integre técnicas avanzadas de conservación y adaptación tecnológica.

Figura 1. Preservación e integración de sistemas bioclimáticos.
Intervención que aúna metodologías constructivas tradicionales y volúmenes contemporáneos para garantizar la sostenibilidad y el confort térmico. La estrategia integra soluciones estructurales respetuosas que minimizan el impacto visual, asegurando la convivencia entre la innovación actual y la autenticidad de las fachadas protegidas en el tejido histórico.

Dado que la sostenibilidad es hoy un valor central en la adecuación arquitectónica, la adaptación de los edificios patrimoniales a las necesidades modernas se perfila como una estrategia imprescindible para alinear los principios de sostenibilidad con la protección cultural. Este enfoque busca asegurar no solo el confort y la salubridad de los espacios, sino también su preservación a largo plazo en condiciones que

respeten su entorno, minimicen el impacto ambiental y prolonguen su vida útil sin comprometer su valor histórico.

0.2.2 Objetivos del informe

El presente informe tiene como objetivo principal establecer una metodología de análisis detallada para evaluar los requisitos y los posibles obstáculos en la instalación de sistemas de ventilación y climatización en edificaciones de arquitectura tradicional dentro de entornos patrimoniales protegidos. Este análisis busca ofrecer una visión exhaustiva sobre los aspectos técnicos, legales y culturales que deben considerarse al integrar instalaciones de acondicionamiento térmico en estos espacios.

A través de este documento se pretende, en primer lugar, identificar los requerimientos específicos de adecuación para edificios patrimoniales, evaluando la compatibilidad de estos sistemas con las características originales de cada edificación. Además, se buscará formular conclusiones y recomendaciones que permitan implementar soluciones de climatización respetuosas con el patrimonio y, al mismo tiempo, funcionales en términos de eficiencia energética y sostenibilidad. Finalmente, el informe presentará estrategias prácticas que orienten las intervenciones futuras, de manera que se garantice tanto la protección del patrimonio cultural como la optimización del confort ambiental en edificaciones de uso público.

0.2.3 Justificación de la adecuación de las instalaciones de ventilación y climatización en entornos patrimoniales

La adaptación de edificios históricos y patrimoniales a los actuales estándares de calidad ambiental no solo responde a una necesidad de confort, sino que es un requisito clave para la conservación de estas estructuras a largo plazo. Las demandas contemporáneas de calidad del aire y condiciones térmicas en espacios de uso público exigen soluciones que aseguren un ambiente saludable para los ocupantes, especialmente en contextos de alta densidad de visitas y uso prolongado. Los edificios patrimoniales, muchas veces carentes de sistemas modernos de ventilación y climatización, requieren intervenciones adecuadas que mantengan el equilibrio entre la conservación de su autenticidad y la creación de un ambiente interior seguro y confortable.

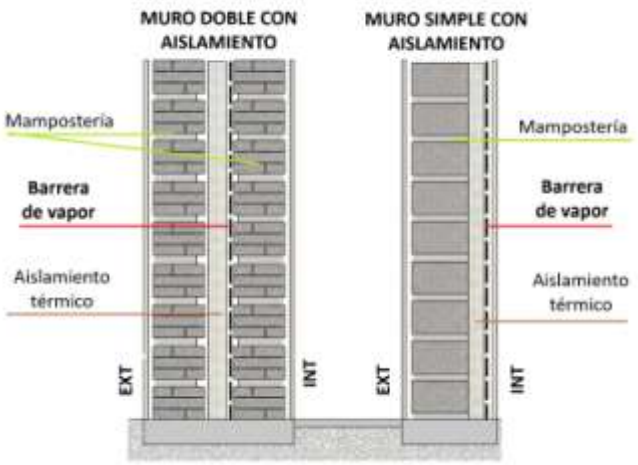


Figura 2. Esquema de comportamiento térmico.

La renovación de las propiedades térmicas de edificios históricos es especialmente desafiante debido a la importancia cultural de sus fachadas, lo que generalmente descarta el aislamiento externo y favorece el aislamiento interno. Sin embargo, el aislamiento interno reduce drásticamente la temperatura en las paredes originales, aumentando el riesgo de crecimiento de moho y, en construcciones de madera, de putrefacción. Este riesgo puede minimizarse mediante la elección de materiales adecuados y sistemas de ventilación que controlen la humedad interior. Simulaciones en paredes históricas de madera han demostrado que el éxito de la renovación depende significativamente de las condiciones del aire interior. Además, detalles estructurales, como las vigas de madera en techos, son vulnerables a la alta humedad si se combinan con aislamiento interno. La calidad del aire interior (IEQ) en estos edificios depende de la permeabilidad al aire, los sistemas de ventilación y el uso de ventanas. La investigación ha encontrado que, en edificios históricos sin renovaciones, la IEQ suele ser deficiente, con altos niveles de humedad y bajas temperaturas, ya que los altos costos de calefacción limitan la ventilación[1].

A nivel ambiental, la incorporación de sistemas de climatización en estos espacios ofrece beneficios claros, como la reducción de la humedad, el control de la temperatura y la mejora de la calidad del aire, factores que son fundamentales para evitar el deterioro de elementos arquitectónicos y decorativos. Además, estos sistemas contribuyen a la sostenibilidad de las edificaciones al permitir el uso racional de la energía y fomentar el uso de tecnologías eficientes y de bajo impacto.

En conclusión, la adecuada integración de instalaciones de ventilación y climatización en entornos patrimoniales protegidos no solo incrementa el bienestar de las personas, sino que constituye un paso crucial para garantizar la conservación de los edificios históricos, permitiendo que estos continúen siendo parte activa de las ciudades y comunidades.

[1] Rieser, A., Pfluger, R., Troi, A., Herrera-Avellanosa, D., Thomsen, K. E., Rose, J., Arsan, Z. D., Akkurt, G. G., Kopeinig, G., Guyot, G., et al. (2021). Integration of energy-efficient ventilation systems in historic buildings—Review and proposal of a systematic intervention approach. *Sustainability, 13*, 2325. https://doi.org/10.3390/su130423

1. Marco Teórico

1.1 Definición de las instalaciones térmicas propuestas

Las instalaciones térmicas consideradas en este estudio incluyen sistemas de ventilación y climatización diseñados específicamente para adaptarse a las exigencias y particularidades de los edificios de arquitectura tradicional ubicados en entornos patrimoniales protegidos.

El aislamiento interno suele ser una de las soluciones energéticas más viables para edificios históricos, debido a la necesidad de preservar la arquitectura. Sin embargo, esto plantea problemas específicos relacionados con la ventilación, la temperatura interior y el riesgo higrotérmico (es decir, el riesgo de acumulación de humedad). Las condiciones climáticas externas varían considerablemente según la región y la temporada, y aunque estas no se pueden modificar, es posible influir en el clima interior. Los edificios históricos no renovados han funcionado durante siglos sin cumplir con los estándares modernos de confort y eficiencia energética, por lo que es fundamental entender los efectos de cualquier intervención. Al mejorar la hermeticidad, es crucial elevar la temperatura de las superficies internas, optimizando las propiedades térmicas del edificio, a fin de minimizar los riesgos asociados a la humedad.

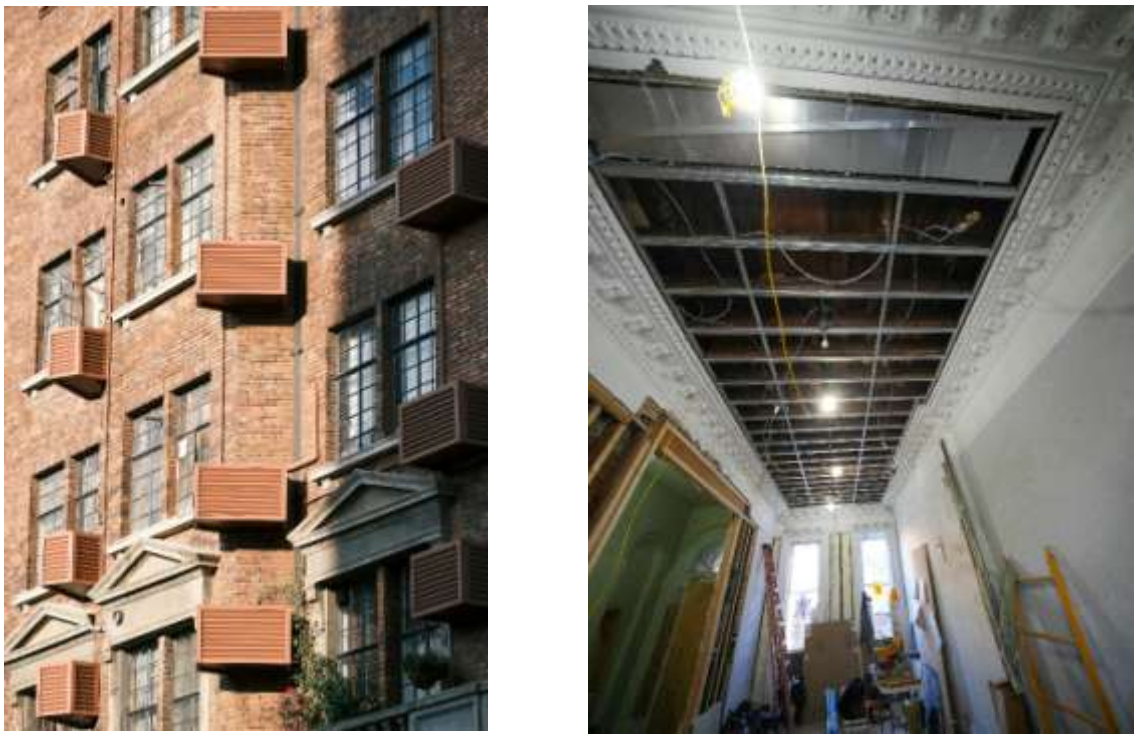


Figura 3. Estrategias para la integración discreta de instalaciones modernas.
Ejemplos de soluciones técnicas para minimizar el impacto visual de los sistemas térmicos (VMC, VRV). A la izquierda, mimetización de unidades exteriores en fachada mediante celosías; a la derecha, ocultación de conductos interiores tras falsos techos fónicos y ornamentales, preservando la autenticidad del entorno patrimonial.

Para mejorar el rendimiento energético de los edificios históricos, varios estudios han analizado la viabilidad de diferentes acciones considerando las restricciones normativas. Según estos estudios, las acciones más efectivas son la mejora del aislamiento de la envolvente del edificio y la optimización de los sistemas de climatización (HVAC)[2] y agua caliente sanitaria (DHW)[3]. Sin embargo, la integración de fuentes de energía renovable y el almacenamiento de energía térmica resulta difícil de implementar en este tipo de edificios[4].

En este contexto se hace, por tanto, esencial, que las intervenciones no alteren la estética, estructura ni materiales originales de las edificaciones, y que, además, respeten su valor histórico y cultural. En consecuencia, los sistemas térmicos seleccionados deben responder tanto a las necesidades de confort térmico y calidad ambiental como a las limitaciones de conservación arquitectónica.

1.1.1 Sistemas de ventilación

La ventilación en entornos patrimoniales es fundamental para mantener la calidad del aire interior y controlar la humedad, dos factores que impactan directamente en la conservación de los materiales originales y el bienestar de los ocupantes. Los sistemas de ventilación propuestos incluyen:

Ventilación natural controlada

Este sistema aprovecha la circulación natural del aire mediante la apertura estratégica de ventanas y rejillas de ventilación. En edificios patrimoniales, donde la estructura suele ser delicada y no permite grandes modificaciones, la ventilación natural es una opción menos invasiva. Puede mejorarse con la instalación de rejillas de flujo continuo o dispositivos de regulación de apertura que optimicen el intercambio de aire sin alterar la fachada o elementos constructivos. Sin embargo, en ciertas ocasiones este tipo de ventilación también pueden presentar potenciales desventajas a tener en cuenta, como el ruido y la baja temperatura. En su lugar, los sistemas de ventilación mecánica, especialmente aquellos con recuperación de calor o control de flujo según demanda, son esenciales para mejorar la IEQ y la eficiencia energética en edificios históricos[5].

Sistemas de ventilación mecánica con recuperación de calor (VMC)

Estos sistemas permiten la extracción y renovación de aire en el interior del edificio sin comprometer su eficiencia energética. La VMC utiliza intercambiadores de calor que aprovechan la energía del aire expulsado para calentar o enfriar el aire entrante, lo cual es crucial en entornos donde es importante mantener la temperatura y humedad estables. Este sistema es adecuado en contextos patrimoniales debido a su capacidad de integrar componentes de baja visibilidad y tamaño reducido, que pueden colocarse en espacios discretos para preservar la estética original.

---

[2] Heating, Ventilation, and Air Conditioning.

[3] Domestic Hot Water.

[4] Rieser, A., Pfluger, R., Troi, A., Herrera-Avellanosa, D., Thomsen, K. E., Rose, J., Arsan, Z. D., Akkurt, G. G., Kopeinig, G., Guyot, G., et al. (2021). Integration of energy-efficient ventilation systems in historic buildings—Review and proposal of a systematic intervention approach. *Sustainability, 13*, 2325. https://doi.org/10.3390/su130423

[5] Rieser, A., Pfluger, R., Troi, A., Herrera-Avellanosa, D., Thomsen, K. E., Rose, J., Arsan, Z. D., Akkurt, G. G., Kopeinig, G., Guyot, G., et al. (2021). Integration of energy-efficient ventilation systems in historic buildings—Review and proposal of a systematic intervention approach. *Sustainability, 13*, 2325. https://doi.org/10.3390/su130423

Ventilación híbrida

Combina la ventilación natural y la ventilación mecánica, ajustándose a las necesidades de flujo de aire según las condiciones ambientales y el uso del edificio. Este tipo de sistema es especialmente ventajoso en entornos patrimoniales, ya que permite maximizar el uso de la ventilación natural mientras recurre a la ventilación mecánica sólo cuando sea necesario. La flexibilidad de estos sistemas hace posible adaptar su operación sin afectar al edificio, aprovechando al máximo los recursos naturales y minimizando el impacto en la estructura.

Figura 4. Diagrama de flujo simple sistemas de ventilación

1.1.2 Sistemas de climatización

Para garantizar el confort térmico en los edificios patrimoniales protegidos, es esencial contar con sistemas de climatización que respeten las condiciones originales y no alteren las características arquitectónicas de los espacios. Entre las opciones más adecuadas se destacan:

Climatización por aire acondicionado de volumen de refrigerante variable (VRV)

Este sistema permite controlar de manera precisa la temperatura de diferentes zonas del edificio, ajustando la cantidad de refrigerante que circula en función de la demanda térmica. Los sistemas VRV son muy eficientes energéticamente y, al requerir conductos y unidades internas de tamaño reducido, permiten una integración menos invasiva en el edificio patrimonial. Además, estos sistemas pueden colocarse en áreas discretas y manejarse de forma que no comprometan la estética ni la estructura original.

Sistemas de climatización por suelo radiante

Los sistemas radiantes ofrecen una distribución homogénea de calor a través del suelo, lo que reduce la necesidad de instalar unidades visibles en paredes o techos, respetando así el diseño interior de la edificación. Aunque su instalación requiere obras en los pavimentos, el suelo radiante es una opción adecuada en edificios patrimoniales ya que permite una calefacción eficiente sin intervención directa en los muros. Además, el uso de suelo radiante con tecnología de baja temperatura optimiza el consumo energético.

Figura 5. Sistemas radiantes como solución discreta.
El suelo radiante es una opción adecuada en el patrimonio por su distribución térmica homogénea y su capacidad de no alterar los muros ni la estética interior de la edificación original.

Sistemas de bomba de calor de fuente aire o geotérmica

Las bombas de calor de fuente aire o geotérmica son soluciones sostenibles que aprovechan el calor del entorno (aire o subsuelo) para climatizar los espacios interiores. En entornos patrimoniales, las bombas de calor geotérmicas son especialmente adecuadas, ya que pueden instalarse en el exterior o en zonas de poco impacto visual, y ofrecen una opción de calefacción y refrigeración eficiente y de bajo impacto ambiental. Estos sistemas, que pueden integrarse con radiadores o suelo radiante, aseguran el confort térmico minimizando la intervención estructural y maximizando el rendimiento energético.

1.1.3 Características y aplicaciones específicas en entornos patrimoniales

Los sistemas de ventilación y climatización propuestos deben cumplir con ciertos criterios de adaptación a edificios históricos. Entre las características más destacables se incluyen:

- Baja visibilidad: Los sistemas deben diseñarse para integrarse discretamente en los espacios, minimizando el impacto visual y manteniendo la estética original de los edificios patrimoniales.

- Compatibilidad estructural: Las soluciones seleccionadas deben adaptarse a la estructura sin afectar la integridad de los elementos originales ni exigir modificaciones permanentes o irreversibles en los materiales históricos.
- Eficiencia energética y control de humedad: Los sistemas deben contribuir a la sostenibilidad energética del edificio, reduciendo la demanda de energía a través de tecnologías eficientes, y controlar la humedad para evitar daños en elementos como paredes, pinturas y estructuras de madera.
- Mantenimiento y operatividad simplificados: La facilidad de mantenimiento y la operación intuitiva de estos sistemas son fundamentales para asegurar su durabilidad y funcionalidad, aspectos esenciales en edificios de alto valor patrimonial.

Figura 6. Intervención térmica exitosa en Patrimonio.
Pilares fundamentales para una intervención térmica exitosa en edificios patrimoniales, garantizando el equilibrio entre eficiencia, conservación y operatividad.

En consecuencia, la implementación de estos sistemas de ventilación y climatización en entornos patrimoniales protegidos permite lograr un equilibrio entre el confort térmico y la preservación cultural. Las soluciones propuestas no solo mejoran el bienestar de los usuarios, sino que también juegan un papel esencial en la conservación de los edificios a largo plazo, garantizando que los espacios patrimoniales puedan seguir siendo utilizados y apreciados en condiciones óptimas para las generaciones futuras.

1.2 Importancia de la sostenibilidad en entornos patrimoniales

La sostenibilidad en el contexto del patrimonio cultural hace referencia a la capacidad de preservar, conservar y gestionar los recursos culturales de manera que se puedan mantener a lo largo del tiempo, minimizando el impacto negativo en el medio ambiente de la manera más eficiente posible y promoviendo un desarrollo social y económico equitativo. Por otro lado, el diseño sostenible aplicado al ámbito del patrimonio cultural busca equilibrar la preservación del pasado con las necesidades del presente y del

futuro, adoptando enfoques que respeten la ecología, la cultura local y promuevan un desarrollo sostenible a largo plazo[6].

La sostenibilidad es un aspecto fundamental en la preservación del patrimonio arquitectónico, ya que asegura la viabilidad a largo plazo de los edificios históricos y protege su valor cultural y arquitectónico. Los edificios patrimoniales no solo son testigos de la historia y la identidad de una comunidad, sino que también constituyen recursos no renovables que, una vez deteriorados o transformados de manera irreversible, pierden su autenticidad y valor. En este sentido, adoptar prácticas sostenibles en la gestión y adaptación de estos espacios es indispensable para mantener su integridad y funcionalidad en un contexto de cambio climático y creciente demanda de eficiencia energética.

Figura 7. Planificación técnica y diseño de estrategias sostenibles.
La planificación técnica y el diseño de estrategias de sostenibilidad son la base para garantizar la viabilidad a largo plazo de los edificios históricos. A través de la reutilización adaptativa, se mantiene el valor cultural y la funcionalidad de la edificación para la sociedad, integrando las necesidades modernas en el respeto a la preexistencia.

El entorno que rodea un bien patrimonial (elemento o sitio) es tan importante como la estructura en sí. Por eso, a la hora de diseñar una intervención en un entorno patrimonial se debe tener en consideración no solo de edificaciones individuales, sino también el entorno (físico, cultural y social) y el paisaje cultural que rodea el patrimonio, buscando preservar la armonía y la integridad del conjunto (COST, 2019). Además, deben primar estrategias de diseño que minimicen el impacto visual de nuevas adiciones al paisaje tanto natural, como urbano, manteniendo la armonía visual y cultural. La reutilización adaptativa del patrimonio implica dar nuevos usos a edificios históricos en lugar de demolerlos. Este enfoque no sólo preserva la historia y la arquitectura, sino que también evita la utilización de recursos adicionales para la construcción de nuevas estructuras. En lo referente al medioambiente, la aplicación de tecnologías innovadoras, como sistemas de

[6] Walliser Martín, M. L. (2024). Sostenibilidad y patrimonio: Aportaciones desde el diseño. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, 216, 47-64. ISSN-e 1853-3523, ISSN 1668-0227.

gestión de energía eficientes, sensores ambientales y soluciones de conservación avanzadas, puede mejorar la eficiencia operativa de los sitios patrimoniales sin comprometer su integridad histórica[7].

1.2.1 Sostenibilidad y conservación del patrimonio arquitectónico

La aplicación de principios sostenibles en los entornos patrimoniales tiene un doble objetivo: conservar los edificios en su estado original tanto como sea posible y garantizar su adaptación a las necesidades modernas sin comprometer su valor histórico. En el ámbito de la conservación arquitectónica, la sostenibilidad no solo implica el uso racional y eficiente de los recursos energéticos, sino también la preservación de los materiales y elementos originales del edificio, minimizando el impacto de las intervenciones. Esto resulta esencial en el contexto patrimonial, donde el mantenimiento y protección de los elementos constructivos originales —mampostería, fachadas, cubiertas, entre otros— es crucial para preservar la autenticidad y el valor cultural de los espacios.

Además del valor histórico de los edificios, éstos representan también una fuente de consumo de energía y emisiones de CO_2 que no debe obviarse. En particular, la calefacción y refrigeración de espacios, así como la producción de agua caliente, representan aproximadamente la mitad del consumo energético global en los edificios. Estos usos energéticos son oportunidades clave para reducir el consumo de energía, mejorar la seguridad energética y disminuir las emisiones de CO_2.

Figura 8. Desafío de la escala urbana.
La mejora de la sostenibilidad en los centros históricos es crucial, ya que el volumen y la densidad de los edificios patrimoniales representan una fuente significativa del consumo energético global. Intervenir en estos conjuntos requiere una visión sistémica que equilibre la eficiencia energética con la preservación de la identidad del paisaje histórico.

[7] Walliser Martín, M. L. (2024). Sostenibilidad y patrimonio: Aportaciones desde el diseño. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, 216, 47-64. ISSN-e 1853-3523, ISSN 1668-0227.

En el contexto de edificios patrimoniales protegidos, que suelen ser de baja eficiencia energética, estos retos son especialmente relevantes. Los edificios históricos, que constituyen entre el 30 % y el 40 % del total en Europa, aportan valor al paisaje urbano, atraen al turismo y son espacios apreciados por los residentes. Sin embargo, las restricciones legales para preservar su apariencia, materiales y técnicas de construcción originales limitan las intervenciones de eficiencia energética.

A pesar de ser una pequeña proporción del total de edificaciones, los edificios de valor patrimonial tienen un impacto significativo en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero mediante medidas de eficiencia energética. Así, la mejora de la sostenibilidad en estos edificios no solo ayuda a preservar su valor cultural, sino que contribuye a los objetivos más amplios de desarrollo sostenible.

1.2.2 Beneficios de la sostenibilidad para el confort y el uso continuado de los edificios patrimoniales

El confort térmico y la calidad ambiental son factores clave para garantizar el uso continuo y satisfactorio de los edificios patrimoniales. Implementar instalaciones de acondicionamiento térmico y ventilación sostenibles en estos espacios no solo beneficia a los ocupantes y visitantes al mejorar las condiciones de habitabilidad, sino que también hace que los edificios sean más atractivos y funcionales para actividades culturales, turísticas y comunitarias. Un entorno interior confortable y saludable promueve el uso prolongado y adecuado de estos espacios, evitando que queden en desuso o en deterioro por falta de funcionalidad.

La implementación de soluciones de ventilación y climatización sostenibles permite controlar mejor las condiciones ambientales internas, lo cual protege los materiales sensibles a la humedad, temperatura y polución. Esto es especialmente importante en edificios que albergan elementos de valor histórico, los cuales pueden deteriorarse rápidamente si no se mantienen en condiciones estables. Así, al reducir la necesidad de reparaciones o reemplazos frecuentes, la sostenibilidad también contribuye a disminuir los costos de conservación, favoreciendo un mantenimiento menos invasivo y preservando la esencia arquitectónica del edificio.

1.2.3 La revalorización de los entornos patrimoniales a través de prácticas sostenibles

La sostenibilidad en la gestión de entornos patrimoniales impulsa su revalorización social, cultural y económica, favoreciendo el equilibrio entre la preservación de las edificaciones y la promoción del desarrollo económico local, ya que un entorno patrimonial bien conservado y adaptado a las necesidades modernas es un recurso turístico y cultural de gran valor. Al integrar sistemas sostenibles, los edificios patrimoniales se proyectan como modelos de eficiencia y respeto por el entorno, demostrando que es posible adaptarse a las exigencias contemporáneas sin sacrificar el valor cultural. Esto refuerza el reconocimiento y apreciación de los entornos patrimoniales como activos valiosos y contribuye a una mayor concienciación sobre la importancia de proteger y cuidar estos espacios.

Por tanto, la implementación de prácticas sostenibles en este ámbito, no solo incrementa el valor arquitectónico de los edificios, sino que también refuerza su papel como patrimonio vivo. Así, las soluciones de ventilación y climatización sostenible en edificios patrimoniales no solo mejoran el confort de quienes los

habitan, sino que también garantizan que estos espacios continúen siendo significativos y accesibles para generaciones futuras.

En conclusión, la sostenibilidad es un componente esencial en la preservación del patrimonio arquitectónico, ya que permite conservar estos edificios a largo plazo, mejorar su funcionalidad y adaptabilidad a los requerimientos actuales, y revitalizar su rol en la sociedad. La adopción de prácticas energéticas sostenibles en edificios patrimoniales garantiza que estos puedan mantenerse en condiciones óptimas y continúen siendo un recurso cultural y social de gran valor. La sostenibilidad, por tanto, no solo preserva el pasado, sino que también permite integrar los entornos patrimoniales en la vida moderna, haciendo de estos espacios patrimoniales ejemplos de innovación, conservación y respeto hacia la identidad cultural.

1.3 Evolución histórica de las instalaciones de acondicionamiento térmico en entornos patrimoniales

La integración de sistemas de acondicionamiento térmico en edificios patrimoniales ha experimentado una notable evolución a lo largo del tiempo. Desde la antigüedad, las construcciones han incorporado diversas técnicas para controlar el clima interior y mejorar la habitabilidad. Sin embargo, el concepto de "acondicionamiento térmico" como lo conocemos hoy comenzó a desarrollarse a partir del siglo XIX con el avance de la tecnología industrial, y desde entonces, las soluciones han ido evolucionando en respuesta a las demandas de confort, sostenibilidad y conservación del patrimonio arquitectónico.

La ventilación natural, mediante la apertura de ventanas y la infiltración de aire, fue históricamente el método principal de intercambio de aire en edificios patrimoniales. Este enfoque de ventilación natural contribuyó a la conservación a largo plazo de los materiales y componentes de los edificios, al confort térmico de los ocupantes y a la mejora de la calidad del aire interior. En climas fríos, durante los meses de calefacción, el flujo de aire natural también se potenciaba por la presión negativa generada por estufas de tiro abierto (debido al efecto chimenea). Edificios históricos como bibliotecas, museos, palacios y santuarios fueron diseñados deliberadamente con mecanismos de ventilación pasiva para conservar adecuadamente sus colecciones y artefactos culturales[8].

Con la Revolución Industrial, comenzaron a desarrollarse sistemas de climatización más avanzados, como las calderas de agua caliente y los primeros sistemas de calefacción a vapor. Estos sistemas empezaron a ser integrados en edificios emblemáticos y patrimoniales, especialmente en Europa y Norteamérica, donde se valoraba tanto la innovación tecnológica como la preservación de los entornos arquitectónicos históricos. Sin embargo, la instalación de estos sistemas implicaba perforar muros y modificar espacios, lo que generó una creciente preocupación por los efectos de estas intervenciones en la conservación de los edificios históricos.

A comienzos del siglo XX, se inventaron los primeros sistemas de aire acondicionado, que se popularizaron en edificios públicos y patrimoniales en regiones de clima cálido. Los sistemas de aire acondicionado a gran escala, como el instalado en el Capitolio de los Estados Unidos en la década de 1920, introdujeron el desafío de equilibrar la demanda de confort con la necesidad de preservar la estructura original de los edificios

[8] Rieser, A., Pfluger, R., Troi, A., Herrera-Avellanosa, D., Thomsen, K. E., Rose, J., Arsan, Z. D., Akkurt, G. G., Kopeinig, G., Guyot, G., et al. (2021). Integration of energy-efficient ventilation systems in historic buildings—Review and proposal of a systematic intervention approach. *Sustainability, 13*, 2325. https://doi.org/10.3390/su130423

históricos. Estos sistemas solían ocupar espacios significativos y requerían de unidades de ventilación y ductos visibles, lo que dificultaba su integración en contextos patrimoniales.

En las décadas posteriores a la Segunda Guerra Mundial, la expansión urbana y el desarrollo del turismo incentivaron la preservación de edificios históricos como recursos culturales y económicos. En este contexto, comenzaron a desarrollarse sistemas de acondicionamiento térmico más compactos y eficientes que permitían intervenir en entornos patrimoniales con un menor impacto visual y estructural.

Durante las décadas de 1960 y 1970, el auge de la tecnología de aire acondicionado de ventana y de sistemas de calefacción centralizada permitió la incorporación de estas instalaciones en edificios históricos de Europa y América sin afectar considerablemente sus fachadas y elementos interiores. En esta época, sin embargo, aún predominaba un enfoque funcional sobre la sostenibilidad, y se prestaba menor atención a la eficiencia energética, lo que generaba altos costos de operación y desgaste de las estructuras patrimoniales por las constantes intervenciones.

A partir de la década de 1990, el enfoque sobre la sostenibilidad comenzó a ganar terreno, impulsado por el interés en proteger tanto el medio ambiente como los edificios históricos. En este contexto, las soluciones de climatización en entornos patrimoniales comenzaron a orientarse hacia sistemas de alta eficiencia y bajo impacto, como las bombas de calor y los sistemas de ventilación mecánica controlada. Estos sistemas permitían mejorar el confort y la calidad del aire sin alterar la estructura de los edificios, lo que resultaba esencial en entornos protegidos.

Los avances en tecnología permitieron además la miniaturización de los equipos y el desarrollo de sistemas integrados que se adaptan a espacios reducidos. Por ejemplo, en la Alhambra de Granada, se emplearon sistemas de climatización de bajo impacto visual, instalados en áreas no visibles para conservar la estética original del conjunto. En Venecia, en la Basílica de San Marcos, se integraron sistemas de control de humedad para evitar la degradación de los mosaicos, una solución que implicó el desarrollo de tecnología específica para intervenir en un entorno de alta sensibilidad.

En los últimos años, las tecnologías de ventilación híbrida y los sistemas de climatización por suelo radiante han ganado relevancia en la climatización de edificios históricos, ya que ofrecen soluciones discretas y eficaces para regular la temperatura sin comprometer la estructura o los acabados. Estos sistemas, que pueden ocultarse en muros o bajo el suelo, son especialmente útiles en edificios patrimoniales donde la conservación de la estética y la integridad constructiva son prioritarias.

Con el tiempo, el desafío de reducir el consumo energético ha influido en la evolución de la ventilación y la permeabilidad al aire en estos edificios. En climas mediterráneos o durante los meses cálidos de verano, la ventilación natural puede ser un recurso eficiente para enfriar edificios con alta inercia térmica mediante ventilación nocturna.

Sin embargo, en climas fríos la ventilación natural puede ser insuficiente para mantener el confort térmico, lo cual ha impulsado la necesidad de mejorar la eficiencia energética de los edificios históricos, volviéndolos más herméticos y añadiendo sistemas mecánicos de ventilación eficientes, como los sistemas de ventilación controlada y recuperación de calor (HRV). Estos sistemas permiten un control de ventilación que mejora la eficiencia energética sin perjudicar la conservación de los elementos históricos.

Al realizar estas adaptaciones, es fundamental considerar tanto los aspectos técnicos y de eficiencia energética, como los valores arquitectónicos e históricos de los edificios patrimoniales, evitando intervenciones que alteren su apariencia visual. Los sistemas de ventilación mecánica tradicionales, con conductos y aberturas visibles, suelen ser difíciles de integrar en estos edificios sin afectar su valor estético y patrimonial[9].

1.4 Desafíos y consideraciones específicas para la adecuación de instalaciones de acondicionamiento térmico en entornos patrimoniales

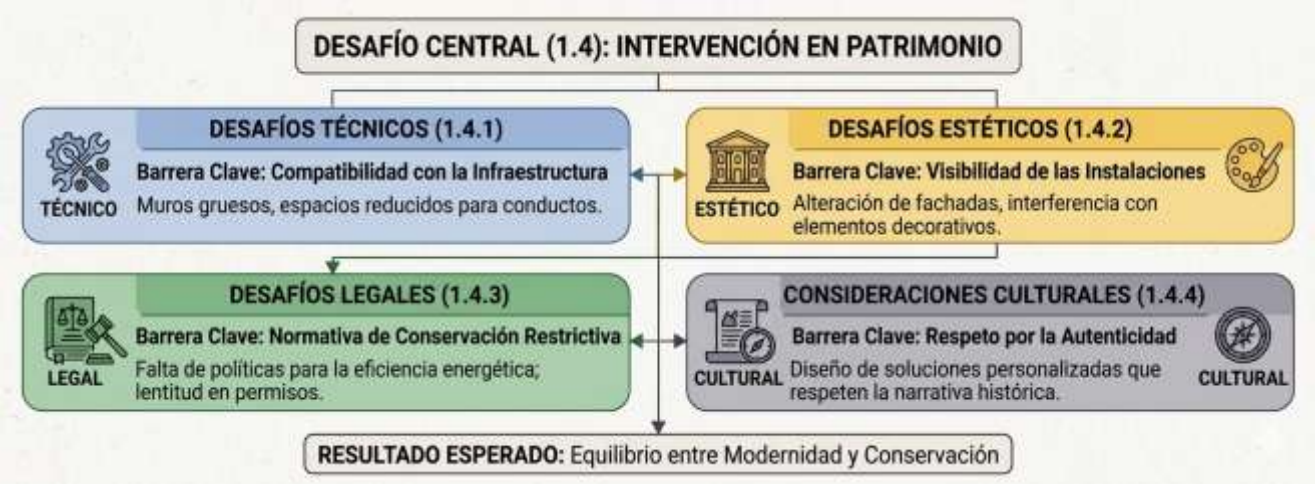
La adecuación de instalaciones de acondicionamiento térmico en edificios patrimoniales protegidos enfrenta una serie de desafíos que requieren soluciones adaptadas y altamente especializadas.

Las barreras que impiden la implementación de mejoras energéticas en edificios históricos son, en su mayoría, el resultado de factores socio técnicos. Cuatro grupos de barreras se identifican: (i) desconfianza de los responsables en adoptar soluciones técnicas debido a los requisitos de eficiencia energética en la legislación; (ii) poca participación de los usuarios en la renovación de edificios históricos por la baja rentabilidad económica; (iii) falta de apoyo en el diseño de renovaciones, complejo para propietarios y profesionales sin especialización; y (iv) acceso limitado a soluciones compatibles con la conservación del patrimonio[10].

La integración de sistemas de ventilación y climatización en estos contextos no solo debe responder a los requerimientos funcionales de confort y eficiencia energética, sino también respetar la normativa de protección patrimonial, preservar el valor estético y cultural del edificio y minimizar cualquier intervención irreversible. Para lograr estos objetivos, es fundamental identificar y analizar los desafíos específicos que conlleva esta adecuación y considerar una gama de aspectos técnicos, estéticos, legales y culturales en cada fase del proyecto.

[9] Rieser, A., Pfluger, R., Troi, A., Herrera-Avellanosa, D., Thomsen, K. E., Rose, J., Arsan, Z. D., Akkurt, G. G., Kopeinig, G., Guyot, G., et al. (2021). Integration of energy-efficient ventilation systems in historic buildings—Review and proposal of a systematic intervention approach. *Sustainability, 13*, 2325. https://doi.org/10.3390/su130423.

[10] Buda, A., de Place Hansen, E. J., Rieser, A., Giancola, E., Pracchi, V. N., Mauri, S., Marincioni, V., Gori, V., Fouseki, K., Polo López, C.S., et al. (2021). *Conservation-Compatible Retrofit Solutions in Historic Buildings: An Integrated Approach*. *Sustainability, 13*, 2927. https://doi.org/10.3390/su13052927.



1.4.1 Desafíos técnicos

Los aspectos técnicos en la instalación de sistemas de acondicionamiento térmico en edificios patrimoniales presentan limitaciones significativas, ya que estos inmuebles suelen tener estructuras frágiles, materiales delicados y características arquitectónicas únicas que dificultan la introducción de nuevas tecnologías.

La selección de soluciones compatibles con la conservación es un desafío, ya que los edificios históricos tienen características constructivas distintas a las modernas. Aunque existen soluciones, como aislamiento capilar activo y sistemas de energía renovable adaptados, estos suelen ser difíciles de implementar sin afectar la apariencia visual del edificio. Además, la simulación energética, clave para evaluar escenarios de intervención, presenta limitaciones técnicas al no captar bien las características higrotérmicas de los edificios históricos. Para lograr una evaluación completa, se requiere un método que considere tanto la funcionalidad como la preservación del valor patrimonial, facilitando el uso de tecnologías que sean adaptables y de bajo impacto en estos edificios[11]. Entre los desafíos técnicos más comunes se encuentran:

- Compatibilidad con la infraestructura existente: Las instalaciones de climatización y ventilación actuales deben adaptarse a los espacios originales sin comprometer los elementos constructivos. Esto puede ser complicado en edificios con muros gruesos, techos altos y espacios reducidos para conductos y unidades de ventilación, lo cual demanda soluciones de climatización de bajo impacto estructural, como sistemas de radiadores integrados o unidades compactas.
- Manejo de la humedad y control ambiental: Muchos edificios patrimoniales requieren un control ambiental específico para proteger materiales como madera, piedra, frescos y pinturas. La instalación de un sistema de climatización debe garantizar el mantenimiento de condiciones estables de temperatura y humedad, para evitar daños en estos materiales. La implementación de sistemas de regulación automática y sensores de humedad se vuelve esencial en estos casos, pero debe realizarse con el menor impacto físico posible.
- Limitaciones en el espacio disponible: En edificios patrimoniales, el espacio para la instalación de equipos, conductos y sistemas es a menudo limitado. Por lo tanto, se requieren sistemas que puedan

[11] Buda, A., de Place Hansen, E. J., Rieser, A., Giancola, E., Pracchi, V. N., Mauri, S., Marincioni, V., Gori, V., Fouseki, K., Polo López, C.S., et al. (2021). *Conservation-Compatible Retrofit Solutions in Historic Buildings: An Integrated Approach*. *Sustainability, 13*, 2927. https://doi.org/10.3390/su13052927.

ocultarse o instalarse en espacios reducidos sin perder eficiencia. El uso de tecnología avanzada, como bombas de calor compactas o sistemas de aire acondicionado por conductos pequeños, puede ayudar a mitigar este desafío, aunque siempre dentro de las restricciones de espacio que impone el edificio.

1.4.2 Desafíos estéticos

La preservación de la apariencia estética de los edificios patrimoniales es una prioridad absoluta en la adecuación de sistemas de climatización y ventilación. Cualquier intervención visible o cambio en la apariencia original del edificio puede afectar negativamente su valor histórico y cultural, por lo que las soluciones deben ser discretas y respetuosas con la estética original. Los desafíos estéticos incluyen:

- Visibilidad de las instalaciones: Los sistemas de ventilación y climatización, especialmente los componentes externos como unidades de aire acondicionado o ventiladores, pueden alterar la fachada o el interior de los edificios históricos. Para minimizar el impacto visual, es fundamental seleccionar sistemas que se integren de manera oculta o que puedan ubicarse en espacios que no interfieran con la apariencia patrimonial. Por ejemplo, el uso de rejillas y difusores camuflados, o sistemas de climatización por suelo radiante que no requieren unidades visibles, es una opción preferente.
- Integración con elementos decorativos: Muchos edificios patrimoniales poseen elementos decorativos intrincados que deben preservarse intactos. La colocación de sistemas de climatización en techos o paredes puede interferir con estos elementos. Para resolver este problema, es posible emplear sistemas que se adapten a la decoración sin realizar perforaciones visibles o recurrir a soluciones que permitan canalizar el flujo de aire sin modificar el diseño decorativo existente.

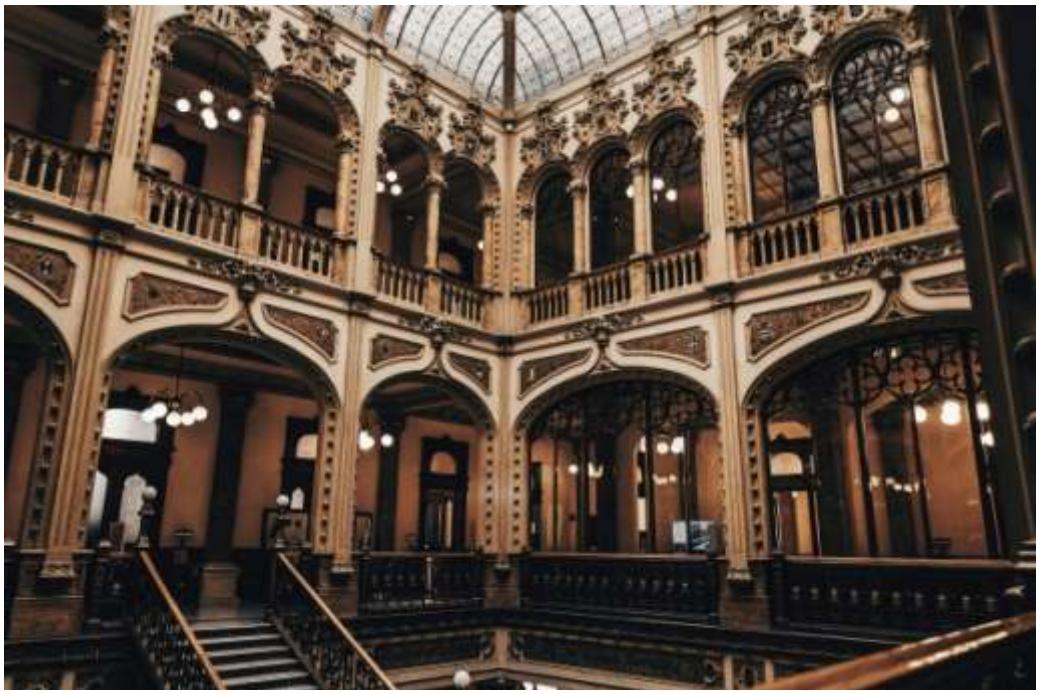


Figura 9. El reto de la invisibilidad.
Integración discreta de sistemas modernos en espacios de alta densidad ornamental. El desafío radica en canalizar las instalaciones sin comprometer la integridad de los acabados y los complejos elementos decorativos originales.

1.4.3 Desafíos legales y normativos

La legislación es un obstáculo importante, ya que muchas normas a nivel regional, nacional y europeo protegen el valor cultural de los edificios históricos, pero no incluyen políticas específicas para mejorar la eficiencia energética. Esto crea una brecha entre la legislación y las necesidades de conservación, dificultando la selección de soluciones que mejoren la eficiencia sin afectar el valor patrimonial[12].

La normativa de protección del patrimonio impone estrictos lineamientos para las intervenciones en edificios históricos, y cada proyecto de acondicionamiento térmico debe cumplir con la regulación aplicable en el contexto del país y la región. Estos desafíos legales incluyen:

- Cumplimiento de la normativa de conservación patrimonial: En la mayoría de los países, las leyes de protección patrimonial establecen restricciones sobre el tipo de intervenciones permitidas en edificios históricos. Las normativas suelen prohibir alteraciones que comprometan la autenticidad de los materiales, el diseño y la estructura original. Por tanto, es fundamental consultar con las autoridades de protección patrimonial antes de iniciar cualquier proyecto y adaptar las soluciones para cumplir con las regulaciones específicas de cada contexto.
- Obtención de permisos y autorizaciones: La instalación de sistemas de climatización en un edificio patrimonial requiere de un proceso riguroso de permisos y autorizaciones, el cual puede ser largo y complejo. Es imprescindible coordinar con las autoridades competentes y presentar un plan de intervención detallado que demuestre que las instalaciones propuestas respetan el valor patrimonial del edificio y cumplen con los requerimientos legales de conservación.

1.4.4 Consideraciones culturales y de conservación

Además de los aspectos técnicos y normativos, las consideraciones culturales y de conservación son esenciales en la adecuación de instalaciones de climatización en entornos patrimoniales. Un edificio histórico representa un legado cultural y una identidad única que deben preservarse tanto para la comunidad local como para los visitantes. Los desafíos culturales y de conservación incluyen:

- Respeto por el valor histórico y cultural: Cualquier intervención en un edificio patrimonial debe considerar su historia y significado cultural. Las instalaciones térmicas deben diseñarse para respetar la narrativa histórica del edificio y mantener la autenticidad de sus características originales. En muchos casos, esto implica adoptar soluciones personalizadas y menos invasivas que se adapten a la historia y el propósito cultural del espacio.
- Mantenimiento de la funcionalidad para el público: Los edificios patrimoniales a menudo funcionan como espacios de interés público —museos, centros culturales o edificios administrativos—, lo que exige instalaciones de climatización adecuadas para el confort de los visitantes sin comprometer la experiencia de inmersión en un entorno histórico. Es fundamental que las soluciones permitan mantener el uso público del edificio de manera que no interrumpa ni distorsione la percepción de sus elementos patrimoniales.

En conclusión, la adecuación de instalaciones de acondicionamiento térmico en entornos patrimoniales protegidos requiere abordar múltiples desafíos y consideraciones específicas que abarcan diferentes

[12] Buda, A., de Place Hansen, E. J., Rieser, A., Giancola, E., Pracchi, V. N., Mauri, S., Marincioni, V., Gori, V., Fouseki, K., Polo López, C.S., et al. (2021). *Conservation-Compatible Retrofit Solutions in Historic Buildings: An Integrated Approach*. *Sustainability, 13*, 2927. https://doi.org/10.3390/su13052927.

ámbitos. Para evitar problemas técnicos y de gestión que desborden tiempos y presupuestos en este tipo de proyectos de renovación en edificios históricos, es esencial un enfoque integral que incluya estudios exhaustivos de las estructuras existentes y la aplicación de técnicas innovadoras y tecnologías energéticas. Este enfoque holístico debe considerar varios factores clave, entre otros:

- Las características y restricciones de edificios históricos, según su grado de protección.
- Clima predominante de la zona.
- Estrategias de gestión energética (medidas activas y pasivas).
- Función actual del edificio.
- Tipo de combustible y sistemas de climatización.
- Necesidades y opciones energéticas del edificio.
- Características inherentes de eficiencia energética.
- Historia del edificio y su uso energético.
- Consecuencias no deseadas del uso de tecnologías modernas.
- Situación actual del edificio, incluyendo lo que funciona y lo que presenta problemas.

La clave para la sostenibilidad y la mejora de la eficiencia energética en renovaciones de edificios patrimoniales está en identificar, combinar y seleccionar las opciones energéticas más adecuadas para cada caso particular[13].

Esto es, debe aplicarse un enfoque multidisciplinario que considere las características únicas de cada edificio, respete su valor histórico y cumpla con la normativa de conservación. Las soluciones deben ser personalizadas, innovadoras y, sobre todo, respetuosas con el patrimonio arquitectónico y cultural, garantizando que estos espacios históricos puedan continuar cumpliendo sus funciones en condiciones óptimas de confort y preservación.

1.5 Marco Legal y normativo. Comparativa de regulaciones internacionales

La intervención en edificios patrimoniales protegidos, especialmente en lo que respecta a la adecuación de sistemas de acondicionamiento térmico, está sujeta a un complejo marco legal y normativo que varía según el país y la región, pero que en todos los casos exige un enfoque especializado y riguroso. La normativa aplicable regula no sólo los aspectos técnicos de las instalaciones, sino también las características estéticas, culturales y de preservación que definen a los entornos patrimoniales protegidos. En este apartado, se presenta una revisión de la normativa aplicable y una comparación de las regulaciones internacionales, con el fin de identificar las normas, directrices y buenas prácticas que puedan guiar adecuadamente la integración de instalaciones de climatización y ventilación en edificios de arquitectura tradicional protegidos.

[13] Akande, O. K., Odeleye, N.-D., & Coday, A. (2014). Energy efficiency for sustainable reuse of public heritage buildings: The case for research. *International Journal of Sustainable Development and Planning, 9*(2), 237-250. https://doi.org/10.2495/SDP-V9-N2-237-250

Figura 10. Fundamentos de la intervención patrimonial.
Fundamentos de la Intervención Patrimonial: El marco legal, desde directrices internacionales (UNESCO, ICOMOS) hasta leyes nacionales, impone principios de mínima intervención, reversibilidad y respeto estético en la adecuación térmica.

1.5.1 Normativa internacional

Los edificios con valor patrimonial suelen estar sujetos a leyes de conservación que limitan y regulan cualquier tipo de intervención que pueda modificar su estructura, apariencia o funcionalidad original. Estas normativas incluyen directrices internacionales emitidas por organizaciones de referencia en la protección del patrimonio, como la UNESCO, el ICOMOS (Consejo Internacional de Monumentos y Sitios) y el Consejo de Europa.

La normativa de conservación exige que las intervenciones en patrimonio arquitectónico respeten y protejan la autenticidad y la integridad del bien patrimonial, minimizando el impacto visual y estructural. En general, las regulaciones establecen que:

- Las instalaciones no deben alterar la estructura original del edificio: Los sistemas de climatización y ventilación deben instalarse sin modificar elementos estructurales fundamentales, como muros de carga, techos o suelos históricos.
- El diseño de las instalaciones debe respetar la estética y la apariencia original del edificio: Esto incluye evitar unidades visibles en fachadas o áreas decorativas y utilizar materiales compatibles con la estructura histórica.
- Las intervenciones deben ser reversibles en la medida de lo posible: Las instalaciones deben poder desmontarse o adaptarse en el futuro sin comprometer la integridad del edificio.

Una de las regulaciones más relevantes dentro de este contexto, es la "Energy Performance of Buildings Directive" (EPBD)[14], o Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios exige que los Estados Miembros establezcan requisitos de eficiencia energética para los edificios nuevos y existentes. En el caso de edificios de patrimonio cultural, existen dos exenciones:

Los "edificios protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico, en la medida en que el cumplimiento de determinados requisitos mínimos de eficiencia energética pudiese alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto", quedan eximidos respecto a los requisitos de eficiencia energética.

En lo referente a la viabilidad técnica, funcional y económica, existe un mecanismo específico para los edificios patrimoniales que permite a los estados miembros flexibilizar la aplicación de los requisitos mínimos de eficiencia energética.

Además, existen otras excepciones patrimoniales en la normativa europea sobre eficiencia energética, relativa a los certificados de eficiencia energética.

[14] Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401275.

1.5.2 Normativa nacional

España

Las mencionadas Directivas Europeas han sido posteriormente traspuestas a España y Portugal mediante las correspondientes leyes específicas que regulan la intervención en edificios patrimoniales y establecen los requisitos para la implementación de sistemas de acondicionamiento térmico. A continuación, se expone la normativa a nivel nacional relevante para España y Portugal.

En España, la adecuación de instalaciones de acondicionamiento térmico en edificios patrimoniales protegidos está regulada por un marco legal cuyo objetivo principal es la conservación y protección del valor histórico y arquitectónico de estos bienes culturales. La intervención en estos inmuebles no solo debe responder a los requisitos de confort y eficiencia energética, sino también alinearse con una normativa específica que protege su integridad estética, estructural y cultural. En este apartado, se examinan las normativas clave que rigen estas actuaciones en el contexto español.

Ley 16/1985 de Patrimonio Histórico Español[15]

La protección del patrimonio cultural en España está regulada principalmente a través de la Ley 16/1985 de Patrimonio Histórico Español, la cual establece el marco general para la protección de bienes de interés cultural (BIC) en España. Esta ley regula las intervenciones en bienes inmuebles patrimoniales y exige que se respete la autenticidad y la integridad de los edificios protegidos. También permite a las comunidades autónomas establecer sus propias normativas de conservación. A continuación, se presentan los aspectos clave de esta regulación:

- Respetar la autenticidad y el valor patrimonial: La Ley de Patrimonio Histórico Español exige que cualquier intervención en un edificio protegido respete su carácter y autenticidad original. Esto significa que la instalación de sistemas de climatización y ventilación debe ser discreta y no alterar la apariencia ni la estructura de los elementos protegidos.
- Conservación de elementos originales: La normativa prohíbe las modificaciones permanentes en elementos considerados de valor patrimonial. En el caso de las instalaciones térmicas, esto implica que no se pueden realizar perforaciones o alteraciones en muros, suelos o techos de valor histórico sin una autorización explícita y justificada.
- Reversibilidad de las intervenciones: Para minimizar el impacto en el patrimonio, la normativa española también requiere que las intervenciones sean reversibles en la medida de lo posible. Esto permite que las instalaciones térmicas puedan desmantelarse sin causar daños al edificio, manteniendo la posibilidad de restaurar el inmueble a su estado original si así se requiere en el futuro.

Reglamento de Protección del Patrimonio Histórico Español (Real Decreto 111/1986)[16]

Complementario a esta Ley 16/1985, existe el Reglamento de Protección del Patrimonio Histórico Español (Real Decreto 111/1986), el cual establece criterios y procedimientos específicos para la protección y

[15] Disponible en: https://www.boe.es/eli/es/l/1985/06/25/16/con
[16] Disponible en: https://www.boe.es/eli/es/rd/1986/01/10/111/con

conservación del patrimonio, incluidos los requisitos para la autorización de intervenciones en edificios declarados BIC.

Código Técnico de la Edificación (CTE)[17]

Concretamente en el ámbito de la eficiencia energética y la sostenibilidad, se ha aprobado en el R.D. 314/2006, el Código Técnico de la Edificación (CTE), un documento de naturaleza mixta (regulatorio y de apoyo técnico al cumplimiento) que contiene normas técnicas aplicables a los edificios nuevos y existentes en base a una serie de requisitos que protejan los aspectos estructurales, de salubridad, protección contra el fuego y el ruido, así como lo relativo al consumo de energía.

El mencionado Código, incluye diversos Documentos Básicos (DB) que detallan las exigencias básicas de seguridad y habitabilidad de los edificios. De interés para la climatización en patrimonio, se destacan los siguientes Documentos Básicos:

- El DB-HE de 'Ahorro de energía': establece requisitos de eficiencia energética que también aplican a edificios patrimoniales cuando esto no afecta su conservación. Este código busca asegurar que las instalaciones de climatización sean lo más eficientes posible, promoviendo el uso de sistemas de bajo consumo que, además, respeten el entorno patrimonial.
- El DB-HS, relativo a Salubridad: Incluye los requisitos para la calidad del aire interior y la ventilación en los edificios, aplicables también a los edificios protegidos, siempre que no afecten a la integridad del patrimonio.

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) (Real Decreto 1027/2007)[18]

Complementario al CTE, está el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) (Real Decreto 1027/2007, actualizado en 2021). Este documento regula el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación, y de producción de agua caliente sanitaria destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, para conseguir un uso racional de la energía (art. 2.1 y 2.2).

Las principales exigencias que establece el RITE en lo relativo a eficiencia energética están enfocadas a mejorar el rendimiento energético de los equipos de generación de calor y frío y aquellos destinados al movimiento y transporte de fluidos, mejorar el aislamiento en los equipos y conducciones de los fluidos térmicos, y potenciar la regulación y control para mantener las condiciones de diseño previstas en los locales climatizados.

Es destacable, además, el énfasis que el reglamento pone en la utilización de energías renovables disponibles (especialmente, energía solar y biomasa), la incorporación de subsistemas de recuperación de energía y el aprovechamiento de energías residuales, promoviendo de esta manera a la desaparición gradual de los equipos generadores menos eficientes y los combustibles sólidos más contaminantes.

[17] Disponible en: https://www.boe.es/eli/es/rd/2006/03/17/314/con
[18] Disponible en: https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/07/20/1027/con

Estos requisitos, según el propio reglamento, serán aplicables a instalaciones en patrimonio cultural, siempre y cuando no comprometan los elementos protegidos, es decir, incluye exenciones específicas para edificios históricos.

Ley 8/2013 de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbanas[19]

Por último, cabe mencionar la Ley 8/2013 de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbanas, cuyo objetivo principal es el fomento de la rehabilitación de edificios, incluidos los de valor patrimonial, junto con la introducción de criterios de sostenibilidad y eficiencia energética dentro estos procesos. Aunque no especifica intervenciones térmicas, establece incentivos y requisitos generales de conservación y mejora del confort.

En conclusión, el marco normativo nacional español para la intervención en patrimonio cultural impone requisitos estrictos que garantizan la preservación de la integridad, autenticidad y valor histórico de los edificios protegidos. La Ley de Patrimonio Histórico Español, junto con la normativa autonómica y el Código Técnico de la Edificación, establece un enfoque de mínima intervención y sostenibilidad para la instalación de sistemas de climatización y ventilación en estos inmuebles. Siguiendo estas normativas y adoptando buenas prácticas específicas, es posible integrar sistemas de acondicionamiento térmico en edificios patrimoniales de forma respetuosa y eficiente, contribuyendo a su conservación a largo plazo y mejorando su funcionalidad para el uso público en condiciones de confort y sostenibilidad.

Portugal

Al igual que en otros países de la UE, Portugal sigue las directrices europeas como la Directiva de Eficiencia Energética en Edificios y la Directiva de Eficiencia Energética (Directiva 2012/27/UE). Estas directivas promueven la eficiencia energética y el confort en edificios históricos cuando es compatible con la conservación del valor patrimonial, y han sido integradas, como se verá más adelante, en la legislación nacional portuguesa a través del Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) y el Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) que, combinadas con otras normativas aplicables, conforman la regulación relevante para el presente informe.

- Lei nº 107/2001 – Lei de Bases do Património Cultural[20]: Esta ley establece el marco general para la protección del patrimonio cultural en Portugal, incluidos los bienes inmuebles y los monumentos. Regula las intervenciones en edificios patrimoniales y exige que las modificaciones, incluidas las instalaciones térmicas, respeten la autenticidad y la integridad del bien.
- Decreto-Lei nº 309/2009 – Regime Jurídico da Reabilitação Urbana[21]: Define los principios y directrices para la rehabilitación de edificios en áreas urbanas, incluidos los inmuebles protegidos. Establece condiciones para la intervención en edificios patrimoniales en el contexto de proyectos de rehabilitación, incluyendo la mejora del confort térmico y la eficiencia energética cuando sea compatible con su conservación.

[19] Disponible en: https://www.boe.es/eli/es/l/2013/06/26/8/con
[20] Disponible en: https://data.dre.pt/eli/lei/107/2001/09/08/p/dre/pt/html
[21] Disponible en: https://data.dre.pt/eli/dec-lei/309/2009/10/23/p/dre/pt/html

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)[22]: Este reglamento establece requisitos de eficiencia energética para los edificios en Portugal. Aunque los edificios históricos protegidos pueden estar exentos de ciertos requisitos, el RCCTE promueve la eficiencia energética y el confort térmico en la medida de lo posible, incluso en edificaciones con valor patrimonial.

- Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) (Decreto-Lei nº 118/2013, actualizado en 2021)[23]: Este sistema regula la certificación energética de los edificios en Portugal y es aplicable tanto a construcciones nuevas como a edificios existentes, incluidos aquellos con protección patrimonial. Si bien los edificios clasificados pueden estar exentos de ciertos requisitos, el SCE fomenta la adopción de soluciones de climatización eficientes en rehabilitaciones, siempre respetando los elementos históricos.

- Decreto-Lei nº 28/2016 – Regime Jurídico da Reabilitação de Edifícios ou Frações Autônomas: Este decreto-ley establece normas y procedimientos para la rehabilitación de edificios y unidades autónomas. Incluye orientaciones específicas para intervenciones en edificios patrimoniales, promoviendo soluciones que respeten los valores arquitectónicos y culturales y que a la vez mejoren las condiciones de habitabilidad y confort térmico.

- Carta de Lisboa (2003): Aunque no es una normativa con fuerza de ley, la Carta de Lisboa es una referencia en Portugal para la conservación y rehabilitación de patrimonio cultural en entornos urbanos. Recomienda principios de mínima intervención y respeto por el carácter histórico en cualquier proyecto de rehabilitación, lo cual incluye la integración de sistemas de climatización y ventilación sin alterar la estética ni la estructura del bien protegido.

1.5.3 Normativa autonómica

Cada comunidad autónoma en España cuenta con su propia legislación para la protección de su patrimonio cultural. Estas normativas complementan la Ley de Patrimonio Histórico Español y regulan las intervenciones específicas en edificios protegidos dentro de cada territorio. A nivel autonómico, cada comunidad tiene sus propias normativas de conservación que desarrollan y complementan la ley nacional, adaptando los requisitos de protección a las particularidades culturales y arquitectónicas de cada región.

Extremadura

Para el caso de la comunidad autónoma de Extremadura, es relevante la Ley 2/1999, de 29 de marzo, de Patrimonio Histórico y Cultural de Extremadura[24]. Esta ley establece diversas normativas para la protección, conservación y adecuado uso del patrimonio histórico-cultural en esta comunidad autónoma, especialmente en relación con intervenciones en entornos patrimoniales protegidos:

- Protección del patrimonio: La ley subraya que cualquier intervención, como la instalación de sistemas de climatización, debe respetar el valor cultural y arquitectónico del bien patrimonial. Esto implica que las instalaciones de acondicionamiento térmico no pueden alterar la estética ni los materiales originales ni suponer una amenaza para la integridad estructural del edificio.

[22] Disponible en: https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/declaracao/528576
[23] Disponible en: https://data.dre.pt/eli/declretif/41/2013/10/17/p/dre/pt/html
[24] Disponible en: https://www.boe.es/eli/es-ex/l/1999/03/29/2/con

- Integración estética y materiales compatibles: Las intervenciones deben realizarse de manera que se integren adecuadamente en el entorno visual y estético del patrimonio. Esto significa utilizar materiales, colores y técnicas de instalación compatibles con la arquitectura histórica y, preferiblemente, reversibles para facilitar la restauración futura sin daños.

- Informe previo y autorización administrativa: Antes de iniciar la instalación de sistemas térmicos, es obligatorio contar con un informe favorable y una autorización de la administración competente en patrimonio. Este informe evalúa el impacto que la instalación podría tener sobre el bien patrimonial y su entorno, asegurando que se minimice cualquier efecto negativo.

- Limitaciones en fachadas y elementos exteriores: La ley establece restricciones significativas sobre la instalación de equipos visibles en elementos exteriores, especialmente en fachadas y tejados. Se prohíbe la instalación de equipos visibles desde el exterior cuando puedan alterar el entorno o paisaje cultural, y se debe priorizar la instalación en espacios interiores o menos visibles.

- Supervisión técnica y condiciones de mantenimiento: Durante la instalación y en el mantenimiento posterior, se requiere la supervisión de técnicos cualificados para asegurar que las intervenciones se ajusten a los criterios de conservación. Además, se deben prever medidas para el mantenimiento de estas instalaciones sin necesidad de realizar modificaciones estructurales en el futuro.

En resumen, la ley prioriza la conservación y protección del valor histórico y cultural en la instalación de equipos de climatización en entornos patrimoniales, y establece que cualquier intervención debe ser mínimamente invasiva, estéticamente armoniosa y contar con las autorizaciones pertinentes.

1.5.4 Normativa municipal española

La implementación de instalaciones de acondicionamiento térmico en edificios ubicados en entornos patrimoniales protegidos de los municipios españoles está regulada por una serie de normativas específicas que buscan equilibrar la preservación del patrimonio cultural con las necesidades de modernización y confort. Estas regulaciones tienen como principal objetivo garantizar que las actuaciones no solo preserven el valor histórico y cultural de la zona, sino que también permitan su adaptación a las exigencias contemporáneas de confort y funcionalidad, integrando las instalaciones de acondicionamiento térmico sin comprometer su carácter arquitectónico.

En general, las disposiciones de las regulaciones y planes especiales de los municipios españoles siguen una regla general y común, que se alinean con las normas nacionales y europeas. Entre estas reglas comunes destacan las siguientes:

1. Compatibilidad estética y funcional: Las intervenciones deben respetar la configuración original de los edificios protegidos, manteniendo sus características arquitectónicas y volumétricas. En casos específicos, como las fachadas históricas, se exige su conservación o reproducción fiel, evitando alteraciones que comprometan el carácter ambiental del conjunto.

2. Uso de materiales y técnicas tradicionales: Se prioriza el empleo de materiales locales y sistemas constructivos coherentes con las técnicas históricas empleadas en los inmuebles. Este enfoque garantiza la integración estética y la preservación de la coherencia arquitectónica del casco histórico.

3. Criterios de reversibilidad: Todas las intervenciones deben diseñarse de forma que puedan revertirse sin daños permanentes en los elementos originales del edificio. Este principio es fundamental en las

instalaciones modernas, como los sistemas de climatización, que deben integrarse de forma no invasiva.

4. Regulación de usos y alturas: Habitualmente se establecen limitaciones específicas para el uso del suelo y las alturas de las construcciones, con el objetivo de preservar la escala y el perfil urbano característico del casco histórico.

5. Supervisión y control técnico: Todas las intervenciones requieren una evaluación previa por parte de un equipo técnico, que asegura el cumplimiento de las normativas y recomienda ajustes para garantizar la compatibilidad de los proyectos con los objetivos de conservación.

1.5.5 Normativa municipal en Portugal

Del mismo modo que ocurre con la normativa municipal española, en el caso de los municipios portugueses, cada regulación de los municipios concretos sigue una misma línea cuyo objetivo principal es garantizar la preservación de la integridad y autenticidad del patrimonio edificado en el caso de que se produzca cualquier intervención arquitectónica o urbanística.

En esta normativa se especifican criterios clave para la ejecución de obras en edificios protegidos, que, como se observa a continuación, van totalmente en conformidad con las disposiciones municipales que presenta la normativa municipal española presentada en el apartado anterior. Entre las disposiciones más relevantes destacan las siguientes:

1. Compatibilidad con el entorno patrimonial: Las intervenciones deben respetar las características arquitectónicas y estéticas originales de los edificios, prohibiendo cualquier modificación que altere su apariencia exterior o comprometa sus valores culturales. Esto incluye la integración de nuevas instalaciones, como sistemas de acondicionamiento térmico, de forma que no sean visibles desde el exterior.

2. Uso de materiales y técnicas tradicionales: Se fomenta el empleo de materiales y métodos constructivos compatibles con los originales del edificio. Esta medida busca mantener la coherencia visual y estructural del patrimonio edificado.

3. Reversibilidad de las intervenciones: Las obras deben diseñarse de manera que puedan revertirse sin causar daños permanentes en las estructuras protegidas. Esto es particularmente importante en la instalación de sistemas modernos de climatización y ventilación.

4. Ubicación discreta de instalaciones modernas: Los sistemas de climatización, ventilación y otros elementos técnicos deben instalarse en zonas ocultas, como patios interiores, sótanos o azoteas, siempre que no afecten a la integridad estructural del inmueble.

5. Supervisión técnica: Todas las intervenciones están sujetas a una evaluación previa por parte de un equipo técnico especializado, que garantiza el cumplimiento de la normativa y propone ajustes para alinearse con los objetivos de preservación patrimonial.

Por tanto, aplicando estos requisitos al ámbito de las instalaciones de acondicionamiento térmico, la normativa exige que estas intervenciones sean discretas y no afecten la apariencia exterior de los edificios protegidos. Las unidades exteriores de los sistemas de climatización deben integrarse en espacios ocultos,

como patios interiores, sótanos o azoteas, siempre que estas ubicaciones no comprometan la estructura ni el valor patrimonial del inmueble.

1.5.6 Recomendaciones y buenas prácticas

Dado el rigor de la normativa, es fundamental que cualquier proyecto de adecuación de climatización en edificios patrimoniales cumpla con ciertas buenas prácticas que permitan preservar el valor histórico y estético del inmueble. Entre las prácticas recomendadas se encuentran:

- Normativas Internacionales: La Carta de Venecia y la Carta de Cracovia recomiendan buenas prácticas internacionales similares, como la mínima intervención, la reversibilidad de las instalaciones y el respeto por el contexto estético del edificio. En Europa, las Directrices de Eficiencia Energética en Patrimonio Cultural (EEBC) sugieren el uso de tecnologías avanzadas de bajo impacto que se adapten al entorno patrimonial y que, además, consideren la sostenibilidad como un objetivo prioritario en estas intervenciones.
- España: Las intervenciones en edificios patrimoniales suelen regirse por principios de reversibilidad, discreción y eficiencia. Las normativas promueven prácticas como la integración de instalaciones en espacios poco visibles y el uso de tecnologías pasivas siempre que sea posible, además de considerar el control de condiciones ambientales para una mejor conservación del edificio.
- Portugal: Las normativas también fomentan la reversibilidad y la sostenibilidad, promoviendo prácticas como el uso de tecnologías de bajo impacto, la integración en zonas no visibles y la ventilación natural asistida. La Carta de Lisboa establece recomendaciones específicas para la rehabilitación, insistiendo en el respeto del carácter original del edificio y en la reversibilidad de las instalaciones.

Las regulaciones internacionales y las cartas patrimoniales sugieren prácticas que tanto Portugal como España ya han adoptado, como la preservación del carácter histórico de los inmuebles, el respeto por la autenticidad y la integración de sistemas sostenibles de acondicionamiento térmico. Por tanto, se puede afirmar que las normativas nacionales y municipales de España y Portugal están bien alineadas con las directrices internacionales en cuanto a la intervención en patrimonio cultural protegido, destacando principios de sostenibilidad, mínima intervención y reversibilidad, permitiendo ambas naciones ciertas flexibilidades en la aplicación de requisitos energéticos para edificios protegidos, priorizando la conservación estética y estructural de estos bienes. La implementación de estas normativas y buenas prácticas asegura que los edificios patrimoniales en España y Portugal puedan cumplir con las necesidades modernas de confort sin comprometer su valor cultural y arquitectónico.

2. Metodología

2.1 Selección de casos de estudio

La selección de casos de estudio es fundamental para garantizar que los resultados sean aplicables, relevantes y estén alineados con las especificidades de los contextos patrimoniales. A continuación, se explica y justifica el proceso de selección, junto con los criterios específicos empleados para identificar los entornos patrimoniales adecuados para el análisis.

2.1.1 Proceso de selección de casos de estudio

El proceso de selección de casos de estudio se estructuró en varias etapas secuenciales para asegurar la elección de entornos patrimoniales representativos y con características que aporten una base sólida para el análisis.

Figura 11. Rigor metodológico en la selección.
El proceso de selección de casos de estudio comienza con la revisión documental y el análisis de viabilidad técnica para asegurar la representatividad y el menor impacto invasivo de las soluciones térmicas.

Estas etapas incluyeron:

1. Identificación de entornos patrimoniales potenciales: A partir de un análisis inicial de bases de datos de patrimonio nacional e internacional, se revisaron y depuraron de manera preliminar los entornos patrimoniales protegidos, con el objetivo de asegurar que los entornos incluyeran estructuras y edificaciones que requieran soluciones de acondicionamiento térmico específicas y que cumplan con los requisitos de protección y conservación.

2. Análisis de viabilidad técnica: Se evaluó la viabilidad técnica de implementar sistemas de acondicionamiento térmico sin comprometer la integridad patrimonial, ya que uno de los objetivos centrales es que las intervenciones resulten lo menos invasivas posibles. Este análisis incluyó una revisión de las normativas específicas y de las condiciones arquitectónicas de cada entorno para asegurar que las intervenciones propuestas fueran respetuosas con la preservación del patrimonio.

3. Selección final basada en la relevancia y representatividad: Finalmente, se seleccionaron los entornos que mejor representaban la diversidad arquitectónica y las necesidades térmicas en contextos patrimoniales. Esto se realizó buscando un equilibrio entre diferentes estilos arquitectónicos, épocas, materiales y características climáticas, con el fin de que los casos de estudio lograsen abarcar de la mejor manera las diversas problemáticas de acondicionamiento térmico en edificios patrimoniales.

Figura 12. Metodología de selección de casos de estudio

2.1.2 Criterios de selección

Para determinar qué entornos patrimoniales resultaban adecuados y relevantes, se emplearon los siguientes criterios de selección:

- Valor patrimonial y nivel de protección: Se priorizaron aquellos entornos con un alto valor patrimonial y niveles de protección legal que demandan una mayor sensibilidad en las intervenciones. Este criterio permite que el análisis abarque casos en los que la intervención debe ser mínima y que, por tanto, pueden representar ejemplos de referencia para futuros proyectos.

- Estado de conservación del entorno: Se tomaron en cuenta tanto edificios en buen estado de conservación como aquellos que presentaban signos de deterioro. Esta selección busca identificar cómo varían las necesidades de acondicionamiento según el estado de los materiales originales y la capacidad del edificio para retener calor o mantener una temperatura estable en interiores.

- Tipología arquitectónica: Para una mayor representatividad, se consideraron diversos tipos arquitectónicos típicos del patrimonio local.

- Potencial de replicabilidad de las soluciones: Se priorizaron entornos cuyas condiciones permitieran la replicación de las soluciones térmicas a otros sitios patrimoniales con características similares. Esto incluyó edificios que permitieran adaptar las propuestas de forma que fueran útiles para otros contextos patrimoniales, lo que potencia el impacto de los resultados del informe y facilita futuras intervenciones en lugares comparables.

Figura 13. Matriz de criterios en la evaluación de casos de estudio

2.1.3 Justificación de los criterios

La aplicación de estos criterios responde a la necesidad de obtener un conjunto de casos de estudio que sean, por un lado, representativos de la diversidad del patrimonio arquitectónico y, por otro, adecuados para la evaluación de soluciones de acondicionamiento térmico que sean respetuosas con el patrimonio y efectivas en cuanto a confort climático. La selección de casos basada en estos criterios permitirá que el informe no solo responda a las especificidades de cada entorno patrimonial, sino que también contribuya a la creación de pautas generalizables y adaptables a otros contextos.

Con esta metodología de selección, el informe busca ofrecer soluciones de acondicionamiento térmico que respeten y mantengan la autenticidad y la integridad de los entornos patrimoniales protegidos, al mismo tiempo que contribuyen a la confortabilidad y funcionalidad de estos espacios en el contexto actual.

2.2 Evaluación del entorno patrimonial

Para desarrollar una propuesta de acondicionamiento térmico adecuada y respetuosa con los valores de los entornos patrimoniales protegidos, es necesario realizar una evaluación exhaustiva de cada entorno seleccionado. A continuación, se describen los métodos y técnicas utilizados en esta fase.

2.2.1 Revisión de registros y documentación histórica

La evaluación del entorno patrimonial comienza con un análisis detallado de los registros históricos, documentación arquitectónica y materiales de archivo que permitan comprender tanto el origen y evolución del sitio como su situación actual. Los pasos incluyen:

- Análisis de documentación técnica y arquitectónica: Se revisan planos originales, registros de restauraciones previas, informes de conservación y estudios estructurales disponibles. Este análisis permite conocer los materiales originales y las técnicas de construcción empleadas, aspectos clave para proponer soluciones de acondicionamiento que respeten la autenticidad del sitio.

- Revisión de estudios climáticos y de comportamiento térmico: En caso de que existan estudios previos sobre el comportamiento térmico del edificio, estos se analizan para comprender las características de aislamiento natural y los puntos críticos de pérdida o ganancia de temperatura. Esta revisión también considera informes previos de monitoreo ambiental y mediciones de temperatura y humedad en el entorno, con el fin de identificar patrones climáticos específicos.

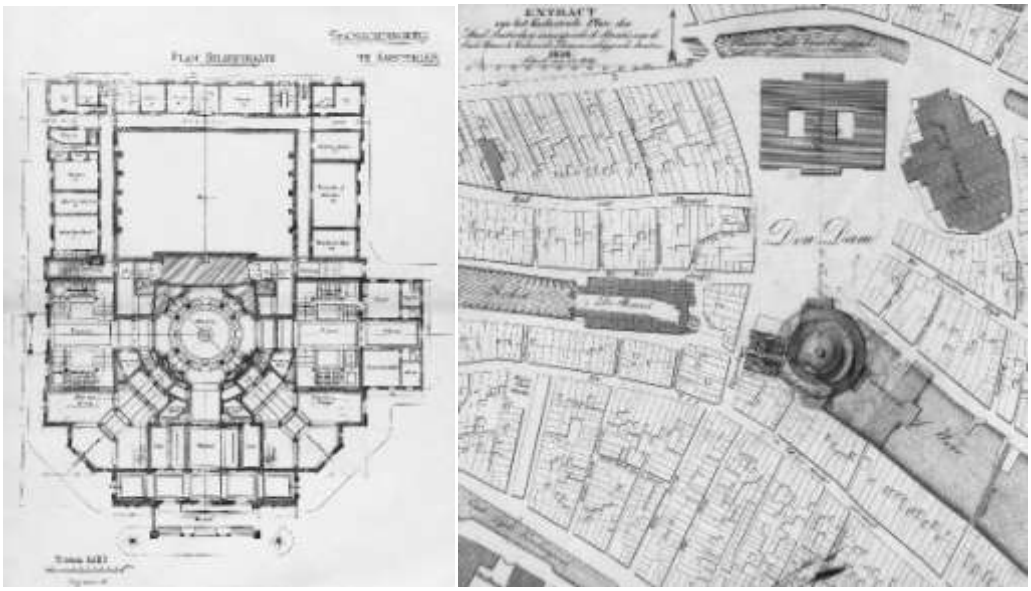


Figura 14. La base documental.
La revisión de planos originales, registros de restauración e informes de conservación es esencial para comprender los materiales y técnicas de construcción, guiando la propuesta de soluciones térmicas respetuosas con la autenticidad.

2.2.2 Análisis de normativas y reglamentaciones específicas

El marco normativo es un factor decisivo en la planificación de las adecuaciones térmicas, ya que define los límites y condiciones en los que pueden realizarse intervenciones en entornos protegidos. El análisis normativo incluye:

- Revisión de normativas nacionales e internacionales: Se realiza un estudio de la normativa vigente en materia de conservación del patrimonio, considerando tanto la legislación local y nacional como las recomendaciones internacionales (por ejemplo, las guías de la UNESCO y el ICOMOS). Este análisis busca identificar requisitos de intervención, restricciones en el uso de materiales y lineamientos para garantizar la reversibilidad de las adecuaciones.

- Análisis de normativa específica para instalaciones térmicas: En algunos casos, las normativas patrimoniales incluyen secciones específicas sobre el uso de instalaciones técnicas, como los sistemas de acondicionamiento térmico. Estas normas regulan aspectos como la compatibilidad de los sistemas, el uso de equipos no invasivos y la prohibición de alteraciones estructurales que puedan comprometer la integridad del patrimonio.

- Revisión de alineamientos locales sobre eficiencia energética y sostenibilidad: Dado que muchos sitios patrimoniales requieren soluciones que respeten el ambiente, se revisan también normativas y recomendaciones sobre eficiencia energética. Esto incluye estudiar posibles incentivos o restricciones para la instalación de sistemas de energía eficiente en edificios patrimoniales y el uso de tecnologías sostenibles en estos entornos.

La combinación de estos métodos y técnicas asegura una evaluación integral del entorno patrimonial, abordando tanto sus características estructurales y térmicas como los requisitos normativos y de conservación. Esta evaluación detallada es clave para diseñar soluciones de acondicionamiento térmico que, además de ser eficientes y sostenibles, respeten y preserven la autenticidad de los entornos patrimoniales protegidos.

2.3 Evaluación de viabilidad técnica y económica de las instalaciones de acondicionamiento térmico en edificios

La evaluación de la viabilidad técnica y económica de las instalaciones de acondicionamiento térmico en edificios patrimoniales protegidos es una fase crítica para asegurar que las soluciones propuestas sean eficaces, respetuosas con el entorno y sostenibles en términos de costos. Dado que estos entornos poseen restricciones arquitectónicas y normativas particulares, los criterios de viabilidad deben ajustarse a las necesidades específicas del edificio y a las condiciones de uso del espacio, evitando intervenciones invasivas que afecten el valor patrimonial.

2.3.1 Criterios de Viabilidad Técnica

La viabilidad técnica evalúa la factibilidad de implementar soluciones de climatización y ventilación en el contexto de cada edificio patrimonial, considerando las particularidades estructurales y las limitaciones de intervención. Los criterios empleados son:

- Compatibilidad arquitectónica y estructural: Las soluciones propuestas deben adaptarse a la estructura existente, sin alterar o comprometer la estabilidad arquitectónica del edificio. Este criterio incluye el análisis de posibles puntos de instalación (muros, techos o pisos) y la evaluación de la carga adicional que los equipos de climatización puedan generar, asegurando que las intervenciones sean lo menos invasivas posible.

- Adaptación a las necesidades de climatización y ventilación: Cada edificio patrimonial presenta demandas térmicas específicas en función de su tamaño, configuración interna y orientación. Este criterio considera estas variables para seleccionar sistemas que respondan adecuadamente a los requerimientos de climatización en las distintas zonas del edificio, teniendo en cuenta además factores como la circulación de aire y la calidad ambiental. Se da preferencia a sistemas que permitan control zonal y flexibilidad en el ajuste de la temperatura, facilitando la adaptación a las diversas áreas del edificio.

- Orientación y ubicación geográfica: Las características climáticas del entorno son un factor decisivo en la elección de los sistemas de acondicionamiento. La orientación del edificio y su ubicación

geográfica afectan directamente la exposición al sol, la temperatura y la humedad ambiental, lo que a su vez determina las demandas energéticas del sistema. Por ejemplo, en climas cálidos y húmedos, se priorizan soluciones que optimicen la ventilación natural y el deshumidificado, mientras que en climas fríos se enfoca en sistemas de calefacción eficientes que minimicen las pérdidas de calor.

- Reversibilidad de las instalaciones: Un principio clave en la intervención en edificios patrimoniales es la reversibilidad de las soluciones, es decir, la posibilidad de desmontar las instalaciones sin causar daños permanentes al edificio. Este criterio asegura que las intervenciones no alteren de forma definitiva el entorno patrimonial y que puedan eliminarse sin comprometer el valor histórico de la estructura. Se prefieren soluciones modulares o sistemas que requieran mínimas modificaciones en la estructura.

- Impacto visual y acústico: Para preservar el valor estético del patrimonio, se analizan los impactos visuales y acústicos que puedan generar los sistemas de acondicionamiento. Los sistemas visibles, como las unidades externas de aire acondicionado o conductos, deben ubicarse de forma discreta, de modo que se integren en el entorno sin alterar su apariencia. Además, se evalúa el nivel de ruido de los equipos para asegurar que no afecten la experiencia de los ocupantes y visitantes del entorno.

2.3.2 Criterios de Viabilidad Económica

La viabilidad económica se centra en evaluar los costos asociados a la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de climatización, asegurando que las soluciones sean financieramente sostenibles en el tiempo. Los criterios clave son:

- Costo inicial de la instalación: Se analiza el costo de adquisición e instalación de los sistemas de acondicionamiento térmico en función del presupuesto disponible y de la rentabilidad a largo plazo. Este criterio considera no solo los costos directos de los equipos y materiales, sino también los gastos asociados a la adecuación estructural y la contratación de personal especializado para garantizar que el sistema sea instalado de manera cuidadosa y adecuada al entorno patrimonial.

- Eficiencia energética y costos operativos: Dado que los edificios patrimoniales suelen implicar un mayor costo energético para alcanzar las condiciones de confort, se prioriza soluciones de alta eficiencia energética. Este criterio analiza la relación entre el consumo energético del sistema y su capacidad de mantener el confort térmico deseado, calculando los costos operativos asociados a su uso diario. La preferencia se da a sistemas que reduzcan el consumo energético y aprovechen fuentes renovables o técnicas de climatización pasiva, como ventilación cruzada o sistemas de aislamiento.

- Costos de mantenimiento y durabilidad: Los sistemas de climatización en edificios patrimoniales requieren un mantenimiento cuidadoso para garantizar su funcionamiento sin afectar el entorno. Este criterio evalúa la durabilidad de los equipos y sus requisitos de mantenimiento, priorizando aquellos que demanden un menor nivel de intervención y cuyos repuestos y servicios de reparación estén fácilmente disponibles. La durabilidad y la necesidad de un bajo mantenimiento reducen los costos a largo plazo y minimizan las intervenciones periódicas en el edificio.

La selección de estos criterios responde a la necesidad de equilibrar la eficiencia y funcionalidad de los sistemas de climatización con el respeto y preservación de las características patrimoniales del edificio. La viabilidad técnica y económica es esencial no solo para garantizar que las soluciones sean compatibles con el

entorno, sino también para asegurar que su implementación sea sostenible en el tiempo y no imponga cargas excesivas en términos de costos o impacto en el patrimonio. Al priorizar la reversibilidad, la compatibilidad estructural y la eficiencia, se busca que las soluciones sean efectivas sin comprometer la integridad del edificio y que contribuyan a su conservación y utilidad.

2.4 Métodos de mitigación de impactos en el patrimonio histórico y cultural

La implementación de instalaciones de acondicionamiento térmico en edificios patrimoniales conlleva el riesgo de afectar negativamente el valor histórico, cultural y estético de estos entornos. Por lo tanto, es fundamental definir métodos y estrategias de mitigación para reducir al mínimo los posibles impactos, garantizando que las intervenciones sean respetuosas con el patrimonio protegido. Los métodos de mitigación se orientan a preservar la autenticidad y la integridad del edificio, asegurando que los sistemas de climatización y ventilación propuestos no alteren de manera permanente ni visible las características patrimoniales del entorno.

Método de Mitigación (2.4)	Estrategia Clave (del texto)
Sistemas Reversibles y No Invasivos (2.4.1)	Uso de equipos móviles, conductos y cables ocultos; soportes temporales.
Integración Estética (2.4.2)	Uso de materiales y colores compatibles; ubicación estratégica de sistemas externos.
Tecnologías de Climatización Pasiva (2.4.3)	Ventilación natural y cruzada; elementos de sombreado; aislamiento no invasivo.
Monitoreo y Control Ambiental (2.4.4)	Sensores de temperatura/humedad; sistemas de automatización.
Capacitación y Buenas Prácticas (2.4.5)	Protocolos de mantenimiento preventivo y específico; uso eficiente de sistemas.

Estrategia Clave (2.4)
Sistemas Reversibles (2.4.1); Materiales compatibles (2.4.2); Ventilación natural (2.4.3); Sensores (2.4.4); Protocolos (2.4.5).

2.4.1 Selección de sistemas de acondicionamiento térmico reversibles y no invasivos

Uno de los principios básicos de intervención en edificios patrimoniales es la reversibilidad. Este método implica que cualquier sistema de acondicionamiento térmico instalado pueda ser retirado en el futuro sin dañar la estructura o alterar permanentemente el edificio. Los sistemas reversibles y no invasivos minimizan el impacto al no requerir modificaciones estructurales o perforaciones en los elementos originales del edificio.

Las estrategias específicas incluyen:

- Uso de equipos móviles o independientes: Se priorizan equipos que no necesitan ser fijados a las paredes o techos originales del edificio, tales como sistemas de climatización portátiles o unidades de climatización autónomas que puedan colocarse en zonas discretas sin anclajes permanentes.
- Instalación de conductos y cables ocultos: Cuando el sistema requiere de conductos o cables para su funcionamiento, estos se instalan de manera oculta, en lugares donde se minimice su visibilidad

(como bajo el suelo o detrás de revestimientos temporales). Esto permite que los sistemas funcionen sin afectar la apariencia histórica de los interiores o exteriores del edificio.

- Utilización de soportes temporales y estructuras de apoyo: Se emplean soportes temporales para los equipos que requieren una fijación más sólida, evitando que el sistema de climatización se ancle directamente a la estructura patrimonial. Esto facilita la futura remoción del sistema sin dejar daños en las superficies originales.

Figura 15. Principio de mínima intervención.
La mitigación de impactos se basa en el uso de métodos no invasivos, como sistemas reversibles y soportes temporales, para asegurar la preservación de la autenticidad y la integridad de los elementos patrimoniales.

2.4.2 Integración estética de las instalaciones

Para preservar la armonía visual y estética del edificio patrimonial, es crucial que las instalaciones de acondicionamiento térmico se integren visualmente en el entorno. Este método busca hacer que las intervenciones sean discretas y coherentes con la estética y el estilo del edificio. Las estrategias específicas incluyen:

- Uso de materiales y colores compatibles: Los materiales y colores de los equipos y conductos se eligen en función de su capacidad para integrarse con el estilo y las tonalidades del edificio. Por ejemplo, en edificios con acabados de piedra o madera, los sistemas se diseñan o pintan de manera que se asemejen a los materiales originales.

- Ubicación estratégica de los sistemas externos: Para reducir el impacto visual de las unidades externas, como compresores o ventiladores, estos se colocan en zonas menos visibles o accesibles, como patios traseros, azoteas o jardines internos, siempre que la estructura lo permita y respetando las normativas de conservación. Además, en la medida de lo posible, se emplean sistemas compactos que ocupen el mínimo espacio.

- Minimización de la visibilidad de los conductos y rejillas: Los conductos y rejillas de ventilación se colocan en zonas donde queden fuera de la vista o se integren visualmente. Esto puede implicar la colocación de rejillas en marcos de ventanas existentes o el uso de espacios detrás de elementos arquitectónicos como cornisas, molduras o falsos techos, en casos donde estas modificaciones sean posibles y autorizadas.

2.4.3 Empleo de tecnologías de climatización pasiva

Las estrategias de climatización pasiva representan una excelente alternativa para minimizar el uso de sistemas mecánicos de climatización, reduciendo así el impacto sobre el edificio patrimonial. Estos métodos aprovechan los recursos naturales y las características arquitectónicas del edificio para optimizar el confort térmico sin necesidad de equipos invasivos. Las estrategias específicas incluyen:

- Ventilación natural y ventilación cruzada: Se fomenta el uso de sistemas de ventilación natural, aprovechando las ventanas, puertas y otras aberturas originales del edificio para mejorar la circulación de aire. Esto permite reducir la necesidad de sistemas artificiales de climatización en épocas de temperaturas moderadas.
- Uso de elementos de sombreado y control solar: Se instalan elementos de sombreado temporales o ligeros, como persianas o cortinas, que ayuden a reducir la ganancia de calor en verano, evitando el uso excesivo de aire acondicionado. Estos elementos se diseñan de manera que puedan instalarse y retirarse sin dañar la estructura.
- Aislamiento térmico no invasivo: Se pueden implementar materiales de aislamiento ligero, colocados de forma temporal y no invasiva en techos o ventanas, para mejorar el aislamiento térmico sin modificar el material original del edificio. Esto incluye el uso de paneles aislantes móviles que puedan retirarse fácilmente y que no alteren la estructura del inmueble.

2.4.4 Monitoreo y control ambiental para minimizar intervenciones

El monitoreo continuo de las condiciones ambientales permite ajustar los sistemas de climatización y ventilación según las necesidades reales del edificio, reduciendo su uso excesivo y los posibles impactos. Las estrategias específicas incluyen:

- Sensores de temperatura y humedad: La instalación de sensores discretos en el interior y exterior del edificio permite monitorear las condiciones térmicas y ajustar los sistemas de climatización solo cuando sea necesario. Esto no solo optimiza el consumo energético, sino que evita la sobre refrigeración o sobrecalentamiento que podría afectar la estructura del edificio.
- Sistemas de automatización y control: Los sistemas de automatización ayudan a gestionar la climatización en función de la ocupación y las condiciones ambientales, minimizando el uso de energía y la exposición innecesaria del edificio a cambios térmicos bruscos. Estos sistemas, controlados remotamente, permiten realizar ajustes sin intervención física frecuente en el edificio.

2.4.5 Capacitación y buenas prácticas para el uso y mantenimiento

Finalmente, la capacitación de los usuarios y el personal encargado del mantenimiento del edificio es fundamental para garantizar que los sistemas de climatización se usen y mantengan de forma adecuada, evitando impactos innecesarios. Las estrategias incluyen:

- Capacitación en el uso eficiente de los sistemas: Se instruye al personal y a los usuarios sobre cómo utilizar los sistemas de climatización de manera eficiente, evitando el uso excesivo y priorizando las soluciones pasivas y naturales. Este conocimiento permite un uso racional de los equipos y minimiza el impacto en el edificio.
- Protocolos de mantenimiento preventivo y específico para entornos patrimoniales: Se establecen protocolos de mantenimiento que aseguren la conservación de los equipos sin necesidad de intervenciones que dañen la estructura. Estos protocolos están diseñados específicamente para entornos patrimoniales, con procedimientos cuidadosos que eviten daños por uso excesivo o por falta de mantenimiento en los equipos.

En conclusión, la implementación de estas estrategias de mitigación de impactos permite asegurar que las soluciones de acondicionamiento térmico no solo respeten el valor histórico y cultural de los edificios patrimoniales, sino que también promuevan su sostenibilidad y usabilidad a largo plazo. Estos métodos y estrategias no solo minimizan el impacto inmediato de las intervenciones, sino que también contribuyen a la conservación de los edificios en el tiempo, garantizando que el acondicionamiento térmico sea compatible con la preservación y el respeto a su valor patrimonial.

2.5 Herramientas de análisis y evaluación utilizadas

La evaluación de la viabilidad y la adecuación de instalaciones de acondicionamiento térmico en edificios de construcción tradicional dentro de entornos patrimoniales protegidos requiere el uso de herramientas y técnicas especializadas que permitan abordar la complejidad inherente de estos casos. Estas herramientas deben considerar no sólo los aspectos técnicos y de eficiencia energética, sino también la preservación de los valores históricos, estéticos y culturales del patrimonio arquitectónico.

Método de Mitigación (2.4)	Estrategia Clave (del texto)
1. Sistemas Reversibles y No Invasivos (2.4.1)	Uso de equipos móviles; conductos y cables ocultos, soportes temporales.
2. Integración Estética (2.4.2)	Uso de materiales y colores compatibles; ubicación estratégica de sistemas externos.
3. Tecnologías de Climatización Pasiva (2.4.3)	Ventilación natural y cruzada; elementos de sombreado, aislamiento no invasivo.
4. Monitoreo y Control Ambiental (2.4.4)	Sensores de temperatura/humedad; sistemas de automatización.
5. Capacitación y Buenas Prácticas (2.4.5)	Protocolos de mantenimiento preventivo y específico; uso eficiente de sistemas.

Para el desarrollo del presente informe, se emplearon herramientas y técnicas especializadas diseñadas para abordar la complejidad de estos contextos. El objetivo ha sido integrar enfoques interdisciplinarios que combinan aspectos técnicos, patrimoniales y ambientales, para fomentar la capacidad de adaptarse a las características particulares de cada caso.

2.5.1 Simulación y preselección

La simulación, utilizando herramientas y *softwares* especializados, permite analizar el comportamiento térmico de los edificios evaluando diferentes aspectos y variables, para poder realizar una preselección de los sistemas de ventilación y acondicionamiento térmico más adecuados para cada caso.

La principal herramienta utilizada en el presente informe es HiBERtool (*Historic Building Energy Retrofit Tool*)[25], desarrollada en el marco del proyecto internacional ATLAS Interreg Alpine Space. Esta es una herramienta innovadora diseñada específicamente para la evaluación y preselección de intervenciones en edificios históricos. Su enfoque se basa en un análisis integral que abarca aspectos clave como la conservación patrimonial, el comportamiento físico del edificio y la factibilidad técnica de las intervenciones propuestas.

De esta manera, consigue explorar y seleccionar soluciones de eficiencia energética específicas para la rehabilitación de edificios históricos, organizando su contenido mediante un árbol de decisiones que permite filtrar soluciones relacionadas con elementos como ventanas, paredes, sistemas de ventilación, calefacción y energía solar. Se centra en tres dimensiones fundamentales para garantizar que las soluciones seleccionadas sean compatibles con las características específicas de los edificios históricos:

- Conservación del patrimonio: Evalúa si las medidas propuestas respetan y preservan los valores históricos y arquitectónicos del edificio. Esto incluye la minimización de alteraciones visuales y estructurales, así como la integración armónica de las nuevas instalaciones con los elementos constructivos tradicionales.
- Física de edificios: Analiza el comportamiento físico del edificio, especialmente en términos de su envolvente y sistemas energéticos. Esto incluye la evaluación del impacto de las medidas en aspectos como la transferencia térmica, la condensación y la ventilación, garantizando que las intervenciones no comprometan la integridad estructural o funcional del edificio.
- Viabilidad técnica: Determina las limitaciones prácticas de implementación, teniendo en cuenta las condiciones específicas del edificio, los materiales disponibles y los recursos técnicos requeridos. Esto es crucial para garantizar que las soluciones propuestas sean efectivamente realizables en el contexto de edificios patrimoniales.

Descripciones y Documentación: HiBERtool proporciona descripciones breves de cada medida de eficiencia energética, junto con enlaces a documentación más detallada. Esto permite una exploración profunda y adaptada a las particularidades de cada edificio, asegurando que las decisiones se basen en información exhaustiva. Adicionalmente, la herramienta guía a los usuarios en la evaluación y selección de las soluciones más adecuadas para un caso específico. Esto se realiza mediante un análisis comparativo de las medidas disponibles, considerando los criterios de compatibilidad patrimonial, viabilidad técnica y mejora energética.

El enfoque holístico que promueve esta herramienta no solo facilita la toma de decisiones informadas, sino que también fomenta el desarrollo de soluciones innovadoras que pueden replicarse en otros entornos patrimoniales, contribuyendo así a la preservación y valorización de estos bienes culturales.

[25] Herramienta disponible en: https://www.tool.hiberatlas.com/en/welcome-1.html. Para su utilización, basta acceder a la herramienta mediante el enlace y seleccionar el tipo de medida deseada (ventilación, paredes, ventanas, solar). La página se redirigirá a un árbol de decisiones a través del cual, dependiendo de cada una de las respuestas proporcionadas a la herramienta, se indicará a la solución más recomendada para cada caso.

2.5.2 Validación mediante estudios de caso

El uso de ejemplos reales de rehabilitación en edificios patrimoniales aporta valiosa información para validar las medidas propuestas. Estas experiencias permiten comprender los desafíos específicos del contexto y ajustar las herramientas y técnicas empleadas para mejorar su eficacia. En este sentido, la herramienta indicada anteriormente, se integra con una base de datos que recopila ejemplos de casos reales y edificios de referencia donde se han implementado con éxito medidas de eficiencia energética en edificios históricos. Esta conexión proporciona a los usuarios orientaciones prácticas y ejemplos ilustrativos, lo que facilita la toma de decisiones basadas en experiencias reales y verificadas, ofreciendo, además, descripciones detalladas de proyectos, incluidas las medidas adoptadas, los desafíos enfrentados y los resultados obtenidos.

En conjunto, estas herramientas y técnicas forman un marco robusto que permite evaluar integralmente las posibles soluciones de acondicionamiento térmico en entornos patrimoniales protegidos, asegurando su compatibilidad con los objetivos de conservación, sostenibilidad y confort térmico.

Figura 16. Implementación de sistemas de recuperación de calor.
Implementación de sistemas de recuperación de calor mediante conductos planos ocultos entre las vigas del forjado y canalizaciones verticales en chimeneas existentes. El impacto visual se mitiga mediante rejillas ornamentales de madera integradas en los techos, permitiendo que la modernización técnica respete la estética y la integridad patrimonial de la arquitectura tradicional.

2.6 Estrategias de comunicación y sensibilización con la comunidad local

La planificación y la estrategia de comunicación son herramientas de gestión primordiales. Atenuar las incertidumbres es siempre un factor significativo. Para ello, se incluyen instrumentos que permiten la previsión de escenarios, con el objetivo de asegurar el desarrollo y el éxito de las actividades. La estrategia consiste, así, en el estudio y la elección de alternativas para alcanzar los objetivos de forma eficiente y eficaz.

Las estrategias están intrínsecamente ligadas a los objetivos y metas propuestas, señalando caminos y técnicas a seguir para su consecución.

El vínculo con los medios de comunicación social locales constituye un elemento relevante para difundir el proyecto a nivel local y regional y fomentar la participación de los actores locales. El principal objetivo de las actividades de divulgación y comunicación es comunicar y difundir la información generada en el marco de este informe, así como sensibilizar a los distintos grupos objetivos sobre la problemática, promoviendo su involucramiento.

Figura 17. Flujo de información y objetivos

Se pretende que este plan de comunicación sirva como referencia y monitoreo de las actividades previstas en el proyecto, promoviendo los siguientes resultados:

- Establecer y mantener mecanismos de comunicación eficaces;
- Informar sobre el desarrollo del proyecto y fomentar las interacciones entre todas las partes interesadas;
- Coordinar todos los niveles y tipos de comunicación en relación al proyecto;
- Proporcionar información actualizada y confiable sobre los posibles impactos y consecuencias de la gestión ineficiente de residuos;
- Promover la capacitación de los actores involucrados en actividades de ordenamiento territorial y desarrollo urbano sostenible;
- Comunicar y difundir el conocimiento generado por el proyecto y toda la información relevante;
- Explorar los resultados del proyecto después de su finalización;
- Proveer los resultados del proyecto de manera sistematizada a través de una plataforma de comunicación (sitio web) orientada a la difusión de información, promoviendo su accesibilidad para los actores locales y regionales y el público en general.

En las fases de interpretación y difusión del patrimonio cultural, el diseño puede ayudar a dar a conocer, comprender mejor, empatizar, concienciar e invitar a la acción a la sociedad dirigiéndose a cada segmento de esta con el lenguaje, el nivel y el mensaje adecuados. Algunas acciones en este sentido son:

- Creación de exposiciones, musealización de edificios y sitios patrimoniales para visibilizar su valor de una manera clara y accesible.

- Recreaciones, *storytelling*, gamificación e interacción con el entorno. Cada vez es más habitual la utilización de diferentes herramientas tecnológicas (Realidad Aumentada y Realidad Virtual), narrativas y de gamificación para mostrar los valores ocultos del patrimonio cultural permitiéndonos viajar en el tiempo, acceder a sitios inaccesibles, recuperar patrimonio desaparecido o vivir historias y personajes que habitaron dicho patrimonio.

- Creación de itinerarios accesibles y sostenibles acompañados de una señalética que facilite su seguimiento y ayude a su comprensión. Esta señalética debe ser sostenible (en cuanto al mantenimiento) y respetuosa con el entorno patrimonial en el que se encuentra tanto desde el punto de vista ambiental como estético.

- Creación de actividades y materiales de divulgación que ayuden a la sensibilización y educación patrimonial de las nuevas generaciones.

Todas estas acciones deben estar orientadas a hacer el patrimonio más accesible, interesante, atractivo y comprensible para los diferentes públicos, asegurando el rigor en la transmisión del conocimiento y fomentando así el respeto por el patrimonio cultural[26].

Figura 18. Sensibilización y acceso comunitario.
Las estrategias de comunicación buscan involucrar a la comunidad mediante la difusión de información y el uso de herramientas de diseño (gamificación, realidad aumentada) para revalorizar el patrimonio y educar sobre su conservación.

[26] Walliser Martín, M. L. (2024). Sostenibilidad y patrimonio: Aportaciones desde el diseño. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, 216, 47-64. ISSN-e 1853-3523, ISSN 1668-0227.

3. Estudio de casos

3.1 Descripción de los entornos patrimoniales seleccionados

Dentro de las regiones que componen la zona EUROACE presentadas al inicio, se han seleccionado una serie de zonas y municipios concretos para llevar a cabo el análisis objeto del presente informe, atendiendo a la relevancia de los mismos dada su riqueza histórica, cultural y arquitectónica.

A continuación, se ofrece una descripción general de estas áreas, abordando su contexto geográfico, importancia arquitectónica y el estado de conservación actual, para fundamentar las intervenciones de rehabilitación energética propuestas.

3.1.1 Municipios españoles

Cáceres

Cáceres es una ciudad de gran relevancia histórica situada en la provincia del mismo nombre, en la región de Extremadura, al oeste de España. Su ubicación estratégica en una zona montañosa próxima a la frontera con Portugal le otorgó un papel destacado en los procesos históricos de la península ibérica, especialmente durante la Reconquista y los posteriores conflictos fronterizos.

Desde sus orígenes en la época romana, Cáceres ha sido un enclave de importancia estratégica y cultural. En la Edad Media, la ciudad fue disputada por musulmanes y cristianos hasta su definitiva conquista en el siglo XIII. Posteriormente, numerosas familias nobles establecieron aquí sus residencias, configurando su casco histórico con una riqueza arquitectónica singular. Este conjunto monumental, declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, conserva numerosos elementos de su pasado, desde sus murallas almohades hasta palacios y casas señoriales de los siglos XV y XVI, reflejando la evolución arquitectónica desde el gótico hasta el renacimiento y el barroco.

Figura 19. Arquitectura monumental.
El caso de Cáceres representa los desafíos de la rehabilitación térmica en entornos UNESCO, donde predominan los muros gruesos de piedra granítica y las estructuras medievales y renacentistas.

La arquitectura residencial de Cáceres es una de las más representativas de Extremadura, reflejando la historia de la ciudad y la influencia de las distintas culturas que han pasado por ella. Su casco histórico, declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, conserva numerosas viviendas de origen medieval, renacentista y barroco, que muestran la evolución de los estilos arquitectónicos a lo largo de los siglos.

Las casas tradicionales cacereñas se caracterizan por el uso de la piedra granítica en sus muros, lo que proporciona solidez y aislamiento térmico ante los veranos calurosos y los inviernos fríos. Las viviendas más antiguas, muchas de ellas de origen medieval, tienen una estructura sencilla, con pequeñas ventanas protegidas por rejas y gruesos muros que conservan el frescor en el interior.

En la actualidad, la arquitectura residencial de Cáceres enfrenta el reto de conservar su esencia histórica mientras se adapta a las necesidades modernas. Muchas casas han sido rehabilitadas para mejorar su habitabilidad sin perder su carácter original, integrando sistemas de eficiencia energética y materiales tradicionales en su restauración. El turismo y la revitalización del casco antiguo han impulsado la recuperación de numerosas viviendas, algunas de las cuales han sido convertidas en alojamientos turísticos o espacios culturales.

Badajoz

La ciudad de Badajoz, situada en la provincia homónima dentro de la región de Extremadura, está ubicada a orillas del río Guadiana y cerca de la frontera con Portugal, una posición clave que ha influido en la configuración de su trama urbana y en el diseño de sus viviendas.

Figura 20. Ejemplos del patrimonio pacense.
Ejemplos significativos del patrimonio pacense, desde la emblemática Plaza Alta hasta la Casa Puebla. La arquitectura tradicional de la ciudad se caracteriza por el uso de muros gruesos y materiales como el ladrillo y la cal; elementos constructivos esenciales para el análisis de la adecuación técnica y la inercia térmica en procesos de rehabilitación.

Con sus orígenes en la época musulmana, la arquitectura civil pacense se vio influenciada tanto por su función defensiva (dando lugar a la construcción de una de las alcazabas más grandes de la península), como por la presencia de una élite nobiliaria y administrativa que impulsó la construcción de palacios y edificios institucionales. Durante los siglos XV y XVI, el auge comercial de la ciudad favoreció la edificación de numerosas casas solariegas, mientras que en los siglos XVII y XVIII muchas de estas construcciones fueron reformadas o ampliadas, predominando en ellas el estilo barroco.

La arquitectura residencial de Badajoz ha evolucionado a lo largo de los siglos, adaptándose tanto a las necesidades defensivas como a las condiciones climáticas de la región. Las casas tradicionales pacenses se caracterizan por el uso de materiales como el ladrillo, la piedra y la cal, que proporcionan un buen aislamiento térmico. En el casco antiguo, todavía pueden encontrarse ejemplos de viviendas de origen medieval con muros gruesos, pequeñas ventanas enrejadas y patios interiores que favorecen la ventilación. Muchas de estas casas formaban parte de un entramado urbano irregular, adaptado a la topografía de la ciudad amurallada.

El proceso de restauración de viviendas en el centro histórico ha sido impulsado en gran medida por el turismo. A pesar de ello, sigue siendo fundamental una planificación urbana que garantice la conservación del patrimonio sin comprometer la habitabilidad y la eficiencia energética de los edificios.

Plasencia

En lo que respecta a Plasencia, su arquitectura refleja su evolución como ciudad histórica situada en la Vía de la Plata. Su función como enclave estratégico, su importancia eclesiástica y la presencia de una aristocracia influyente han dejado una huella en sus edificaciones, muchas de las cuales han conservado su estructura original a lo largo de los siglos.

Durante los siglos XV y XVI, Plasencia vivió un período de esplendor que se reflejó en la construcción de casas solariegas y palacios. Estas viviendas se caracterizan por sus fachadas de sillería, portadas con arcos y escudos nobiliarios tallados en piedra. En su interior, los patios empedrados con galerías porticadas y los techos de madera con artesonados decorativos muestran la influencia renacentista.

En el siglo XVIII, con el auge del barroco, muchas casas fueron reformadas, añadiendo balcones de hierro forjado, molduras decorativas y una mayor riqueza ornamental en las fachadas. Sin embargo, en las viviendas más humildes, los elementos arquitectónicos se mantuvieron más sencillos, con muros encalados, cubiertas de teja y pequeñas ventanas protegidas con rejas.

Hoy en día, la arquitectura residencial de Plasencia se enfrenta al mismo reto de la conservación, especialmente en el casco antiguo, donde entran en juego las limitaciones existentes de cara a la renovación manteniendo el respeto a la identidad histórica de los edificios.

Figura 21. Casa de las Dos Torres (Plasencia).
Fachada de palacio o casa solariega en el Casco Histórico de Plasencia: La arquitectura de sillería y los detalles renacentistas y

barrocos en Plasencia marcan el desafío de la rehabilitación térmica sin comprometer la identidad histórica.

Trujillo

Trujillo es una ciudad situada en la provincia de Cáceres, Extremadura, ubicada en una zona elevada entre los ríos Tajo y Guadiana. Se trata de una ciudad con gran legado histórico, dado que de ahí partieron destacados conquistadores como Francisco Pizarro y Francisco de Orellana.

Desde sus orígenes en la época prerromana, Trujillo ha sido un enclave de gran importancia estratégica y cultural. Durante la dominación musulmana, la ciudad se convirtió en una fortaleza clave, con un recinto amurallado que aún se conserva. Fue conquistada definitivamente por las tropas cristianas en el siglo XIII, pasando a formar parte del Reino de León. En los siglos posteriores, su nobleza adquirió gran influencia, favoreciendo el desarrollo urbano con la construcción de palacios, iglesias y plazas monumentales que reflejan el esplendor de la ciudad en la época renacentista y barroca.

La arquitectura de Trujillo se caracteriza por el uso de materiales locales como la piedra granítica y la cal, que proporcionan un aislamiento natural frente a las condiciones climáticas extremas de la región, con inviernos fríos y veranos calurosos. Sus edificaciones presentan gruesos muros, cubiertas de teja árabe y patios interiores que favorecen la ventilación y el control térmico. Este diseño tradicional, además de su funcionalidad, confiere a la ciudad una estética única que combina elementos vernáculos con influencias arquitectónicas de mayor complejidad.

Figura 22. Casa-Palacio del Marqués de la Conquista (Trujillo).
Vista de la Plaza Mayor de Trujillo y sus palacios: El uso de piedra granítica y los gruesos muros en la arquitectura de Trujillo reflejan estrategias de aislamiento natural tradicionales, clave para cualquier propuesta de acondicionamiento térmico.

Las viviendas más antiguas, muchas de ellas de origen medieval, presentan una disposición en torno a un patio central, que actúa como elemento de ventilación y proporciona luz natural a las estancias. Este tipo de estructura se mantiene en numerosas casas de los siglos XV y XVI, especialmente en las que pertenecieron a familias nobles y comerciantes adinerados. A menudo, estos patios cuentan con galerías porticadas y pozos de agua, elementos característicos de la arquitectura extremeña.

En cuanto a su estado de conservación, Trujillo mantiene un casco histórico bien preservado, pero la modernización de infraestructuras, incluyendo sistemas de acondicionamiento térmico, debe abordarse con cuidado para respetar el carácter patrimonial de sus edificios.

Jerez de los Caballeros

Jerez de los Caballeros se encuentra situada en la provincia de Badajoz, Extremadura. En el periodo medieval, la ciudad fue un bastión de la Orden del Temple, lo que marcó profundamente su identidad arquitectónica y urbana. Tras la disolución de la orden, pasó a manos de la Orden de Santiago, que consolidó su posición como un centro de poder religioso y militar. Su casco histórico, declarado Bien de Interés Cultural, conserva numerosos elementos que reflejan estas etapas históricas, desde sus murallas medievales hasta las iglesias de estilos gótico, renacentista y barroco, que aún hoy se alzan como testimonio de su rica herencia cultural.

Dos factores determinantes de la arquitectura civil jerezana serán, de una parte, la existencia desde finales del siglo XIV de un gran número de familias de la nobleza afincadas en la ciudad, y de otra la relativa riqueza del Concejo durante los siglos XV y XVI. Los primeros levantarán, con fines residenciales, una serie de palacios, de los que, por desgracia, se conservan muy pocos y el segundo procederá a construir algunas edificaciones públicas y administrativas que aún persisten, aunque bastante transformadas. Durante los siglos XVII y XVIII se reforman y amplían muchas casas señoriales de Jerez, motivo por el que pocos edificios de siglos anteriores han llegado hasta nosotros, mientras que contamos con un mayor número de la etapa barroca[27].

Figura 23. Iglesia de San Miguel Arcángel (Jerez de los Caballeros)
La arquitectura de la zona se caracteriza por el uso de mampostería y cal, proporcionando un aislamiento natural que debe considerarse al integrar soluciones de eficiencia energética en este entorno histórico.

[27] https://jerezcaballeros.es/ruta-de-los-palacios/

La arquitectura residencial de Jerez de los Caballeros refleja su rica historia como enclave estratégico y centro de poder en Extremadura. A lo largo de los siglos, la ciudad ha desarrollado un estilo arquitectónico propio, en el que conviven influencias medievales, renacentistas y barrocas, siempre adaptadas a las condiciones climáticas y a la disponibilidad de materiales locales.

Las viviendas tradicionales jerezanas se caracterizan por sus muros gruesos de mampostería y cal, que proporcionan un buen aislamiento térmico frente a los veranos calurosos y los inviernos fríos. La teja árabe es el material predominante en las cubiertas, mientras que las fachadas suelen presentar tonos blancos o almagres, reflejando la tradición andaluza y extremeña en el uso del encalado.

En el casco histórico de Jerez de los Caballeros aún se conservan numerosos ejemplos de viviendas tradicionales, aunque muchas han sido rehabilitadas para adaptarlas a las necesidades actuales.

Jerez de los Caballeros mantiene un casco histórico relativamente bien preservado, presentándose así como un ejemplo destacado de la historia y la cultura de Extremadura donde se hallan retos y oportunidades para la integración de soluciones modernas de eficiencia energética en un entorno que combina tradición y monumentalidad.

Zafra

Zafra es una ciudad de la provincia de Badajoz que se encuentra en la ruta de la Vía de la Plata, una de las principales vías comerciales de la península ibérica, lo cual influyó en su consolidación como importante enclave comercial, especialmente en la Edad Media, gracias a su feria ganadera y a su estrecha vinculación con la nobleza.

Durante la dominación islámica, la ciudad contaba con un sistema defensivo que más tarde fue reforzado por los cristianos tras su conquista en el siglo XIII. En el siglo XV, bajo el dominio de la poderosa Casa de Feria, Zafra experimentó un gran desarrollo económico y urbanístico, con la construcción de numerosos edificios que aún hoy definen su imagen.

Figura 24. Plaza Chica (Zafra).

La arquitectura residencial de Zafra, influenciada por su rol comercial y noble, incorpora elementos como patios interiores y

materiales locales que facilitan el control térmico natural.

Su arquitectura residencial refleja esta rica historia y diversidad cultural, marcada por las distintas épocas que han dejado su huella en la ciudad. En el casco antiguo, se pueden encontrar viviendas tradicionales de estructura sencilla, con fachadas de ladrillo, portones de madera y patios interiores, características propias de la arquitectura popular andaluza. Los edificios de los siglos XV y XVI, especialmente los vinculados a la nobleza y la burguesía, destacan por sus elegantes fachadas de piedra y la presencia de detalles renacentistas y góticos. Algunas viviendas presentan elementos mudéjares, como los azulejos y las celosías, mientras que el barroco también dejó su impronta en las decoraciones de puertas y ventanas.

En general, la arquitectura residencial de Zafra mantiene un aire sobrio y elegante, con una notable conservación de sus elementos históricos. Las casas suelen disponer de patios interiores que aportan frescor y luminosidad, una característica que es común en las ciudades andaluzas. El uso de materiales locales como la piedra, el ladrillo y la cerámica ha contribuido a la creación de un paisaje urbano armonioso, que conserva el carácter histórico de la ciudad.

Hervás (Valle del Ambroz)

Hervás es una pequeña ciudad situada en el Valle del Ambroz, en la provincia de Cáceres. Desde la Edad Media, Hervás fue un enclave de interés estratégico y comercial, destacándose como un punto de paso entre las comarcas del norte de Extremadura y la Meseta Central.

La historia de Hervás está marcada por su rica herencia judía, siendo uno de los pueblos con mayor presencia de la comunidad sefardí en la región. La arquitectura de su casco histórico refleja esta influencia, con calles estrechas y empedradas, plazas porticadas y viviendas de estilo popular. Las viviendas tradicionales de Hervás se caracterizan por sus fachadas de piedra, sus tejados a dos aguas y los balcones de madera, algunos de los elementos más distintivos de la arquitectura residencial de la localidad.

Figura 25. Barrio judío (Hervás)
El uso de materiales locales como la madera, piedra y adobe en Hervás proporciona una protección térmica natural adaptada al clima del Valle del Ambroz, esencial para las propuestas de adecuación.

El uso de materiales locales, como la piedra, el adobe y la madera, es una de las características más destacadas de la arquitectura residencial de Hervás. Estos materiales no solo responden a la disponibilidad local, sino que también proporcionan una excelente protección frente a las inclemencias del clima, caracterizado por inviernos fríos y veranos suaves en el Valle del Ambroz.

A pesar de las reformas que se han llevado a cabo en tiempos modernos, el casco antiguo de Hervás mantiene un gran valor arquitectónico, con ejemplos destacados de casas de dos o tres plantas, balcones de madera de estilo tradicional y patios interiores que favorecen la ventilación natural.

Robledillo de Gata (Gata)

Robledillo de Gata es un pueblo situado en la comarca de la Sierra de Gata, en la provincia de Cáceres. Este pequeño municipio, está ubicado en la vertiente sur de la Sierra de Gata, convirtiéndolo en un importante núcleo agrícola y ganadero, cuyos orígenes se remontan a tiempos medievales.

La arquitectura residencial de este municipio se compone de viviendas de construcción en piedra local, con calles empedradas y casas dispuestas en pendientes adaptadas al terreno, lo que conforman una estructura urbana típica de la Sierra de Gata.

Las casas tradicionales están organizadas en torno a pequeños patios interiores. Las fachadas mantienen un aspecto rústico integrado con el entorno natural. En muchos casos, las viviendas presentan tejados a dos aguas y chimeneas de gran altura, que se alzan como una característica distintiva de la arquitectura local.

A lo largo de los siglos, Robledillo de Gata ha conservado su arquitectura popular mediante una cuidadosa rehabilitación y restauración de los edificios para respetar la esencia arquitectónica del lugar. De esta manera, Robledillo de Gata, con su arquitectura tradicional y su inmersión en el paisaje montañoso de la Sierra de Gata, es un ejemplo claro de la arquitectura popular extremeña, que refleja la historia y el modo de vida de la comarca.

Figura 26. Arquitectura popular de la Sierra de Gata (Robledillo de Gata)

La arquitectura popular de la Sierra de Gata, con su uso de piedra local y adaptación al terreno, es un ejemplo de patrimonio que requiere una cuidadosa integración de soluciones de acondicionamiento térmico.

Valverde de la Vera (La Vera)

Valverde de la Vera pertenece a la comarca de La Vera (Cáceres) y está rodeado por el entorno natural de la Sierra de Gredos.

La arquitectura residencial de Valverde de la Vera está fuertemente influenciada por las tradiciones rurales de la comarca y por los materiales autóctonos disponibles en la zona. Las viviendas, construidas en piedra local y madera, presentan fachadas robustas y tejados a dos aguas, típicos de los pueblos serranos. Este estilo arquitectónico se caracteriza por su integración con el paisaje, adaptándose a la geografía montañosa y ofreciendo una excelente protección frente a las condiciones climáticas de la región, donde los inviernos son fríos y los veranos suaves.

. Figura 27. Fachadas de piedra y madera (Valverde de la Vera)
La robustez de las fachadas de piedra y madera en Valverde de la Vera refleja la adaptación histórica al clima de La Vera y la Sierra de Gredos, siendo fundamental para el análisis de eficiencia energética

Las casas siguen un diseño tradicional que incorpora elementos típicos de la arquitectura popular de La Vera. Uno de los elementos más representativos de la arquitectura de Valverde de la Vera son sus tejados de teja árabe, que, junto con los muros de piedra, configuran un conjunto arquitectónico típico de este municipio.

A lo largo de la historia, Valverde de la Vera ha mantenido una arquitectura que ha sabido adaptarse a las necesidades de sus habitantes, sin perder la esencia tradicional de la comarca. La preservación de los materiales locales y la construcción de viviendas en función del terreno y el clima han sido determinantes para la creación de un estilo arquitectónico único en la región.

Tornavacas (Jerte)

Tornavacas, situado en el Valle del Jerte (Cáceres), con sus estrechas calles y sus casas de piedra, conserva una gran parte de la arquitectura tradicional característica de la Sierra de Gredos.

La arquitectura residencial de Tornavacas destaca por su integración con el entorno natural a través del empleo de materiales locales. Las casas, con tejados de teja árabe, garantizan la protección frente a las precipitaciones típicas del valle. Las viviendas tradicionales de Tornavacas están organizadas de forma compacta, aprovechando el terreno accidentado y adaptándose a las pendientes de la montaña.

El pueblo ha conservado una arquitectura popular que refleja la historia y las tradiciones del Valle del Jerte. Durante siglos, los habitantes de Tornavacas han aprovechado los recursos naturales de la zona para construir sus viviendas, manteniendo siempre un equilibrio con el entorno.

Figura 28. Arquitectura compacta de piedra (Tornavacas)
La arquitectura compacta de piedra en Tornavacas refleja una adaptación histórica al clima y la topografía de la Sierra de Gredos, siendo esencial para el análisis de las soluciones térmicas no invasivas.

El turismo, atraído por la belleza de los paisajes naturales del Valle del Jerte y por el encanto de sus pueblos tradicionales, ha jugado un papel fundamental en la revitalización de Tornavacas. El pueblo es visitado por quienes buscan disfrutar de la naturaleza, practicar senderismo en sus montañas o, en primavera, observar el espectacular florecimiento de los cerezos, que convierte al valle en un destino turístico muy popular.

Nuñomoral (Las Hurdes)

Nuñomoral es un pueblo perteneciente a la comarca de Las Hurdes, en la provincia de Cáceres. Las Hurdes es conocida por sus montañas escarpadas, sus valles profundos y sus ríos, lo que ha marcado la evolución histórica y arquitectónica de sus pueblos. En Nuñomoral, se observa una integración entre las edificaciones del lugar con este paisaje presente en Las Hurdes.

Encontramos aquí un diseño de las viviendas de tipo funcional, adaptándose a las pendientes y a la orografía de la región. Las casas, muchas veces de varios pisos, se agrupan en el pueblo de manera compacta, siguiendo el trazado sinuoso de las calles. Las fachadas de las viviendas suelen ser simples pero robustas, y las ventanas y balcones de madera añaden un toque de calidez que se armoniza con el entorno rural. Los patios interiores, presentes en muchas de las viviendas, son un lugar clave para la circulación de aire.

Figura 29. Casas tradicionales de Piedra (Nuñomoral).
La arquitectura compacta y de piedra en Nuñomoral es funcional y resistente. Sus características constructivas son clave para el estudio de soluciones de acondicionamiento térmico que respeten la esencia patrimonial y bioclimática de Las Hurdes.

El uso de la piedra como material predominante no solo tiene una función práctica, sino también estética, proporcionando un aspecto propio de la arquitectura tradicional de Las Hurdes. Esta arquitectura sencilla pero sólida refleja la adaptación de los habitantes a las duras condiciones de la región y la necesidad de construir viviendas resistentes y funcionales.

3.1.2 Municipios portugueses

Elvas

Elvas es un municipio de gran relevancia histórica y cultural, situado en el distrito de Portalegre, en la región del Alentejo, Portugal. Reconocida como Patrimonio Mundial por la UNESCO en 2012, su fortaleza abaluartada es uno de los ejemplos más destacados de arquitectura militar en Europa, reflejando la relevancia estratégica de la ciudad como línea defensiva fronteriza durante los siglos XVI al XIX. Este sistema defensivo se complementa con una extensa red de fortificaciones exteriores, que incluye fuertes, baluartes y otras estructuras que ilustran la evolución de la ingeniería militar.

El casco histórico alberga diversas edificaciones civiles, militares y religiosas. Desde la Edad Media hasta la era moderna, Elvas jugó un papel clave en los conflictos fronterizos entre Portugal y España, lo que se tradujo en un patrimonio arquitectónico caracterizado por la solidez estructural y la funcionalidad estratégica.

Figura 30. Casas blancas tradicionales en el entorno de la Fortaleza de Elvas.
La arquitectura residencial encalada de Elvas, en un entorno UNESCO, presenta retos únicos al buscar la eficiencia energética sin alterar el valor universal excepcional de la fortificación

La arquitectura residencial de Elvas está influenciada por varios factores históricos, especialmente por el uso de materiales autóctonos de la región, como la piedra, el ladrillo y la cal. Las casas de la ciudad, tanto en el casco antiguo como en las zonas periféricas, muestran la sencillez y funcionalidad de la arquitectura alentejana. Los edificios presentan fachadas blancas con detalles en color, especialmente en las ventanas y puertas, que suelen ser de madera pintada en tonos cálidos o naturales.

Elvas presenta un casco histórico en buen estado de conservación, representando así ofreciendo una perspectiva enriquecedora para el desarrollo de estrategias que equilibren la preservación del patrimonio con las medidas de eficiencia energética.

Évora

Évora, situada en el Alentejo, es una ciudad fundada en la época romana que, a día de hoy, se presenta como un importante centro cultural y arquitectónico. La ciudad fue declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO debido a su excepcional conservación de monumentos que abarcan desde la época romana hasta el Renacimiento.

Durante la época romana, Évora se destacó por sus edificios públicos, como el templo romano, y sus viviendas de planta rectangular construidas con materiales locales. Sin embargo, la arquitectura de la ciudad experimentó un importante cambio durante la Edad Media y el Renacimiento, cuando Évora se convirtió en un importante centro administrativo y eclesiástico. En este período, se construyeron numerosas casas nobles y palacios, así como iglesias de estilo gótico y renacentista.

Figura 31. Fachada de Vivienda en el centro histórico de Évora.
La construcción en piedra, adobe y cal típica del Alentejo plantea el desafío de integrar soluciones de eficiencia energética respetando la sencillez de sus fachadas blancas. La morfología histórica de estas viviendas exige una adecuación técnica no invasiva que preserve su identidad patrimonial y estética.

Todo ello, ha hecho que su arquitectura residencial esté profundamente influenciada por las distintas épocas que la ciudad ha vivido. Las casas, típicamente construidas con piedra y adobe, presentan fachadas sencillas pero robustas, con balcones y azulejos decorativos que aportan un toque distintivo.

Serra da Estrela

La Serra da Estrela es la montaña más alta de Portugal continental, ubicada en la región central del país, la cual es famosa por su naturaleza, su biodiversidad y su arquitectura tradicional, que se adapta a las duras condiciones climáticas del lugar, caracterizadas por inviernos fríos y veranos suaves.

La arquitectura de los pueblos de la Serra da Estrela, está profundamente vinculada al entorno natural y a la historia de la región. Las casas son generalmente de dos o tres pisos, construidas en líneas rectas y sencillas, con fachadas de piedra. Las ventanas de madera y las puertas macizas son elementos característicos de la arquitectura local.

Figura 32. Viviendas tradicionales de piedra en la Serra da Estrela.
La arquitectura de piedra robusta de esta región de montaña se adapta a inviernos fríos, ofreciendo un contexto donde la modernización debe incorporar eficiencia energética sin perder el carácter rústico.

En algunas de las aldeas más altas de la Serra da Estrela, la arquitectura de las viviendas refleja la historia de la región, con construcciones más antiguas de piedra que datan de siglos pasados. Sin embargo, la modernización ha traído consigo nuevas viviendas y edificios que han incorporado técnicas contemporáneas de eficiencia energética, como paneles solares y aislamiento mejorado, sin perder el carácter rústico y tradicional.

3.1.3 Importancia de los entornos seleccionados

Cada uno de estos entornos patrimoniales no solo representa una manifestación única del legado histórico y cultural presente en la Eurorregión EUROACE, sino que también son espacios activos en el ámbito social y económico de las comunidades locales. Estos municipios y pueblos representan un patrimonio arquitectónico único que encapsula siglos de historia y de adaptación al entorno local. La conservación de estas edificaciones y su adaptación a los desafíos del cambio climático es una tarea fundamental, ya que, al adaptarlos a estos desafíos, no solo se consigue conservar el valor patrimonial y cultural de las edificaciones, sino también mejorar la calidad de vida de sus habitantes y fomentar la sostenibilidad en estas localidades.

El análisis y la descripción detallada de estos entornos proporcionarán una base sólida para la implementación de soluciones de acondicionamiento térmico adecuadas, que respeten el carácter histórico de las edificaciones y contribuyan a una rehabilitación resiliente y respetuosa con el entorno.

3.2 Análisis de la implementación de instalaciones renovables en cada caso

El análisis de la implementación de instalaciones de acondicionamiento térmico en los edificios seleccionados se llevó a cabo considerando un enfoque metodológico riguroso basado en los datos actuales de los edificios y utilizando, principalmente, la herramienta HIBERTool. Dada la relevancia de los edificios analizados, se debe siempre tener presente la necesidad de llevar a cabo un balance cuidadoso entre la mejora del acondicionamiento térmico y la preservación de los valores históricos.

3.2.1 Selección y caracterización de los edificios

El análisis comenzó evaluando las condiciones iniciales, considerando factores como la hermeticidad, la humedad relativa y la altura de los edificios, además de la posibilidad de integrar sistemas de ventilación mecánica en el contexto patrimonial. La herramienta HIBERTool permitió estructurar el proceso de decisión utilizando parámetros comunes y asunciones térmicas.

Museo de Arte Sacro en Jerez de los Caballeros

El Museo de Arte Sacro de Jerez de los Caballeros constituye un espacio cultural de gran valor patrimonial, dedicado a la conservación y exposición de obras religiosas que forman parte del legado histórico de la localidad. Está ubicado en el Palacio de la Vicaría, uno de los edificios más representativos de la arquitectura noble de la ciudad, el cual debe su nombre a haber sido antiguamente la residencia del Vicario General de la Orden de Santiago. Su construcción data del siglo XVIII y alberga en la actualidad una importante colección de arte sacro que incluye tallas, pinturas, orfebrería y otros objetos litúrgicos de distintas épocas, lo que subraya la necesidad de preservar adecuadamente tanto las piezas como el entorno arquitectónico que las contiene.

Desde el punto de vista técnico, el edificio presenta una superficie total construida de 839 metros cuadrados, con espacios amplios que favorecen la circulación del aire y contribuyen al acondicionamiento térmico. La hermeticidad del inmueble es adecuada, lo que facilita la implementación de sistemas de control climático que permitan mantener una temperatura y humedad estables, condiciones esenciales para la conservación del patrimonio expuesto. Las estimaciones actuales reflejan una temperatura media de 19 °C y un rango de humedad relativa entre el 48% y el 89%, valores que requieren especial atención para evitar riesgos de deterioro en las obras, especialmente aquellas más sensibles a las variaciones climáticas.

El principal desafío del museo es el control de la humedad, que podría afectar tanto al estado de las piezas artísticas como al confort térmico de los visitantes. Por ello, es fundamental optimizar los sistemas de climatización y monitorización ambiental para garantizar la preservación del valioso patrimonio artístico que el Museo de Arte Sacro resguarda.

Edificio dos Paços do Concelho en Elvas

El Edificio dos Paços do Concelho, situado en Elvas, Portugal, es una construcción histórica de uso administrativo que simboliza la riqueza patrimonial de la región. Su arquitectura combina elementos

funcionales con un diseño tradicional que debe ser preservado al realizar cualquier intervención. Con una superficie total de 1.812 metros cuadrados y una altura normal superior a los 2,5 metros, el edificio ofrece un espacio amplio y adecuado para la implementación de soluciones renovables.

Figura 33. Edifício dos Paços do Concelho (Elvas).
Un entorno patrimonial protegido con desafíos de control de humedad, clave para su preservación y uso administrativo

Este edificio cuenta con una hermeticidad calificada como buena, lo que facilita la integración de sistemas de ventilación y acondicionamiento térmico. Los datos actuales disponibles reflejan una temperatura media estimada de 18,5 °C y un rango de humedad relativa entre el 25 % y el 99 %. Este amplio rango de humedad presenta un reto adicional, especialmente en términos de control de condensación y optimización de las condiciones internas para el uso administrativo cotidiano.

Museo Histórico-Militar de Almeida (Serra da Estrela)

El Museo Histórico-Militar de Almeida es un edificio que se sitúa en la localidad de Almeida, con las coordenadas GPS: Latitud: 40.726873°; Longitud: -6.903527°. El edificio cuenta con una superficie útil de 1228,96 m², y está constituido por 2 plantas semienterradas, ambas en contacto con el suelo circundante. En la planta superior se encuentran los servicios administrativos y en la planta inferior la taquilla, los baños, el acceso a los servicios administrativos y las salas de exposición.

El entorno exterior está formado por pared exterior, huecos acristalados, suelo, techo y techo de granito. Las salas de exposición se encuentran por debajo del nivel del suelo, estando la pared exterior de granito en contacto directo con el terreno. Las paredes del museo presentan un espesor de aproximadamente 1 metro, los techos también son de granito y los huecos acristalados de las puertas están constituidos por vidrio doble.

En la tabla presentada a continuación, se resumen las principales propiedades actuales estimadas de cada edificio anteriormente descrito, las cuales fueron determinantes en el análisis con la herramienta HIBERTool.

Tabla 1. Datos iniciales estimados de los edificios de los entornos patrimoniales seleccionados.

Edificio	Temperatura media exterior (°C)	Humedad relativa (%)	Altura del edificio	Superficie (m^2)	Hermeticidad
Cáceres	16,4	35% - 79%	Normal (>2,5m)	547	Buena
Badajoz	17,2	38% - 79%	Normal (>2,5m)	1.994	Buena
Plasencia	15,5	34% - 78%	Normal (>2,5m)	2.436	Buena
Trujillo	15,9	34% - 80%	Normal (>2,5m)	162	Buena
Jerez de los Caballeros	16,5	37% - 79%	Normal (>2,5m)	839	Buena
Zafra	16	36% - 78%	Normal (>2,5m)	2.024	Buena
Hervás			Normal (>2,5m)	355	Buena
Robledillo de Gata	13,3	38% - 81%	Normal (>2,5m)	243	Buena
Valverde de la Vera	14,9	35% - 78%	Normal (>2,5m)	37	Buena
Tornavacas			Normal (>2,5m)	218	Buena
Nuñomoral			Normal (>2,5m)	623	Buena
Elvas	16,6	40% - 79%	Normal (>2,5m)	1.812	Buena
Évora	16,5	45% - 79%	Normal (>2,5m)	105	Buena
Serra da Estrela	12,6	46% – 83%	Normal (>2,5m)	1.229	Buena

3.2.2 Proceso de selección de soluciones

El proceso de selección de las soluciones más apropiadas para cada edificio siguió los pasos indicados en el diagrama presentado a continuación, el cual refleja la metodología de HIBERTool para identificar la solución más adecuada considerando las condiciones iniciales de cada edificio. Entre las variables clave, se analizaron la existencia de chimeneas o conductos, la altura y las restricciones específicas del entorno patrimonial.

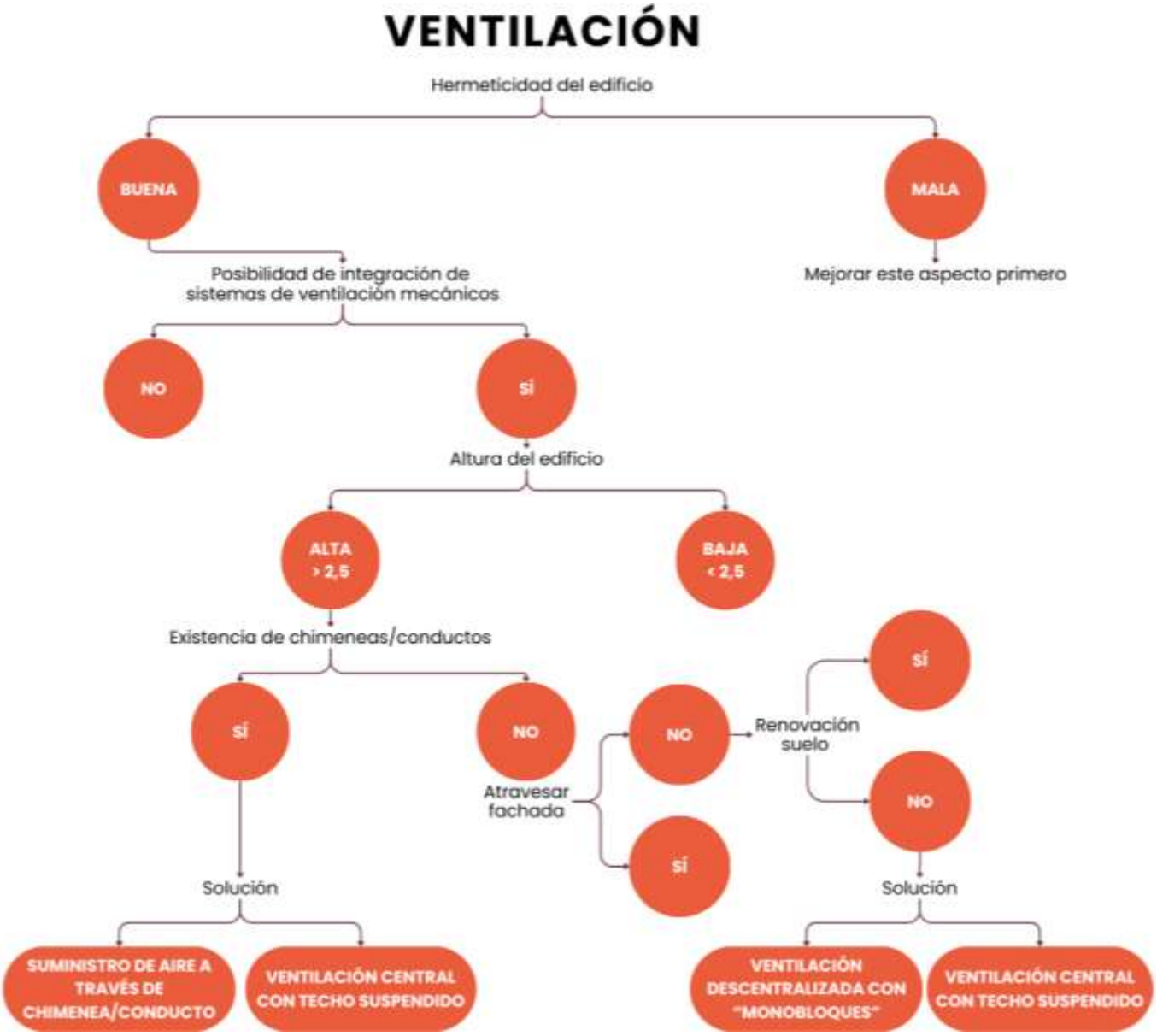


Figura 34. Diagrama de selección de soluciones.

A continuación, se detallan algunos de los parámetros técnicos determinantes en este proceso de selección que se muestran representados en la Figura 1.

Hermeticidad del edificio

La hermeticidad se refiere a la capacidad de la envolvente del edificio para limitar el paso de aire no controlado entre el interior y el exterior. Una envolvente hermética mejora significativamente el comportamiento energético y el confort interior, reduciendo pérdidas térmicas y facilitando la eficiencia de los sistemas de climatización.

Para su evaluación se consideran los siguientes criterios[28]:

Tabla 2. Criterios de hermeticidad.

Criterio	Buena hermeticidad	Mala hermeticidad
Estado de carpinterías	Cerramientos en buen estado, sin holguras ni deformaciones visibles	Holguras, deformaciones en marcos, dificultad de cierre hermético.
Sellado de encuentros	Uniones entre elementos bien resueltas, sin fisuras ni filtraciones visibles.	Presencia de rendijas, fisuras o puntos de fuga de aire.
Sensación térmica	No se perciben corrientes de aire con el edificio cerrado.	Se detectan corrientes, especialmente en época invernal, incluso con ventanas y puertas cerradas.
Intervenciones previas	Presencia de actuaciones recientes de mejora térmica o conservación en buen estado de los elementos originales.	Ausencia de mejoras, materiales envejecidos o deteriorados.

Viabilidad de integración de sistemas de ventilación mecánica

La posibilidad de incorporar un sistema de ventilación mecánica depende de las condiciones espaciales del edificio y de las restricciones normativas impuestas por su protección patrimonial. Así, se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

Tabla 3. Criterios de viabilidad de ventilación mecánica.

Criterio	Viable	No viable
Espacio técnico disponible	Existencia de falsos techos, patinillos, cuartos técnicos o huecos verticales para conducción.	Ausencia total de espacio útil para conductos o equipos, incluso en zonas no visibles.
Impacto en elementos protegidos	Posibilidad de realizar pequeñas perforaciones o adaptaciones sin intervenir sobre elementos clave.	Prohibición expresa de intervención sobre muros, techos, cubiertas u otros elementos catalogados.

[28] Nota técnica: La hermeticidad también puede evaluarse mediante pruebas Blower Door, aunque en entornos patrimoniales su aplicación puede estar limitada. En casos prácticos, el análisis cualitativo mediante observación y experiencia in situ resulta determinante.

Accesibilidad para captación/expulsión	Acceso a cubierta o fachada para instalación de rejillas discretas o recuperación de huecos previos.	Imposibilidad de modificar fachadas o cubiertas visibles desde el espacio público.
Infraestructura previa	Presencia de instalaciones antiguas (por aire, calefacción central, etc.) susceptibles de adaptación.	Inexistencia de sistemas previos aprovechables o incompatibilidad con las soluciones actuales.

Posibilidad de atravesar la fachada

La posibilidad de realizar perforaciones o intervenciones en la fachada del edificio, necesarias para la instalación de elementos como rejillas de ventilación, salidas de extracción o entradas de aire, constituye un parámetro esencial para la selección de soluciones de acondicionamiento, especialmente en edificios situados en entornos patrimoniales protegidos.

Este criterio se evalúa en función de la protección normativa de los elementos de fachada, la visibilidad desde el espacio público y la capacidad técnica de ejecución sin alterar la imagen arquitectónica del inmueble.

Tabla 4. Criterios sobre la posibilidad de atravesar la fachada.

Criterio	Intervención posible	Intervención no posible
Nivel de protección patrimonial	Fachadas no catalogadas o con protección parcial que permite intervenciones reversibles o no visibles	Fachadas con protección integral o elementos arquitectónicos protegidos (revestimientos, ornamentaciones)
Visibilidad desde el espacio público	Zonas de fachada ocultas, patios interiores o traseras donde las intervenciones no afectan la percepción	Fachadas principales o elementos visibles desde la vía pública, cuya modificación alteraría el valor patrimonial
Impacto visual de la solución	Uso de rejillas discretas, integradas en elementos existentes (como bajantes, cajas o huecos originales)	Necesidad de instalar elementos visibles, voluminosos o incompatibles con la estética original
Viabilidad técnica de ejecución	Posibilidad de realizar perforaciones sin comprometer la integridad estructural ni elementos decorativos	Imposibilidad técnica de intervenir sin afectar materiales originales o estructura histórica

En edificios con alta protección patrimonial, la posibilidad de atravesar la fachada debe ser validada por los organismos competentes (como comisiones de patrimonio municipal o regional). Se recomienda explorar alternativas como el uso de conductos interiores o salida a través de cubierta.

Previsión o posibilidad de renovación del suelo

La posibilidad de intervenir en el pavimento del edificio es un factor determinante para la implementación de ciertas soluciones de acondicionamiento térmico, como la climatización por suelo radiante, la mejora del aislamiento térmico desde el forjado inferior o la integración de redes de distribución ocultas. En edificios patrimoniales, esta posibilidad depende tanto del estado del pavimento original como del nivel de protección aplicable.

Este parámetro se analiza considerando los siguientes criterios técnicos y patrimoniales:

Tabla 5. Criterios sobre la posibilidad de renovar el suelo.

Criterio	Viable	No viable
Valor patrimonial del pavimento	Suelo no original o sustituido en intervenciones previas; sin protección patrimonial específica	Pavimento original con valor histórico, artístico o constructivo; protegido por normativa patrimonial
Estado físico del suelo	Deterioro evidente o necesidad de sustitución funcional (fisuras, desgaste, humedad, asentamientos)	Buen estado de conservación; cualquier actuación comprometería su integridad
Previsión de obra en el proyecto	El proyecto prevé la sustitución o intervención del suelo por razones funcionales o estructurales	El proyecto mantiene el suelo en su estado original sin posibilidad de alteraciones significativas
Espesor útil disponible	Existe espacio suficiente bajo el nivel de uso para incorporar sistemas (mínimo técnico alcanzable)	Espesor insuficiente, forjados muy delgados o niveles topográficos que impiden añadir capas o sistemas

Cuando el suelo tiene valor patrimonial, puede considerarse su desmontaje, restauración y posterior recolocación, aunque esta opción debe evaluarse caso por caso y en coordinación con las autoridades competentes. También puede contemplarse la instalación de soluciones sobre el pavimento existente, siempre que no se afecten elementos originales o alturas libres mínimas.

3.3 Resultados obtenidos

Las soluciones propuestas para la implementación de sistemas de ventilación en edificios patrimoniales protegidos están condicionadas por las características arquitectónicas de cada inmueble. En el caso de los museos, como el Museo de Arte Sacro en Jerez de los Caballeros, el uso de ventilación a través de chimeneas o conductos sería viable únicamente si la estructura contase con estos elementos de origen, lo que no siempre es el caso. Por otro lado, esta solución resulta completamente aplicable a edificios civiles, como los Paços do Concelho en Elvas, donde los conductos existentes permiten una integración eficiente y no invasiva. En cuanto a la ventilación con recuperación de calor mediante techo suspendido, su aplicación en iglesias plantea un impacto visual y de conservación importante debido a la afectación que generaría en techos decorativos o abovedados. No obstante, este sistema encuentra un contexto más adecuado en inmuebles administrativos o de uso civil, donde los falsos techos pueden implementarse sin alterar elementos arquitectónicos significativos.

Tras completar el análisis inicial y seleccionar las soluciones óptimas, se investigaron estrategias diseñadas para mejorar el acondicionamiento térmico y la eficiencia energética de cada edificio sin comprometer su integridad patrimonial. Como se puede observar en el diagrama presentado anteriormente, el resultado obtenido a través de la herramienta HIBERTool fue la identificación de tres soluciones principales, dependiendo de la existencia de chimeneas o conductos y del diseño estructural:

Suministro de aire a través de chimenea/conducto

Esta solución se basa en el aprovechamiento de elementos arquitectónicos existentes, como chimeneas o conductos de ventilación originales, para suministrar aire fresco al interior de los edificios patrimoniales. El aire es conducido a través de estos canales naturales, mejorando la ventilación sin necesidad de instalar nuevos sistemas visibles que podrían alterar la estética histórica del inmueble. Este enfoque tiene la ventaja de ser altamente respetuoso con las características originales de las construcciones, minimizando la intervención y los costos iniciales. Además, permite un control pasivo de las condiciones climáticas, contribuyendo a una eficiencia energética moderada sin alterar la estructura ni el diseño del edificio.

En términos de sostenibilidad, esta técnica minimiza el consumo energético al eliminar la necesidad de sistemas mecánicos activos, logrando una reducción en los costos operativos relacionados con la climatización. Adicionalmente, el impacto visual es nulo, ya que no se requieren modificaciones visibles en la fachada o el interior de los edificios. Este enfoque también es completamente compatible con la normativa de protección de los bienes de interés cultural y su entorno, e incrementa la percepción de autenticidad en los espacios intervenidos, mejorando su valoración cultural.

En los casos de Elvas y Jerez de los Caballeros, el aprovechamiento de estas estructuras permite integrar un sistema pasivo de ventilación que mejora la calidad del aire interior y reduce la acumulación de humedad, contribuyendo a la conservación de materiales sensibles como la madera y los frescos históricos.

Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido

Este sistema incorpora tecnología moderna mediante la instalación de un sistema centralizado de ventilación mecánica con recuperación de calor, alojado en un falso techo o techo suspendido. La recuperación de calor permite reducir el consumo energético, ya que reutiliza el calor del aire extraído para calentar el aire fresco entrante. Este método proporciona un control preciso de la calidad del aire interior, lo que resulta ideal para edificios con usos intensivos o específicos, como museos o centros culturales. Aunque requiere una mayor intervención inicial, incluida la instalación de techos suspendidos, garantiza una integración estética adecuada y cumple con los requisitos de reversibilidad, un aspecto clave en entornos patrimoniales protegidos.

En edificios como el seleccionado en Elvas, el sistema de ventilación mecánica centralizada con recuperación de calor logra estabilizar las condiciones térmicas y reducir significativamente las emisiones de carbono. Este sistema permite un control preciso de la temperatura y la humedad, protegiendo elementos patrimoniales clave.

Los beneficios incluyen una mejora en la eficiencia energética general del edificio, gracias a la reutilización del calor del aire extraído. Adicionalmente, la instalación de los techos suspendidos permite ocultar los sistemas técnicos sin afectar la estética histórica, respetando las directrices establecidas por los planes de protección locales. Aunque el costo inicial sea superior al de soluciones pasivas, su rendimiento a largo plazo y su bajo impacto en la conservación del patrimonio compensan la inversión. Además, su implementación fomenta la sostenibilidad ambiental, al reducir la huella de carbono.

Ventilación descentralizada con monobloques

La solución de ventilación descentralizada con monobloques, evaluada específicamente en los casos de Elvas y Jerez de los Caballeros, se ajusta a una amplia variedad de tipologías arquitectónicas, gracias a su diseño compacto y flexible. En los Paços do Concelho de Elvas, los monobloques se pueden integrar en ventanas y muros internos de bajo impacto patrimonial, permitiendo una mejora inmediata en la calidad del aire sin alterar la fachada ni los elementos decorativos. Este enfoque también puede resultar viable en áreas funcionales del Museo de Arte Sacro, donde no afecta la estética de los espacios principales.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, estos sistemas optimizan el consumo energético mediante su funcionamiento independiente en distintas zonas del edificio, adaptándose a las necesidades específicas de uso. Los monobloques ofrecen una mejora tangible en el confort ambiental, especialmente en espacios con alta afluencia de visitantes o actividad cultural. En Jerez, estas mejoras son fundamentales para revitalizar el uso de recintos religiosos como espacios multifuncionales, mientras que en Elvas pueden facilitar el mantenimiento y conservación de los edificios administrativos históricos. En ambos casos, el impacto visual es prácticamente nulo, una consideración clave en entornos patrimoniales protegidos.

Así, la ventilación descentralizada con monobloques se presenta como una solución versátil y efectiva para edificios patrimoniales de diversa tipología, maximizando los beneficios ambientales y sociales al tiempo que minimiza los costes y las alteraciones arquitectónicas, ejemplificando la posibilidad de equilibrar las necesidades contemporáneas de sostenibilidad y confort con la preservación del patrimonio cultural.

3.4 Evaluación de casos de éxito

Hoy en día, la integración de instalaciones de acondicionamiento térmico en edificios patrimoniales se realiza con un enfoque multidisciplinario que combina conservación arquitectónica, eficiencia energética y sostenibilidad. A continuación, se presentan una serie de casos de éxito en relación con la rehabilitación e implementación de energías renovables en edificios de valor patrimonial que se han considerado relevantes para la posterior obtención de buenas prácticas en proyectos similares futuros.

3.4.1 El Caso del Palacio de Venaria Reale

Se analiza la importancia del microclima interior en los edificios históricos, destacando el papel crucial de los sistemas HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado) en la preservación de las obras de arte y la protección del patrimonio cultural. Se centra en la Sala 33 del Palacio de Venaria Reale en Turín como un estudio de caso, ilustrando cómo la implementación de un sistema HVAC es fundamental para mantener las condiciones micro climáticas óptimas para la conservación de las obras de arte y el confort de los visitantes.

En este caso específico, la instalación del sistema HVAC fue clave para la conservación de las obras de arte dentro del palacio. El sistema permite un control preciso de parámetros clave como la temperatura y la humedad relativa, protegiendo las obras de arte de daños causados por condiciones ambientales inadecuadas. Para demostrar la efectividad del sistema, los autores realizaron simulaciones virtuales comparando dos escenarios:

- Escenario 1: Sistema HVAC activo: Este escenario replica las condiciones microclimáticas reales de la Sala 33 con el sistema HVAC en funcionamiento. Los datos monitoreados entre 2007 y 2017 mostraron valores de temperatura que oscilaban entre 20°C y 28°C, y una humedad relativa entre 30% y 60%. Estos valores cumplen con las normativas italianas para la conservación de la mayoría de los materiales.
- Escenario 2: Sistema HVAC desactivado: Este escenario hipotético simula las condiciones microclimáticas de la Sala 33 si el sistema HVAC estuviera apagado durante todo un año. Los resultados indicaron que las temperaturas bajarían por debajo de 20°C de enero a marzo y de noviembre a diciembre, alcanzando aproximadamente 15°C, muy por debajo de los estándares de conservación y las expectativas actuales de confort. Además, de mediados de junio a octubre, las temperaturas superarían los 30°C, lo que sería inapropiado tanto para la accesibilidad como para la conservación.

La comparación entre los dos escenarios demuestra claramente que, sin el sistema HVAC, el edificio no sería capaz de garantizar condiciones microclimáticas adecuadas para la preservación de las obras de arte ni el confort de los visitantes.

Además del análisis de la temperatura, también se considera la humedad relativa. Las simulaciones revelaron que, aunque los valores de humedad relativa sin el sistema HVAC no difieren mucho de los registrados con el sistema activo, ocurren picos que podrían poner en peligro las obras de arte, particularmente entre agosto y octubre, cuando el ambiente se vuelve excesivamente seco.

Fue asimismo evaluado el confort térmico de los visitantes utilizando los parámetros PMV (Predicted Mean Vote) y PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). Las simulaciones confirmaron que el sistema HVAC proporciona un confort térmico significativamente mejor en comparación con la ausencia de aire acondicionado, tanto en invierno como en verano.

En conclusión,se subraya la importancia fundamental del sistema HVAC para la conservación de las obras de arte y el confort de los visitantes en el Palacio de Venaria Reale. La instalación del sistema fue parte de un proyecto de restauración destinado a rehabilitar y mejorar el edificio, confiando al sistema HVAC la gestión del microclima interior. Aunque este enfoque contrasta con la lógica de diseño de los arquitectos preindustriales que concibieron el edificio, ha demostrado ser necesario para garantizar la preservación a largo plazo del patrimonio artístico y la usabilidad del palacio por parte del público.

3.4.2 Otros casos relevantes[29]

Hay numerosos casos que, a pesar de no estar directamente relacionados con la instalación de sistemas de ventilación, reflejan buenas prácticas que no deberían pasar desapercibidos.

Paisaje Cultural del Lago Fertő/Neusiedler

Se trata de un terreno llano que rodea un gran lago con vistas panorámicas; al este del lago se encuentra la zona estéticamente característica y sensible, con laderas boscosas y patrones enredados de diversos tipos de tierras, que van desde viñedos y césped hasta el cinturón de caña, incluida la "región de los cerezos en flor". Al norte, se encuentra la árida y técnicamente denominada llanura de Parndorf. El lago Fertő/Neusiedler ha sido punto de encuentro para diferentes culturas durante ocho milenios, ilustrado por su variado paisaje, resultado de un proceso evolutivo y simbiótico de interacción humana con el entorno físico.

El proyecto llevado a cabo fue una zonificación del parque eólico y el Paisaje cultural Patrimonio Mundial Fertö/Neusiedlersee. El estudio fue compilado como preparación de la Misión del Órgano Asesor de ICOMOS en marzo de 2013, con el objetivo de mostrar cómo el Estado Parte trataba la conservación del Patrimonio Mundial. Se prestó especial atención a los aspectos relacionados con los valores paisajísticos y visuales y al desarrollo de la energía eólica. En una etapa inicial, los autores retoman el marco normativo para la protección del bien, que ha sufrido constantes actualizaciones y ajustes desde que el bien fue incluido en la lista en 2001. El documento también hace referencia al rápido desarrollo de las energías renovables en el Estado Federal de Burgenland, gracias a un enfoque de planificación regional eficiente. Describe la relación entre la energía eólica y la conservación del Patrimonio Mundial en otros países. Una comparación de las situaciones lleva a la conclusión de que la integridad visual del lago Fertö/ Neusiedler es menos sensible al desarrollo de la energía eólica en un entorno más amplio que en muchos otros casos, por ejemplo, el emblemático Mont Saint-Michel (Francia). El estudio concluye con una evaluación de impacto para los

[29] Todos los casos presentados a continuación se han extraído de: Alonso Campanero, J. A. et. al. (2022), *Guía de buenas prácticas para la instalación de infraestructuras y equipamientos relacionados con las energías renovables y su potencial afección al patrimonio cultural*. ICOMOS-España, Madrid, a su vez extraído del documento *World Heritage and wind energy planning protecting visual integrity in the context of the energy transition. Inspiring practices from four European countries, elaborado por UNESCO y el Ministerio de Ministerio de la Transición Ecológica del Gobierno de Francia*.

parques eólicos existentes y ofrece extractos de las evaluaciones de tres proyectos de parques eólicos aprobados en diferentes etapas de desarrollo (en curso o planificados). Recomendaciones y conclusiones:

- La aclaración recomendada de los atributos visuales del VUE y su entorno proporcionarán una base para las evaluaciones de impacto en cualquier etapa de planificación y aumentarán la certeza de la planificación. Esta herramienta facilita la consideración apropiada en los procesos de planificación. En determinadas circunstancias, puede aumentar su peso en relación con otros factores relacionados con ámbitos como el crecimiento económico, el turismo o la producción agrícola.
- Fortalecimiento de capacidades o sensibilización sobre la integridad visual de una propiedad Patrimonio Mundial entre las autoridades gubernamentales, incluida la Conservación del Patrimonio. La misión de asesoramiento es un medio eficaz para obtener asesoramiento valioso e imparcial y orientación oficiosa sobre casos concretos de especialistas internacionales: la misión de asesoramiento de 2013 proporcionó importantes ideas y recomendaciones, que influyeron en los procesos de planificación y también orientarán la próxima evaluación y revisión del plan de gestión. La Planificación Regional, como herramienta de trabajo consensuada, promueve la sostenibilidad a través de procesos de consulta y comunicación participativa temprana en una fase de planificación previa para el desarrollo de la energía eólica. El proceso participativo ha sido elogiado como un activo clave y una "receta secreta" (Bell, Schellmann 2014: 20), para alcanzar la aceptación y el apoyo inusualmente amplios del desarrollo de la energía eólica en la región. Como tal, en última instancia, puede considerarse el garante de una transición energética sostenible.
- Alentar a los medios de comunicación y a la prensa o a las partes interesadas asociadas (por ejemplo, WWF) a fomentar el bien y las consideraciones sobre el desarrollo de la energía eólica, para crear conciencia y aumentar la credibilidad y la aceptabilidad.
- Desarrollar orientaciones para las evaluaciones del paisaje sobre la base de métodos científicos probados, considerar el Anexo IX del Informe de la Misión Asesora ICOMOS/ UICN (2013), bibliografía sobre cuestiones visuales en el paisaje.
- Desarrollar criterios de proyección (basados en el ejemplo de los criterios de construcción) para proyectos de energía eólica.
- Definir una zona visual en apoyo de una zona de amortiguación.

Iglesia y colina de Vézelay (Francia)

Área de impacto paisajístico de Vézelay y proyectos de aerogeneradores. Estudio prospectivo para la planificación del desarrollo: El estudio «del área de impacto paisajístico» en Vézelay se puso en marcha para abordar los muy diversos enfoques que se encuentran entre el creciente número de proyectos que comienzan a surgir en la zona a unos 15 o 20 km de distancia del bien. Su objetivo es proporcionar un análisis completo y bien sustentado, como base para una consideración más objetiva para cada caso, y un enfoque integral para una protección adecuada del bien, a fin de evitar evaluaciones *ad hoc*. Recomendaciones y conclusiones:

- Crear un grupo de trabajo interministerial y cooperación entre los sectores, también a nivel local.

- Elaborar una guía para la redacción de evaluaciones de impacto para proyectos de parques eólicos, basada en casos como el ejemplo francés, incluyendo consideraciones en Patrimonio Mundial, en particular.
- Incluir una consideración especial para el Patrimonio Mundial en los requisitos generales en toda la planificación de parques eólicos a la vista de una propiedad del Patrimonio Mundial.
- Desarrollar un lenguaje común para describir los tipos y cualidades del paisaje para facilitar los debates sobre los posibles impactos.
- Explorar formas de buscar la inclusión económica o la solidaridad.
- Promover la calidad de los bienes Patrimonio Mundial como laboratorios que fomentan los avances en el pensamiento reproducible y el trabajo de campo que es más replicable.
- Promover las EIP como herramientas para el desarrollo iterativo de proyectos y para mejorar el conocimiento sobre formas de limitar los impactos.
- Buscar el desarrollo de elementos tangibles e imparciales para las personas responsables de la gestión y permitir el examen de las solicitudes por parte de las autoridades gubernamentales (metodología objetiva y compartida).

Parque arqueológico de Hedeby y el Danevirke (Alemania)

Sitio arqueológico en serie, restos de ciudad comercial y estructura defensiva vikinga, elementos vinculados espacialmente (movimientos de tierra, paredes, zanjas, asentamiento, cementerio, puerto), siglos VIII al XI. Se desarrolló una evaluación del impacto de las turbinas eólicas previstas en la integridad visual de la posible propiedad del Patrimonio Mundial «Frontera arqueológica». Estudio prospectivo con fines de planificación regional, centrado en la evaluación visual del entorno. Recomendaciones y conclusiones:

- Fomentar el diálogo con los grupos de interés como plataforma para desarrollar soluciones que aborden adecuadamente las distintas posturas y desafíos en juego en el desarrollo de la energía eólica, de manera compatible con la protección del Patrimonio Mundial;
- Iniciar un proceso de desarrollo de un marco para una buena práctica técnica en el caso de las visualizaciones, que reúna a expertos y profesionales de la protección del Patrimonio Mundial, las autoridades pertinentes y el sector de la energía eólica.

Yacimiento neolítico en Orkney (Gran Bretaña)

Sitio prehistórico domésticos y ceremoniales. Proyecto de El corazón de las Orcadas Neolíticas, Patrimonio Mundial, agosto de 2008. Estudio prospectivo para la planificación del desarrollo, encargado en el contexto de la creciente evolución de los parques eólicos en la zona. Los objetivos del estudio fueron, por un lado, proporcionar una descripción objetiva de la configuración del bien y, por otro, ofrecer recomendaciones para definir una zona de amortiguación mejorada y la naturaleza de las políticas relacionadas con el bien. Recomendaciones y conclusiones:

- Desarrollar una guía dedicada con información clave y explicaciones sobre estrategias y procesos para planificadores, desarrolladores, responsables de la toma de decisiones, etc., y hacerla fácilmente accesible en línea.

- Buscar procesos de consulta, particularmente, en el desarrollo práctico de las directrices.
- Desarrollar una "guía breve" para un bien Patrimonio Mundial, que incluya toda la información relevante sobre el sitio y su entorno para informar y sensibilizar a las partes y al público interesados sobre las especificaciones y los requisitos de conservación.
- Fomentar la participación visible de las organizaciones especializadas, mediante consultas y, en particular, la publicación de directrices de apoyo, informes y recursos en línea o actos públicos. Esto incrementa la visibilidad y la credibilidad.
- Identificar el VUE[30], los atributos y el entorno más amplio en un estudio específico para determinar las necesidades de protección y gestión. La información ofrece una base sólida para las evaluaciones de impacto, el seguimiento y la gestión. Estos estudios deben aspirar a la máxima neutralidad y, por lo tanto, deben evitar anticipar posibles planes de parques eólicos futuros, a menos que se desarrollen en consulta con especialistas del sector eólico o en casos de planes y datos específicos.
- Proporcionar información sobre la protección de la integridad visual de un bien para los procesos de gestión, planificación regional y autorización, con el fin de aumentar la transparencia y permitir la conciencia temprana y la máxima certeza para la planificación.
- Esforzarse por producir documentación de alta calidad, incluidas fotografías y planos georreferenciados, para mantenerlos como registros y referencias.

3.5 Evaluación de casos no exitosos. Desafíos encontrados

La evaluación de intervenciones en edificios patrimoniales protegidos permite no solo identificar casos de éxito, sino también aquellos en los que las soluciones implementadas no lograron los resultados esperados. Este apartado se centra en analizar casos no exitosos, donde se ilustran los desafíos únicos que presentan los edificios históricos, incluyendo limitaciones estructurales, normativas y técnicas.

El análisis de estos casos proporciona valiosas lecciones aprendidas que pueden guiar futuras intervenciones, destacando la importancia de una planificación exhaustiva, la elección adecuada de tecnologías y la necesidad de adaptar las soluciones a las características específicas de cada entorno patrimonial.

3.5.1 Biblioteca Joanina en Coimbra

El artículo analiza la efectividad de un sistema de deshumidificación instalado en la Biblioteca Joanina, un sitio Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO del siglo XVIII, para controlar los niveles de humedad relativa (HR) y preservar sus colecciones. El estudio revela que la implementación fue ineficaz, destacando las características del edificio, los desafíos encontrados, los errores cometidos y las lecciones aprendidas para proyectos futuros.

Características del edificio

[30] Valor Universal Excepcional.

La Biblioteca Joanina es un edificio histórico sin sistemas HVAC, dependiendo de la ventilación natural a través de infiltraciones de aire y la apertura intermitente de la puerta principal. Esta dependencia de la ventilación natural hace que el ambiente interior sea altamente vulnerable a las condiciones climáticas externas. La alta inercia térmica del edificio limita el impacto de los deshumidificadores en los niveles internos de HR.

Desafíos encontrados

- Control limitado de la HR: Los deshumidificadores tuvieron un impacto mínimo en la reducción de los picos de HR y en alcanzar el punto de ajuste del 60%. La HR promedio se mantuvo alta (por encima del 65%), con fluctuaciones significativas, incluso mayores a las registradas antes de la instalación del sistema.
- Influencia del clima externo: Las condiciones higrotérmicas interiores fueron fuertemente influenciadas por el clima exterior, lo que resalta la dificultad de controlar la HR en un edificio histórico con ventilación natural.
- Interrupción operativa: Los deshumidificadores se apagaban por la noche por razones de seguridad, contribuyendo a las fluctuaciones de HR.

Errores cometidos

- Selección inadecuada del sistema: El uso de deshumidificadores domésticos con capacidad limitada y operación no continua resultó insuficiente para las necesidades de la biblioteca.
- Falta de evaluación preliminar: No se realizó un análisis integral de las características del edificio ni de sus interacciones con el clima externo antes de implementar el sistema de deshumidificación.

Lecciones aprendidas

- Evaluación del contexto: Antes de implementar cualquier sistema de control ambiental en un edificio histórico, es crucial evaluar a fondo las características del edificio, su interacción con el clima externo y las necesidades específicas de sus colecciones.
- Selección apropiada del sistema: La elección de un sistema de control ambiental debe basarse en un análisis detallado de las necesidades del edificio, seleccionando sistemas con capacidad adecuada y operación continua.
- Monitoreo continuo: Es esencial el monitoreo constante de las condiciones higrotérmicas, tanto dentro del edificio como dentro de las colecciones, para evaluar la efectividad del sistema de control y realizar los ajustes necesarios.
- Explorar soluciones alternativas: Si la deshumidificación resulta ineficaz, es importante considerar soluciones alternativas, como la ventilación adaptativa o la calefacción de conservación, evaluando sus pros y contras para el caso específico.

3.5.2 El Caso del Museo de Arte Antiguo de Bruselas

En 2009, en el Museo de Arte Antiguo de Bruselas, un fallo del sistema HVAC provocó una caída prolongada de la humedad relativa (HR) que pasó desapercibida durante 55 días. Este retraso en la detección del problema fue atribuido a un monitoreo ineficaz tanto del sistema como de las condiciones climáticas dentro del área de almacenamiento. Como resultado, cientos de las 842 pinturas almacenadas sufrieron daños,

especialmente en las capas de pintura. El costo estimado de restauración de las obras dañadas fue de 1 millón de euros.

Este caso destaca la importancia crítica del monitoreo constante y preciso de los sistemas HVAC y las condiciones ambientales en los museos para prevenir daños irreversibles en las obras de arte. Además, resalta la necesidad de sistemas de alarma efectivos que señalen cualquier anomalía para permitir una acción inmediata.

Problemas comunes en entornos de museos

- Problemas a corto plazo: Fallos en componentes, como humidificadores defectuosos, pueden causar cambios abruptos en la temperatura y la humedad relativa (HR). Por ejemplo, una falla en invierno provocó una caída del 30% en la HR en 24 horas en una galería con control climático.
- Fallos a largo plazo: Un monitoreo ineficaz puede resultar en interrupciones prolongadas. Un caso notable ocurrió en 2009 en el Museo de Arte Antiguo en Bruselas, donde un fallo no detectado en el sistema HVAC causó una caída de HR durante 55 días, dañando cientos de pinturas.
- Errores de diseño: La elección inapropiada de sistemas HVAC y salidas de ventilación mal ubicadas pueden crear microclimas desiguales, exponiendo las obras de arte a condiciones inadecuadas. Por ejemplo, algunas pinturas fueron sometidas a temperaturas más altas que el clima promedio de la habitación debido a la ubicación incorrecta de los conductos de ventilación.
- Controles demasiado estrictos: Mantener rangos excesivamente estrechos de temperatura y HR en edificios históricos, que a menudo carecen de aislamiento adecuado, puede generar condensación, crecimiento de moho y degradación de los materiales. Por ejemplo, la HR detrás de una pintura en una pared no aislada superó el 75% en invierno, a pesar de que la HR ambiente se mantenía en 50%.

Análisis técnicos

Para identificar las causas de los problemas climáticos, se recomienda:

- Monitoreo climático: Registrar las temperaturas y HR del aire interior, exterior y de suministro durante periodos prolongados para detectar anomalías.
- Inspecciones de edificios y HVAC: Recoger datos sobre los niveles de aislamiento, tipos de distribución del aire, sistemas de refrigeración y niveles de recirculación del aire.
- Análisis de datos: Correlacionar los datos climáticos con las características del edificio y del sistema HVAC para identificar las fuentes del problema.
- Revisión de sensores: Verificar regularmente la funcionalidad de los sensores de temperatura y HR con sistemas de monitoreo independientes para validar los datos.

Métodos de Resolución

- Mantenimiento programado: Realizar mantenimiento preventivo regularmente para evitar fallos y mal funcionamientos.
- Redundancia: incluir componentes críticos duplicados en los sistemas HVAC para asegurar la fiabilidad del sistema durante fallos.
- Diseño preciso: contar con diseñadores de HVAC experimentados en museos para adaptar los sistemas a las necesidades específicas del edificio y las obras de arte.

- Monitoreo constante: usar tanto un Sistema de Gestión de Edificio (BMS) como sistemas de monitoreo independientes para rastrear continuamente las condiciones climáticas y activar alertas ante anomalías.
- Colaboración interdisciplinaria: involucrar a arquitectos, ingenieros, conservadores y gestores de colecciones desde la fase de diseño para garantizar un enfoque integrado.
- Controles flexibles: ajustar los puntos de ajuste de temperatura y HR según las condiciones climáticas externas y los requisitos específicos de los artefactos, evitando parámetros demasiado estrechos que puedan causar condensación.

Se enfatiza la necesidad de un enfoque bien informado y reflexivo para los sistemas HVAC en los museos. Los sistemas costosos por sí solos no garantizan un clima interno óptimo. Lograr las condiciones deseadas requiere la experiencia de profesionales cualificados, planificación cuidadosa, monitoreo continuo y mantenimiento regular. Una estrategia interdisciplinaria y adaptable es esencial para preservar las obras de arte y proteger el patrimonio cultural de manera efectiva.

3.6 Conclusiones y buenas prácticas

El análisis realizado sobre la implementación de sistemas de acondicionamiento térmico en entornos patrimoniales protegidos revela la necesidad de adoptar un enfoque equilibrado que combine la conservación del patrimonio con las exigencias funcionales de confort y eficiencia energética. A través del estudio de casos y las mejores prácticas identificadas, se puede concluir que el uso de sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) bien diseñados y gestionados es fundamental para conservar estos edificios. A continuación, se sintetizan las principales conclusiones y las buenas prácticas clave que deben tenerse en cuenta en la implementación de soluciones de acondicionamiento térmico en estos entornos:

3.6.1 Conclusiones

Importancia del microclima controlado: Los entornos patrimoniales, especialmente aquellos que albergan colecciones de alto valor histórico y cultural, requieren un control preciso de las condiciones climáticas internas. La temperatura y la humedad relativa son dos de los parámetros más críticos, ya que su fluctuación puede tener efectos devastadores sobre la conservación de los materiales y las estructuras.

El Diseño del sistema HVAC es esencial: El diseño adecuado del sistema HVAC debe tener en cuenta las características específicas del edificio, respetando su estructura arquitectónica y garantizando que el sistema sea eficiente sin causar daños a la edificación. Las soluciones deben ser personalizadas para cada espacio y no se debe adoptar un enfoque "genérico" que no considere las particularidades de los edificios históricos.

La instalación debe ser mínimamente invasiva: Las técnicas de instalación deben ser lo menos invasivas posible para preservar la integridad estructural y estética del edificio. Además, se debe tener especial cuidado con la selección de materiales y equipos que sean compatibles con la construcción original.

Monitoreo y control continuo: Un sistema de monitoreo constante es crucial para asegurar que los parámetros microclimáticos se mantengan dentro de los rangos óptimos para la conservación. Este monitoreo debe ir acompañado de sistemas de alarma que alerten sobre cualquier desviación significativa de los valores establecidos.

Mantenimiento regular y formación del personal: Los sistemas HVAC en edificios históricos requieren un mantenimiento riguroso y periódico para asegurar su funcionamiento correcto. Además, es necesario formar al personal encargado de la operación del sistema, de manera que pueda gestionar adecuadamente cualquier incidencia.

3.6.2 Buenas Prácticas

Evaluación preliminar exhaustiva: Antes de la implementación de cualquier sistema HVAC, se debe realizar un análisis detallado del edificio, incluyendo su orientación, tipo de materiales, niveles de aislamiento y posibles fuentes de humedad. Esto permitirá diseñar un sistema adecuado a las características particulares del edificio.

Diseño integrado con la conservación: El sistema HVAC debe ser parte de un enfoque integral que tenga en cuenta tanto las necesidades de conservación de los artefactos como las necesidades de confort de los visitantes. Las soluciones deben priorizar la minimización del impacto visual y estructural, por ejemplo, optando por sistemas de ventilación natural cuando sea posible o utilizando dispositivos de distribución de aire discretos.

Dimensionamiento correcto del sistema: Evitar el sobredimensionamiento del sistema HVAC es crucial para garantizar la eficiencia energética y evitar problemas como la condensación. El sistema debe estar diseñado para satisfacer las necesidades específicas del edificio, sin generar un consumo energético innecesario.

Implementación de sistemas de control y monitoreo de alta precisión: Los sistemas HVAC deben ir acompañados de un sistema de monitoreo avanzado que permita el seguimiento en tiempo real de la temperatura, la humedad relativa y otros parámetros relevantes. Las alarmas deben ser configuradas para alertar inmediatamente sobre cualquier anomalía que pueda poner en riesgo las condiciones de conservación.

Mantenimiento preventivo y capacitación constante: Para asegurar el buen funcionamiento de los sistemas HVAC, es fundamental establecer un plan de mantenimiento preventivo regular. Esto incluye la limpieza de filtros, la verificación de sensores y la calibración de equipos. Además, es indispensable proporcionar capacitación continua al personal sobre el uso y la gestión del sistema HVAC, así como sobre la interpretación de las lecturas del sistema de monitoreo.

3.6.3 Recomendaciones específicas para la implementación

Integrar soluciones sostenibles: Incorporar tecnologías de eficiencia energética, como el uso de energías renovables (paneles solares o geotermia), que contribuyan a la reducción de la huella de carbono del edificio. Estas soluciones pueden ser especialmente valiosas en edificios históricos que buscan ser restaurados sin comprometer su sostenibilidad.

Considerar la ventilación natural: En entornos donde el clima lo permita, es recomendable integrar sistemas de ventilación natural que reduzcan la dependencia de los sistemas HVAC mecánicos. La combinación de ventilación natural y HVAC puede mejorar la eficiencia energética, especialmente durante las estaciones intermedias.

Revisar las normativas locales y las directrices internacionales: Es fundamental cumplir con las normativas locales e internacionales sobre conservación y protección del patrimonio, lo que incluye la regulación de los

sistemas de climatización en espacios protegidos. Esto asegura que cualquier intervención sea coherente con las mejores prácticas y esté alineada con los estándares de conservación.

En conclusión, la implementación de soluciones de acondicionamiento térmico en entornos patrimoniales protegidos requiere un enfoque cuidadoso, donde el diseño, la instalación y el mantenimiento del sistema HVAC deben ser adaptados a las necesidades específicas del edificio y las obras que alberga. Solo mediante un compromiso con la calidad, la eficiencia y la preservación del patrimonio se podrá garantizar tanto la conservación de las colecciones como el confort de los usuarios del espacio.

4. Análisis de resultados

4.1 Impacto de las instalaciones de acondicionamiento térmico en edificios ubicados en entornos patrimoniales protegidos

La estrategia de integración de instalaciones de acondicionamiento térmico en edificios patrimoniales protegidos, como en los casos de Elvas y Jerez de los Caballeros, ha sido diseñada cuidadosamente para garantizar un bajo impacto en los valores históricos, culturales y arquitectónicos que definen estos entornos. Estas soluciones responden tanto a las necesidades contemporáneas de confort térmico y calidad ambiental como a la obligación de preservar la autenticidad y la integridad de los inmuebles, en estricta concordancia con las normativas de protección del patrimonio.

Las estrategias propuestas demuestran que es posible compatibilizar la mejora de las condiciones habitacionales con el respeto a las características inherentes de los edificios históricos. La aplicación de tecnologías avanzadas de bajo impacto y la implementación de medidas de mitigación específicas permiten una integración armoniosa de los sistemas propuestos, minimizando alteraciones visuales, estructurales y funcionales.

En ambos entornos patrimoniales, un factor clave de atención ha sido la preservación de la estética y la autenticidad del casco histórico, destacando los sistemas de ventilación que se integran discretamente en los espacios arquitectónicos. Esto incluye la instalación de unidades en áreas no visibles desde la vía pública, como patios interiores o tejados, y la utilización de materiales que respetan los colores y texturas originales de los edificios. De esta forma, las intervenciones preservan la armonía visual de las fachadas y aseguran el cumplimiento de las estrictas normativas.

En Jerez de los Caballeros, el Plan Especial de Protección del Casco Histórico (PEPCH) guía la implementación de sistemas reversibles que permiten una instalación no invasiva y compatible con los elementos estructurales y decorativos existentes. Estas soluciones, como los soportes temporales para unidades de climatización y el uso de rejillas de ventilación ocultas, logran minimizar los impactos visuales y estructurales. Asimismo, el uso de tecnologías avanzadas permite garantizar un control ambiental adecuado para la conservación de materiales sensibles, como la madera y la mampostería.

En el ámbito técnico, los sistemas propuestos han demostrado ser eficaces en la mejora de la eficiencia energética y ahorro de gastos, al mismo tiempo que no dejan de lado el respeto por las características arquitectónicas y las normativas locales, utilizando únicamente tecnologías que cumplen con los estándares de compatibilidad y sostenibilidad.

En conclusión, los casos analizados, evidencian que las instalaciones de acondicionamiento térmico de bajo impacto son una solución viable y justificable en entornos patrimoniales protegidos. La integración cuidadosa de estas tecnologías, combinada con estrategias de mitigación bien diseñadas, no solo preserva la autenticidad y el valor cultural de los inmuebles, sino que también garantiza su funcionalidad y sostenibilidad a largo plazo, reforzando su papel como espacios vivos y significativos en sus respectivas comunidades.

4.2 Beneficios económicos, sociales y ambientales

La implementación de instalaciones de acondicionamiento térmico de bajo impacto en edificios ubicados en entornos patrimoniales protegidos, como los casos de Elvas y Jerez de los Caballeros, genera beneficios significativos que abarcan dimensiones económicas, sociales y ambientales. Estos efectos positivos se derivan de la integración de soluciones sostenibles y adaptadas a las características patrimoniales, lo que asegura la compatibilidad entre la conservación del patrimonio y el desarrollo contemporáneo. Así, estas intervenciones demuestran que es posible equilibrar la preservación del patrimonio cultural con el cumplimiento de objetivos de sostenibilidad y desarrollo local.

Desde el punto de vista económico, la mejora en la eficiencia energética de los edificios históricos a través de sistemas avanzados como la ventilación mecánica con recuperación de calor, reduce los costos operativos asociados al consumo de energía. La integración de sistemas de ventilación híbrida y climatización mecánica resulta en una optimización de la gestión energética de los inmuebles, disminuyendo el impacto económico en las instituciones responsables de su mantenimiento. Esto resulta en ahorros a largo plazo para instituciones públicas o privadas responsables de su mantenimiento. Adicionalmente, la integración de tecnologías renovables reduce la dependencia de fuentes de energía convencionales, amortizando los costes iniciales mediante menores gastos operativos.

Estas mejoras también pueden fomentar la contratación de empresas locales especializadas en restauración y tecnología sostenible, dinamizando la economía local y creando empleos en sectores clave. Los proyectos de rehabilitación generan empleos directos en los sectores de la construcción, restauración y tecnología, así como oportunidades indirectas en turismo, servicios y comercio local. El turismo cultural, por ejemplo, se ve potenciado por la preservación mejorada de los edificios, generando, como consecuencia, mayores ingresos sostenidos para las comunidades locales al atraer visitantes.

Además, la implementación de este tipo de instalaciones supone un incremento en el valor patrimonial de los edificios de cada entorno patrimonial protegido. Los edificios rehabilitados con soluciones energéticas avanzadas se revalorizan como activos culturales y turísticos, aumentando su valor y atractivo para eventos, exposiciones y usos comunitarios.

En el ámbito social, las soluciones propuestas mejoran las condiciones de habitabilidad y la calidad ambiental de los espacios, beneficiando tanto a los usuarios como a los visitantes. La reducción de

problemas asociados a condiciones ambientales inadecuadas, como alta humedad o temperatura extrema, mejora la experiencia en estos espacios, permitiendo que los edificios patrimoniales sean más funcionales y accesibles para actividades culturales, comunitarias y turísticas. De esta manera, se promueve la continuidad de los valores históricos y culturales, reforzando el sentido de pertenencia y orgullo comunitario y fortaleciendo su papel como centros de actividad social y cultural. Por otro lado, como consecuencia de la creación de empleo mencionada anteriormente, se fomenta también el desarrollo de habilidades técnicas en la población, derivado de las necesidades de formación específica.

En el plano ambiental, la adopción de tecnologías de bajo impacto contribuye a la reducción de emisiones de CO_2 y al uso más eficiente de los recursos energéticos. Estas soluciones, cuidadosamente diseñadas para respetar las características arquitectónicas y paisajísticas de los entornos protegidos, también ayudan a preservar los materiales originales de los edificios, prolongando su vida útil y reduciendo la necesidad de intervenciones futuras. Además, el enfoque sostenible actúa como un modelo replicable para otros contextos patrimoniales, demostrando que la adaptación climática y la conservación cultural pueden avanzar de la mano.

Así, la implementación de soluciones térmicas adaptadas en edificios patrimoniales protegidos no solo mejora el desempeño energético y funcional de los edificios patrimoniales, sino que ofrece una vía para equilibrar la conservación cultural con las necesidades contemporáneas de eficiencia y confort. Los beneficios económicos, sociales y ambientales resultantes no solo refuerzan el valor intrínseco de estos bienes, sino que también contribuyen al desarrollo sostenible y al bienestar de las comunidades. Estos beneficios refuerzan la justificación de adoptar este tipo de soluciones, destacando su capacidad para preservar el patrimonio cultural mientras se fomenta un desarrollo equilibrado y respetuoso con el medio ambiente.

4.3 Análisis coste beneficio detallado

El análisis coste-beneficio que se presenta a continuación está enfocado exclusivamente en la implementación de sistemas de acondicionamiento térmico en el edificio de los Paços do Concelho de Elvas, uno de los inmuebles clave dentro del patrimonio de la ciudad. Este análisis examina dos de las soluciones propuestas para este edificio: el suministro de aire a través de chimenea o conducto existente, y el sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

Para cada una de estas soluciones, se evalúan los costes iniciales de instalación, los costos operativos y de mantenimiento, así como los beneficios esperados en términos económicos, energéticos, sociales y ambientales. El objetivo es ofrecer una visión detallada y comparativa de la viabilidad y los impactos de ambas opciones, considerando la particularidad de su aplicación en un entorno patrimonial protegido como el casco histórico de Elvas.

Solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente[31]

El análisis coste-beneficio de la implementación del sistema de ventilación a través de chimenea o conducto existente en los Paços do Concelho de Elvas permite evaluar de forma detallada tanto los costes asociados como los beneficios obtenidos a medio y largo plazo, considerando aspectos económicos, energéticos y de

[31] Para el cálculo de los valores del análisis coste-beneficio relativos a este sistema, se tomaron como referencia los disponibles en relación con el sistema AhrensFlex, utilizados en el caso de éxito con el que se alinea esta solución en la HIBERTool.

conservación del patrimonio. Este sistema, diseñado para edificios históricos, combina eficiencia energética con un impacto mínimo en las estructuras y la estética del inmueble.

Desde una perspectiva de costos iniciales, la instalación del sistema supone una inversión significativa debido a la naturaleza especializada del equipamiento y la adaptación necesaria para un edificio patrimonial. Para un área estimada de 1.800 m², los costos se sitúan entre 120,000 y 200,000 euros, cifra que incluye el diseño, los materiales y la ejecución de las obras. Este rango se basa en valores promedio para sistemas de alta eficiencia en edificios históricos. Aunque el desembolso inicial puede parecer elevado, los ahorros generados justifican la inversión.

En términos de consumo energético, el sistema incorpora unidades de recuperación de calor que reducen el gasto en electricidad entre un 20% y un 30%. En base al consumo energético del edificio en 2023, que ascendía a 139.441 kWh anuales con un costo asociado de alrededor de 30.000 euros, los ahorros energéticos oscilan entre 6.000 y 9.000 euros al año. Además, el propio sistema requiere un consumo mínimo de energía, equivalente al 5 % del ahorro generado, resultando en costos operativos anuales que van desde 300 hasta 450 euros anuales.

La reducción en los costos de mantenimiento es otro beneficio significativo. Los edificios históricos con problemas de ventilación suelen experimentar un deterioro acelerado debido a la humedad y la falta de renovación del aire. Al mitigar estos factores, el sistema puede reducir los costos anuales de mantenimiento en un rango del 5% al 10%. Suponiendo un gasto base de 15,000 euros al año en mantenimiento, esto se traduce en ahorros de entre 750 y 1,500 euros anuales. Estos beneficios indirectos contribuyen a la conservación de elementos patrimoniales clave, como frescos, revestimientos y estructuras de madera, preservando así el valor cultural del edificio.

En conjunto, los beneficios económicos totales, que incluyen los ahorros energéticos y de mantenimiento, oscilan entre 6.750 y 10.500 euros anuales. Estos datos permiten calcular un período de retorno de la inversión que varía entre 18 y 19 años, dependiendo de los niveles de ahorro alcanzados y de los costos iniciales exactos de instalación. Este horizonte de amortización, aunque extenso, se justifica plenamente por los beneficios adicionales no monetarios.

Entre los beneficios no económicos destacan la preservación del valor cultural del edificio, la mejora de la calidad del aire interior y la contribución al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad establecidos por las normativas europeas y nacionales. La integración cuidadosa del sistema asegura que el impacto visual sea mínimo, respetando las restricciones impuestas por la normativa de protección del patrimonio. Asimismo, la mejora en la circulación del aire y el control de la humedad no solo aumenta la durabilidad de los materiales históricos, sino que también mejora significativamente la comodidad de los ocupantes y visitantes.

En conclusión, aunque la instalación del sistema de ventilación aquí presentado requiere una inversión inicial considerable, los beneficios económicos, sociales y ambientales a largo plazo hacen que esta solución sea viable y altamente recomendable para edificios patrimoniales como el Edificio de los Paços do Concelho de Elvas. Este análisis confirma que es posible equilibrar las exigencias de conservación del patrimonio con las necesidades modernas de sostenibilidad y confort.

Tabla 6. Resumen del análisis costo-beneficio para la solución 1.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	120.000€	200.000€
Ahorros energéticos anuales	6.000€	9.000€
Costes operativos anuales	300€	450€
Ahorros netos por energía	5.700€	8.550€
Ahorros en mantenimiento	750€	1.500€
Ahorros totales anuales	6.750€	10.500€
Período de retorno médio	18 años	19 años

Solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

El análisis coste-beneficio para la implementación de un sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido en los Paços do Concelho de Elvas evalúa tanto los costes iniciales como los beneficios económicos, energéticos y de conservación, considerando los valores de consumo y gasto energético de 2023. Este sistema, diseñado para edificios patrimoniales, destaca por su eficiencia energética y su capacidad para integrarse de manera discreta en entornos históricos.

El sistema requiere una inversión inicial significativa debido a su carácter especializado. Con un área estimada de 1.800 m² y un costo de instalación por metro cuadrado que varía entre 100 y 180 euros, el costo total oscila entre 180.000 y 324.000 euros. Estos valores incluyen el diseño, los materiales y la instalación, teniendo en cuenta los requisitos específicos para preservar la estética y la estructura del edificio.

Relativamente a los costos operativos y de mantenimiento, con un consumo energético de 139,441 kWh anuales y un costo estimado de 30,000 euros en 2023, el sistema reduce los costos de calefacción y refrigeración en un rango del 20% al 30%, gracias a su alta capacidad de recuperación de calor, estimada entre el 70% y el 85%. Esto se traduce en ahorros anuales de entre 6.000 y 9.000 euros. Sin embargo, la operación del sistema consume aproximadamente un 5 % de la energía ahorrada, generando costos adicionales de entre 300 y 450 euros al año.

En términos de mantenimiento, el sistema mejora significativamente la calidad del aire y reduce la humedad, lo que contribuye a disminuir los costos asociados al deterioro estructural y de materiales. Para un gasto base de mantenimiento de 20,000 euros al año, se estima una reducción de entre un 5% y un 10%, generando ahorros anuales de entre 1,000 y 2,000 euros.

Combinando los ahorros en energía y mantenimiento, los beneficios anuales totales se estiman entre 7.000 y 11.000 euros, dependiendo del nivel de eficiencia alcanzado y las condiciones iniciales del edificio. Estos valores permiten calcular un período de retorno de la inversión que varía entre 15 y 42 años. En escenarios de mayor eficiencia y costos mínimos de instalación, el sistema alcanza un retorno más rápido, mientras que, en situaciones menos favorables, el horizonte de amortización se extiende.

Además de los beneficios económicos directos, el sistema contribuye significativamente a la conservación del patrimonio cultural, al reducir el impacto de la humedad y mejorar la durabilidad de los elementos

históricos. La calidad del aire interior mejora notablemente, aumentando el confort de los ocupantes y visitantes y promoviendo un uso más versátil del edificio. Asimismo, la implementación de este sistema permite al edificio cumplir con las regulaciones de eficiencia energética de la Unión Europea, lo que podría facilitar el acceso a fondos o incentivos para su rehabilitación.

El principal desafío radica en garantizar que la instalación del techo suspendido y los sistemas asociados no comprometan la integridad visual ni estructural del edificio. Aunque el diseño del sistema se enfoca en la discreción y la compatibilidad estética, estas intervenciones requieren una planificación cuidadosa para evitar impactos negativos. Adicionalmente, las estimaciones de ahorro y retorno pueden variar según el estado inicial del edificio y las fluctuaciones en los costos energéticos.

Por tanto, aunque el sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido implica una inversión inicial considerable, sus beneficios económicos, sociales y culturales a largo plazo lo convierten en una opción viable para edificios patrimoniales como los Paços do Concelho de Elvas. Este análisis destaca su capacidad para equilibrar las demandas de sostenibilidad, confort y conservación, asegurando una integración respetuosa con el entorno histórico.

Tabla 7. Resumen del análisis costo-beneficio para la solución 2.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	180.000€	324.000€
Ahorros energéticos anuales	6.000€	9.000€
Costes operativos anuales	300€	450€
Ahorros netos por energía	5.700€	8.550€
Ahorros en mantenimiento	1.000€	2.000€
Ahorros totales anuales	7.000€	11.000€
Período de retorno médio	27 años	31 años

Los casos y datos presentados anteriormente para este edificio y sus correspondientes soluciones se han desenvuelto con un mayor detalle con el fin de ilustrar el análisis realizado y los resultados obtenidos. Sin embargo, para obtener información adicional sobre otros edificios mencionados a lo largo del informe, se recomienda consultar el Anexo 1, donde se encuentran las tablas de datos correspondientes al análisis costo-beneficio del resto de edificios seleccionados para cada uno de las ciudades y municipios objeto del presente informe.

4.4 Identificación de posibles conflictos y limitaciones

La implementación de soluciones de acondicionamiento térmico en edificios patrimoniales protegidos, como los casos analizados, representa un ejercicio complejo que evidencia los desafíos particulares inherentes a estos entornos. Ambas experiencias ilustran cómo las intervenciones deben responder a limitaciones técnicas, normativas, culturales y económicas, que han sido identificadas a lo largo de este informe como elementos clave en el diseño de soluciones respetuosas con el patrimonio.

En el ámbito técnico y estructural, los edificios históricos presentan características que restringen significativamente las posibilidades de intervención. Estas características dificultan la integración de conductos y sistemas mecánicos sin comprometer la integridad estructural. De manera similar, en Jerez de los Caballeros, el Plan Especial de Protección del Casco Histórico (PEPCH) regula las intervenciones en inmuebles con estructuras de madera y cubiertas antiguas, donde incluso sistemas no invasivos pueden generar tensiones. Además, el control higrotérmico representa un desafío recurrente, donde la humedad combinada con un aislamiento interno insuficiente puede exacerbar problemas de condensación, afectando frescos y mobiliario histórico.

El impacto visual y estético constituye otro desafío central. En Jerez, edificios emblemáticos como el Museo de Arte Sacro no pueden incorporar elementos visibles en sus fachadas, limitando la ubicación de equipos externos. Este requisito también se observa en Elvas, donde las instalaciones deben ser invisibles desde las calles principales del casco histórico. La compatibilidad con elementos decorativos, como molduras y azulejos, añade complejidad a estas intervenciones, ya que la perforación o alteración de dichos elementos está estrictamente prohibida.

Las limitaciones normativas y legales se suman a las barreras técnicas y estéticas. Tanto en Elvas como en Jerez, las regulaciones locales priorizan la conservación absoluta de materiales y apariencias originales, lo que incrementa la carga administrativa y el tiempo necesario para obtener autorizaciones. Aunque ambos contextos se benefician de exenciones en normativa de eficiencia energética, esto puede desincentivar el uso de tecnologías avanzadas que, aunque no alteren el patrimonio, podrían optimizar el rendimiento energético.

Económicamente, el desarrollo de soluciones específicas para edificios patrimoniales incrementa significativamente los costos iniciales. En Elvas, los materiales y sistemas diseñados para garantizar la compatibilidad con el patrimonio han demostrado ser efectivos, pero representan una inversión elevada que no siempre es viable. Adicionalmente, la necesidad de mantenimiento especializado para garantizar la funcionalidad de los sistemas en ambos entornos aumenta los costos recurrentes, limitando la adopción de soluciones más avanzadas.

Finalmente, los conflictos sociales y culturales reflejan las tensiones entre los objetivos de preservación y las expectativas de confort moderno. En ambos casos, la resistencia de ciertos sectores de la comunidad y conservacionistas subraya la necesidad de estrategias de sensibilización para alinear los intereses de todas las partes implicadas. En edificios de uso público, como museos o iglesias, el incremento de visitantes debido a las mejoras térmicas plantea el reto de equilibrar la funcionalidad contemporánea con la preservación de la autenticidad ambiental y estructural.

De esta manera, se ilustra la complejidad de integrar soluciones modernas en entornos patrimoniales protegidos. Superar estos desafíos requiere un enfoque integral que combine innovación técnica, sensibilidad cultural y cumplimiento normativo. Este enfoque asegura que las soluciones implementadas respeten la autenticidad y el valor de los edificios, al tiempo que responden a las necesidades actuales de confort, eficiencia energética y sostenibilidad.

4.5 Evaluación de la efectividad de las estrategias de mitigación

La implementación de sistemas de acondicionamiento térmico en edificios patrimoniales protegidos exige el diseño de estrategias específicas para mitigar los posibles impactos negativos sobre el patrimonio histórico y cultural. En los casos de los entornos patrimoniales presentados, estas estrategias son esenciales para compatibilizar la modernización funcional con el respeto a la autenticidad de los inmuebles. Este análisis evalúa la efectividad de las medidas adoptadas, destacando fortalezas, limitaciones y oportunidades de mejora para futuras intervenciones.

En ambos contextos, las estrategias de mitigación se centran en tres áreas principales: la minimización de los impactos visuales y estéticos, la reversibilidad de las intervenciones y la adaptación técnica respetuosa con las características históricas de los edificios. En los casos presentados, se prevé una instalación cuidadosamente integrada en espacios discretos, garantizando la preservación visual de las fachadas del casco histórico. De manera similar, en Jerez, el Plan Especial de Protección del Casco Histórico (PEPCH) impuso normas estrictas para asegurar que elementos como rejillas y conductos permanecieran fuera del alcance visual, especialmente en edificios emblemáticos.

El principio de reversibilidad fue otro aspecto clave en el desarrollo del presente informe. La utilización de soportes temporales para los equipos de climatización permite desmontar los sistemas sin causar daños permanentes en las estructuras originales. Esta característica no sólo preserva la integridad arquitectónica, sino que también cumple con las normativas internacionales de conservación.

En términos de adaptación técnica, las soluciones propuestas combinan métodos pasivos y mecánicos, donde los sistemas híbridos de ventilación permiten reducir la dependencia energética al tiempo que mantienen la estabilidad ambiental en espacios delicados. Estas estrategias, aunque efectivas en muchos aspectos, evidencian ciertas limitaciones, como la dificultad para estabilizar la humedad en algunos edificios, lo que, dependiendo del edificio, puede afectar a la conservación de materiales sensibles.

Los desafíos normativos también representan una barrera significativa. La necesidad de cumplir con estándares estéticos y estructurales incrementa los costos iniciales, pudiendo llegar a restringir la viabilidad económica de estas intervenciones.

A pesar de estas limitaciones, las estrategias implementadas han demostrado ser efectivas en minimizar los impactos visuales y garantizar la reversibilidad de las intervenciones. La integración de instalaciones discretas y respetuosas con la estética histórica refuerza la coherencia arquitectónica de los inmuebles, al tiempo que la adopción de soluciones reversibles asegura la preservación de sus elementos originales.

Para mejorar futuras implementaciones, se plantean varias recomendaciones. La optimización de estrategias pasivas y mecánicas combinadas, mediante el uso de tecnologías avanzadas de monitoreo ambiental, puede mejorar la efectividad en la conservación de materiales sensibles. Asimismo, es esencial promover una mayor flexibilidad normativa que permita equilibrar las exigencias de conservación con las necesidades técnicas, especialmente en edificios de alto uso público. El desarrollo de incentivos financieros específicos y

la formación de profesionales especializados en tecnologías adaptadas al patrimonio también resultan fundamentales para garantizar la sostenibilidad técnica y económica de estas intervenciones.

En conclusión, los casos analizados destacan la importancia de un enfoque integral y adaptativo en la implementación de estrategias de mitigación. Estos aprendizajes refuerzan la viabilidad de soluciones que minimicen los impactos negativos y garanticen la integración sostenible de los edificios patrimoniales en el contexto contemporáneo, contribuyendo a la preservación de su valor cultural y funcional.

5. Conclusiones

5.1 Síntesis y conclusiones de la evaluación realizada

La evaluación llevada a cabo en los entornos patrimoniales definidos en el presente informe sobre la adecuación de soluciones de acondicionamiento térmico ha puesto de manifiesto la viabilidad técnica y los múltiples beneficios que estas intervenciones pueden aportar cuando se implementan con sensibilidad hacia el valor cultural y arquitectónico de los inmuebles. Este análisis confirma la importancia de adoptar enfoques integrales que combinen innovación tecnológica, respeto por la normativa patrimonial y un profundo entendimiento de las características históricas y estructurales de cada edificio.

En los casos de Elvas y Jerez de los Caballeros, se evidencia que las soluciones propuestas cumplen con los requisitos esenciales de compatibilidad estética y funcionalidad. En Elvas, los sistemas de climatización de bajo impacto serían efectivos para mantener condiciones ambientales adecuadas. Estos sistemas no solo contribuyen al confort térmico, sino que también preservan los materiales históricos mediante el control riguroso de la humedad y la temperatura. En Jerez de los Caballeros, el Plan Especial de Protección del Casco Histórico (PEPCH) garantiza que las instalaciones cumplan con estrictos estándares estéticos y estructurales, como se observa en intervenciones propuestas para la iglesia de San Bartolomé. Las soluciones modulares y reversibles permiten que estas actuaciones sean no invasivas, respetando la integridad patrimonial.

Los hallazgos confirman que las estrategias de mitigación empleadas, como la minimización de impactos visuales y la reversibilidad de las intervenciones, son fundamentales para garantizar el éxito de estas iniciativas. En ambos municipios, las normativas locales han sido un marco clave para orientar las soluciones hacia prácticas sostenibles que preserven la autenticidad de los edificios. La adopción de tecnologías eficientes ha demostrado ser viable económicamente, al reducir costos operativos y aumentar la eficiencia energética de los inmuebles.

Se concluye que las soluciones propuestas no solo son factibles en términos técnicos y normativos, sino que también aportan beneficios sociales, económicos y ambientales significativos. Estas intervenciones promueven la revitalización de los cascos históricos mediante la mejora del confort y la funcionalidad de los edificios, incentivando su uso para actividades culturales y turísticas. Además, al optimizar el rendimiento energético y reducir el impacto ambiental, estas soluciones refuerzan la sostenibilidad de los entornos patrimoniales protegidos, garantizando su preservación a largo plazo y su integración activa en la vida contemporánea.

El análisis de Elvas y Jerez de los Caballeros evidencia que es posible combinar la preservación del patrimonio con las necesidades actuales de habitabilidad y eficiencia, destacando la relevancia de las soluciones de bajo impacto como modelo replicable en otros contextos patrimoniales.

5.2 Necesidades para la adecuación de instalaciones de acondicionamiento térmico en entornos patrimoniales

La implementación de instalaciones de acondicionamiento térmico en edificios ubicados en entornos patrimoniales protegidos plantea una serie de necesidades y requisitos específicos que deben ser atendidos para garantizar la compatibilidad de estas intervenciones con los valores históricos y culturales de los inmuebles. Estas necesidades abarcan aspectos técnicos, legales y sociales, cuya integración armónica resulta indispensable para preservar la autenticidad y la funcionalidad de los edificios protegidos.

Desde el punto de vista técnico, se requiere la adopción de soluciones que respeten las características estructurales y arquitectónicas de los inmuebles. Esto implica el uso de sistemas reversibles que permitan una integración no invasiva, asegurando que cualquier instalación pueda ser desmontada sin causar daños permanentes. Adicionalmente, los equipos deben ser diseñados de forma discreta, utilizando materiales y acabados compatibles con las técnicas y estilos constructivos originales, tal como lo exige el Plano de Pormenor de Salvaguarda de Elvas y el Plan Especial de Protección del Casco Histórico de Jerez de los Caballeros. Asimismo, la ubicación de las unidades exteriores y conductos debe planificarse cuidadosamente, priorizando espacios ocultos como patios interiores o azoteas, para minimizar el impacto visual.

En el ámbito legal, la adecuación de estas instalaciones debe cumplir con estrictas normativas locales y regionales que regulan las intervenciones en entornos protegidos. En este sentido, la obtención de licencias y autorizaciones previas resulta esencial, incluyendo la evaluación de los proyectos por parte de equipos técnicos especializados. Estas normativas, como las contenidas en el PEPCH de Jerez y el Plano de Pormenor de Elvas, establecen directrices para garantizar que las intervenciones sean coherentes con los valores patrimoniales y no comprometan la integridad del entorno. Además, es importante considerar las exenciones y requisitos específicos aplicables a edificios históricos, como los establecidos en la normativa de eficiencia energética, que pueden influir en las características de los sistemas implementados.

A nivel social, la adecuación de instalaciones de acondicionamiento térmico debe atender las expectativas y necesidades de los usuarios, fomentando la habitabilidad y funcionalidad de los espacios protegidos sin alterar su carácter histórico. Esto incluye la sensibilización de las comunidades locales y de los responsables de los inmuebles sobre la importancia de preservar el patrimonio, así como la promoción de un diálogo abierto entre conservacionistas y usuarios. Además, la implementación de estas soluciones puede convertirse en un motor de revitalización económica y cultural, promoviendo el uso sostenible de los edificios para actividades sociales, culturales y turísticas.

5.3 Recomendaciones para estudios futuros

En el contexto de la preservación y adecuación de edificios patrimoniales protegidos, futuros estudios deberían centrarse en áreas clave para optimizar la integración de sistemas modernos con la conservación de los valores históricos. Estas recomendaciones se desarrollan con base en los hallazgos y desafíos identificados en el presente informe, proponiendo metodologías innovadoras y específicas.

Desde el punto de vista metodológico, los futuros estudios deberían priorizar enfoques multidisciplinarios, integrando expertos en patrimonio, energía, sostenibilidad y tecnología. De esta manera, más allá de los aspectos técnicos y ambientales, se evaluarán los efectos sociales y culturales de las intervenciones en edificios patrimoniales. Se recomienda que los estudios no se centren únicamente en los aspectos técnicos y ambientales de las intervenciones, sino que se haga hincapié, asimismo, en investigar cómo estas actuaciones afectan la percepción comunitaria del patrimonio, fomentando un sentido de pertenencia y valoración cultural. Todo ello, complementado con la implementación de proyectos piloto en diversos entornos climáticos y culturales, proporcionará datos comparativos valiosos para validar nuevas soluciones.

Uno de los principales focos de atención para estos futuros estudios de carácter multidisciplinar, es el diagnóstico constructivo integral de los edificios históricos mediante el uso de tecnologías avanzadas como la termografía infrarroja y ensayos no destructivos. Estas herramientas permiten un análisis preciso de los materiales y la identificación de patologías estructurales, como puentes térmicos o pérdida de calor. Ampliar el conocimiento en este ámbito puede facilitar intervenciones más seguras y específicas, minimizando el riesgo de daños al patrimonio.

Complementario a lo anterior, otro campo esencial sería la modelización energética y simulación térmica, durante períodos más prolongados en el tiempo. Desarrollar modelos energéticos que incorporen las características únicas de los materiales tradicionales y su inercia térmica, permitirá evaluar de manera más realista el impacto de diferentes estrategias de intervención a largo plazo. Herramientas designadas para esta función y ajustadas a estas necesidades, pueden ser optimizadas para explorar medidas innovadoras de ventilación y acondicionamiento térmico.

La evaluación ambiental y de ciclo de vida también demanda atención prioritaria. Es imperativo investigar más profundamente los impactos ambientales asociados a las intervenciones en edificios protegidos, especialmente en el marco de una economía circular. Dado el aumento de fenómenos meteorológicos extremos, es fundamental explorar, además, cómo los edificios patrimoniales pueden adaptarse a estos desafíos. Futuros estudios deberían incluir simulaciones que analicen la resistencia de estas estructuras frente a olas de calor, inundaciones y otros eventos adversos. Además, investigar la incorporación de soluciones pasivas, como techos verdes y fachadas ventiladas, puede contribuir a mejorar la resiliencia climática sin comprometer el valor patrimonial.

Adicionalmente, se considera un aspecto crucial la optimización del mantenimiento preventivo, a través de la aplicación de un enfoque sistemático para la gestión del mantenimiento a largo plazo. En este sentido, se recomienda investigar el desarrollo de sistemas de monitoreo inteligente que utilicen sensores IoT (Internet de las Cosas) para detectar condiciones críticas como humedad elevada, fluctuaciones térmicas y desgaste de materiales. Este enfoque permitiría realizar ajustes y reparaciones antes de que se produzcan daños significativos, reduciendo la necesidad de intervenciones más invasivas y los consiguientes costos asociados a las mismas.

En el ámbito de formación y transferencia de conocimientos, la formación de técnicos, arquitectos y restauradores especializados en conservación energética en edificios de entornos patrimoniales protegidos es un aspecto crítico para garantizar el éxito de futuras intervenciones. Se recomienda estudiar estrategias educativas y programas de capacitación que incorporen tanto la teoría de la conservación patrimonial como las últimas innovaciones tecnológicas. Al mismo tiempo, se podrían crear plataformas digitales para compartir mejores prácticas, estudios de caso y nuevas soluciones de forma abierta y fácilmente accesible.

Por otro lado, se considera fundamental explorar enfoques de sensibilización y participación comunitaria en proyectos de rehabilitación patrimonial. Los estudios deben investigar cómo involucrar a las comunidades locales y a los actores clave, como autoridades urbanísticas y propietarios, para fomentar una visión compartida de la conservación sostenible. En este sentido, el desarrollo de manuales prácticos y estrategias de comunicación adaptadas a diferentes contextos sociales puede ser un aporte significativo.

Por último, más concretamente relacionado con el punto de vista de la financiación y gestión de estas actuaciones, se considera de interés para futuros estudios la investigación de modelos económicos que fomenten la participación de entidades públicas y privadas, presentando cómo los incentivos fiscales, subvenciones y asociaciones público-privadas pueden facilitar la implementación de proyectos de rehabilitación patrimonial sostenible, lo cual supone un aspecto clave para superar las barreras económicas.

Así, estas recomendaciones buscan ampliar el horizonte de investigación y práctica en el campo de la conservación patrimonial sostenible. El avance en estas áreas fortalecerá las capacidades de intervención en edificios patrimoniales, asegurando un equilibrio entre su conservación y la adaptación a las necesidades contemporáneas de confort y sostenibilidad. Estos esfuerzos contribuirán no solo a preservar el legado histórico, sino también a posicionar el patrimonio como un elemento activo y relevante en la construcción de un futuro más resiliente.

6. Referencias

Akande, O. K., Odeleye, N.-D., & Coday, A. (2014). Energy efficiency for sustainable reuse of public heritage buildings: The case for research. *International Journal of Sustainable Development and Planning, 9*(2), 237-250. https://doi.org/10.2495/SDP-V9-N2-237-250

Albergaria, H., Castro, J., & Silva, C. (2010). *EUROACE 2020. Uma estratégia para a Eurorregião Alentejo-Centro-Extremadura*. IERU - Universidade de Coimbra, Universidade de Extremadura, Universidade de Évora.

Alonso Campanero, J. A., et al. (2022). *Guía de buenas prácticas para la instalación de infraestructuras y equipamientos relacionados con las energías renovables y su potencial afección al patrimonio cultural*. ICOMOS-España, Madrid.

AREANATejo. (2015). *Portfólio eficiência energética em edifícios municipais do Alto Alentejo*. POCTEP Programa de Cooperação Transfronteiriça Portugal/Espanha 2007-2013. ISBN: 978-989-20-5567-1.

Buda, A., de Place Hansen, E. J., Rieser, A., Giancola, E., Pracchi, V. N., Mauri, S., Marincioni, V., Gori, V., Fouseki, K., Polo López, C.S., et al. (2021). *Conservation-Compatible Retrofit Solutions in Historic Buildings: An Integrated Approach*. *Sustainability, 13*, 2927. https://doi.org/10.3390/su13052927

Buda, A., Herrera, D., & Pfluger, R. (2021). *Renovation strategies for historic buildings*. SHC Task 59 | EBC Annex 76 | Report D.C2. https://doi.org/10.18777/ieashc-task59-2021-0009

Cabeza, L. F., de Gracia, Á., & Pisello, A. L. (2018). Integration of renewable technologies in historical and heritage buildings: A review. *Energy & Buildings, 177*, 96-111. https://www.elsevier.com/locate/enbuild

Coillot, M., El Mankibi, M., & Cantin, R. (2017). Heating, ventilating and cooling impacts of double windows on historic buildings in the Mediterranean area. *Energy Procedia, 133*, 28-41. Climamed 2017 – Mediterranean Conference of HVAC; Historical buildings retrofit in the Mediterranean area, 13-13 May 2017, Matera, Italy.

Díaz, V. S., & Barreneche, R. O. (2011). *Acondicionamiento térmico de edificios: Eficiencia y uso racional de la energía* (2ª ed.). Buenos Aires: Nobuko. ISBN 978-987-584-333-2.

Dias Pereira, L., Rodrigues Gaspar, A., & Joaquim Costa, J. (2017). Assessment of the indoor environmental conditions of a baroque library in Portugal. *Energy Procedia, 133*, 257–267. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.385

Dotor, A., Onecha, B., & González, J. L. (2014). El bienestar térmico más allá de las exigencias normativas. Dos casos. Dos enfoques. En *International Conference Energy Efficiency in Historic Buildings* (29-30 de septiembre, Madrid, España).

Generalitat de Catalunya, Agencia Catalana del Patrimoni Cultural. (2022). *Projecte d'execució de la restauració del Castell de Cardona. Fase 0.1: 5 actuacions puntuals al camí a cobert*.

Hüttler, W., Bachner, D., Hofer, G., Krempl, M., Trimmel, G., & Wall, I. (2018). Decision support tool for the innovative and sustainable renovation of historic buildings (HISTool). En *Energy Efficiency in Historic Buildings*, 226.

Herrera, D., Haas, F., Troi, A., Leijonhufvud, G., Broström, T., Rieser, A., Rose, J., Hüttler, W., & Kuchar, S. (2021). *SHC Task 59 | EBC Annex 76 | Report D.A2*. https://doi.org/10.18777/ieashc-task59-2021-0001

J.T. Ribeiro, N. B. Saraiva, A. R. Gaspar, & J.J. Costa. (2024). Evaluation of the effectiveness of humidity control strategies in preserving a heritage library. *Proceedings of the 11th Mediterranean Congress of Climatization Climamed*, Istanbul, 2024.

Leijonhufvud, G. (2016). *Decision making on indoor climate control in historic buildings: Knowledge, uncertainty, and the science-practice gap* (Gothenburg Studies in Conservation 36). Acta Universitatis Gothoburgensis. https://hdl.handle.net/2077/45415

Muñoz González, C. M., León Rodríguez, Á. L., Navarro Casas, J., Ruiz Jaramillo, J., & Teeling, C. (s.f.). Evaluación de riesgos, monitorización y simulación de edificios patrimoniales. *Ge-Conservación*.

Nair, G., Verde, L., & Olofsson, T. (2022). A review on technical challenges and possibilities on energy-efficient retrofit measures in heritage buildings. *Energies, 15*, 7472. https://doi.org/10.3390/en15207472

Neuhaus, E. (2015). *A critical look at HVAC systems in the museum environment*. Recuperado de https://www.researchgate.net

Pérez Pérez, B., Díaz-Cuevas, M. P., & Cambronero Ruiz, L. (2023). Comunidades energéticas y patrimonio cultural: El caso del barrio del Realejo (Granada). En *Geografía: Cambios, retos y adaptación* (pp. 1067-1076). AGE y Universidad de La Rioja. https://doi.org/10.21138/CG/2023.lc

Rieser, A., Pfluger, R., Troi, A., Herrera-Avellanosa, D., Thomsen, K. E., Rose, J., Arsan, Z. D., Akkurt, G. G., Kopeinig, G., Guyot, G., et al. (2021). Integration of energy-efficient ventilation systems in historic buildings—Review and proposal of a systematic intervention approach. *Sustainability, 13*, 2325. https://doi.org/10.3390/su130423

S.ENERGIA, Agência Regional de Energia para os concelhos do Barreiro, Moita e Montijo. (s.f.). *Portfólio de consumos energéticos: Edifícios municipais administrativos e culturais*. Recuperado de www.conhecereagir.pt

Tsoumanis, G., Formiga, J., Bilo, N., Tsarchopoulos, P., Ioannidis, D., Tzovaras, D. (2021). *The Smart Evolution of Historical Cities: Integrated Innovative Solutions Supporting the Energy Transition while Respecting Cultural Heritage*. *Sustainability, 13*, 9358. https://doi.org/10.3390/su13169358

Walliser Martín, M. L. (2024). Sostenibilidad y patrimonio: Aportaciones desde el diseño. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, 216, 47-64. ISSN-e 1853-3523, ISSN 1668-0227.

Anexo 1. Análisis costo-beneficio

Edificio residencial (Cáceres)

Resumen de datos y análisis costo-beneficio efectuados

Área	548 m²
Altura de los espacios	Normal (2,5m)
Hermeticidad	Buena
Consumo energético anual estimado	42.132 kWh
Gasto energético anual estimado	9.065 €

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	36.300 €	60.400 €
Ahorros energéticos anuales	1.800 €	2.700 €
Costes operativos anuales	90 €	135 €
Ahorros netos por energía	1.710 €	2.565 €
Ahorros en mantenimiento	230 €	450 €
Ahorros totales anuales	2.030 €	3.150 €
Período de retorno médio	18 años	19 años

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	54.400 €	97.900 €
Ahorros energéticos anuales	1.800 €	2.700 €
Costes operativos anuales	90 €	135 €
Ahorros netos por energía	1.710 €	2.565 €
Ahorros en mantenimiento	300 €	600 €

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Ahorros totales anuales	2.100 €	3.300 €
Período de retorno médio	26 años	30 años

Figura 35. Edificio residencial (Cáceres).

Teatro López de Ayala (Badajoz)

Resumen de datos y análisis costo-beneficio efectuados

Área	1.994 m²
Altura de los espacios	Normal (2,5m)
Hermeticidad	Buena
Consumo energético anual estimado	153.447 kWh
Gasto energético anual estimado	33.013 €

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	132.100 €	220.100 €
Ahorros energéticos anuales	6.600 €	9.900 €
Costes operativos anuales	330 €	495 €
Ahorros netos por energía	6.270 €	9.405 €
Ahorros en mantenimiento	830 €	1.650 €
Ahorros totales anuales	7.430 €	11.550 €
Período de retorno médio	18 años	19 años

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	198.100 €	356.500 €
Ahorros energéticos anuales	6.600 €	9.900 €
Costes operativos anuales	330 €	495 €
Ahorros netos por energía	6.270 €	9.405 €
Ahorros en mantenimiento	1.100 €	2.200 €
Ahorros totales anuales	7.700 €	12.100 €
Período de retorno médio	26 años	29 años

Figura 36. Teatro López de Ayala (Badajoz).

Antigua Casa de la Salud - Colegio Jesuitas (Plasencia)

Resumen de datos y análisis costo-beneficio efectuados

Área	2.436 m²
Altura de los espacios	Normal (2,5m)
Hermeticidad	Buena
Consumo energético anual estimado	187.460 kWh
Gasto energético anual estimado	40.331€

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	161.300€	268.900€
Ahorros energéticos anuales	8.100€	12.100€
Costes operativos anuales	405€	605€
Ahorros netos por energía	7.695€	11.495€
Ahorros en mantenimiento	1.010€	2.020€
Ahorros totales anuales	9.110€	14.120€
Período de retorno médio	18 años	19 años

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación (€)	242.000 €	435.600 €
Ahorros energéticos anuales (€)	8.100 €	12.100 €
Costes operativos anuales (€)	405 €	605 €
Ahorros netos por energía (€)	7.695 €	11.495 €
Ahorros en mantenimiento (€)	1.340 €	2.690 €
Ahorros totales anuales (€)	9.440 €	14.790 €
Período de retorno médio (años)	26 años	29 años

Figura 37. Antigua Casa de la Salud - Colegio Jesuitas (Plasencia).

Edificio residencial (Trujillo)

Resumen de datos y análisis costo-beneficio efectuados

Área	162 m²
Altura de los espacios	Normal (2,5m)
Hermeticidad	Buena
Consumo energético anual estimado	12.442 kWh
Gasto energético anual estimado	2.677 €

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	10.700 €	17.800 €
Ahorros energéticos anuales	500 €	800 €
Costes operativos anuales	25 €	40 €
Ahorros netos por energía	475 €	760 €
Ahorros en mantenimiento	70 €	130 €
Ahorros totales anuales	570 €	930 €
Período de retorno médio	19 años	19 años

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación (€)	16.100 €	28.900 €
Ahorros energéticos anuales	500 €	800 €
Costes operativos anuales	25 €	40 €
Ahorros netos por energía	475 €	760 €
Ahorros en mantenimiento	90 €	180 €
Ahorros totales anuales	590 €	980 €
Período de retorno médio	27 años	29 años

Figura 38. Edificio residencial (Trujillo).

Museo de Arte Sacro (Jerez)

Resumen de datos y análisis costo-beneficio efectuados

Museo de Arte Sacro	
Área	839 m²
Altura de los espacios	Normal (2,5m)
Hermeticidad	Buena
Consumo energético anual estimado	64.565 kWh
Gasto energético anual estimado	13.891 €

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	55.600 €	92.600 €
Ahorros energéticos anuales	2.800 €	4.200 €
Costes operativos anuales	140 €	210 €
Ahorros netos por energía	2.660 €	3.990 €
Ahorros en mantenimiento	350 €	700 €
Ahorros totales anuales	3.150 €	4.900 €
Período de retorno médio	18 años	19 años

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	83.300 €	150.000 €
Ahorros energéticos anuales	2.800 €	4.200 €
Costes operativos anuales	140 €	210 €
Ahorros netos por energía	2.660 €	3.990 €
Ahorros en mantenimiento	460 €	930 €
Ahorros totales anuales	3.260 €	5.130 €
Período de retorno médio	26 años	29 años

Figura 39. Museo de Arte Sacro (Jerez).

Convento Santa Clara (Zafra)

Resumen de datos y análisis costo-beneficio efectuados

Área	2.024 m²
Altura de los espacios	Normal (2,5m)
Hermeticidad	Buena
Consumo energético anual estimado	155.755 kWh
Gasto energético anual estimado	33.510 €

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	134.000 €	223.400 €
Ahorros energéticos anuales	6.700 €	10.100 €
Costes operativos anuales	335 €	505 €
Ahorros netos por energía	6.365 €	9.595 €
Ahorros en mantenimiento	840 €	1.680 €
Ahorros totales anuales	7.540 €	11.780 €
Período de retorno médio	18 años	19 años

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	201.100 €	361.900 €
Ahorros energéticos anuales	6.700 €	10.100 €
Costes operativos anuales	335 €	505 €
Ahorros netos por energía	6.365 €	9.595 €
Ahorros en mantenimiento	1.120 €	2.230 €
Ahorros totales anuales	7.820 €	12.330 €
Período de retorno médio	26 años	29 años

Figura 40. Convento Santa Clara (Zafra).

Cine (Hervás)

Resumen de datos y análisis costo-beneficio efectuados

Área	355 m²
Altura de los espacios	Normal (2,5m)
Hermeticidad	Buena
Consumo energético anual estimado	27.303 kWh
Gasto energético anual estimado	5.874 €

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	23.500 €	39.200 €
Ahorros energéticos anuales	1.200 €	1.800 €
Costes operativos anuales	60 €	90 €
Ahorros netos por energía	1.140 €	1.710 €
Ahorros en mantenimiento	150 €	290 €
Ahorros totales anuales	1.350 €	2.090 €
Período de retorno médio	17 años	19 años

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	35.200 €	63.400 €
Ahorros energéticos anuales	1.200 €	1.800 €
Costes operativos anuales	60 €	90 €
Ahorros netos por energía	1.140 €	1.710 €
Ahorros en mantenimiento	200 €	390 €
Ahorros totales anuales	1.400 €	2.190 €
Período de retorno médio	25 años	29 años

Figura 41. Cine (Hervás).

Alojamento local (Robledillo de Gata)

Resumen de datos y análisis costo-beneficio efectuados

Área	243 m²
Altura de los espacios	Normal (2,5m)
Hermeticidad	Buena
Consumo energético anual estimado	18.670 kWh
Gasto energético anual estimado	4.017 €

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	16.100 €	26.800 €
Ahorros energéticos anuales	800 €	1.200 €
Costes operativos anuales	40 €	60 €
Ahorros netos por energía	760 €	1.140 €
Ahorros en mantenimiento	100 €	200 €
Ahorros totales anuales	900 €	1.400 €
Período de retorno médio	18 años	19 años

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	24.100 €	43.400 €
Ahorros energéticos anuales	800 €	1.200 €
Costes operativos anuales	40 €	60 €
Ahorros netos por energía	760 €	1.140 €
Ahorros en mantenimiento	130 €	270 €
Ahorros totales anuales	930 €	1.470 €
Período de retorno médio	26 años	30 años

Figura 42. Alojamento local (Robledillo de Gata).

Edificio residencial (Valverde de la Vera)

Resumen de datos y análisis costo-beneficio efectuados

Área	37 m²
Altura de los espacios	Normal (>2,5 m)
Hermeticidad	Buena
Consumo energético anual estimado	2.819 kWh
Gasto energético anual estimado	607 €

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	2.400 €	4.000 €
Ahorros energéticos anuales	100 €	200 €
Costes operativos anuales	5 €	10 €
Ahorros netos por energía	95 €	190 €
Ahorros en mantenimiento	20 €	30 €
Ahorros totales anuales	120 €	230 €
Período de retorno médio	20 años	17 años

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	3.600 €	6.600 €
Ahorros energéticos anuales	100 €	200 €
Costes operativos anuales	5 €	10 €
Ahorros netos por energía	95 €	190 €
Ahorros en mantenimiento	20 €	40 €
Ahorros totales anuales	120 €	240 €
Período de retorno médio	30 años	28 años

Figura 43. Edificio residencial (Valverde de la Vera).

Ayntamiuento Plaza de Jose Antonio (Tornavacas)

Resumen de datos y análisis costo-beneficio efectuados

Área	218 m²
Altura de los espacios	Normal (>2,5 m)
Hermeticidad	Buena
Consumo energético anual estimado	16.792 kWh
Gasto energético anual estimado	3.613 €

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	14.500 €	24.100 €
Ahorros energéticos anuales	700 €	1.100 €
Costes operativos anuales	35 €	55 €
Ahorros netos por energía	665 €	1.045 €
Ahorros en mantenimiento	90 €	180 €
Ahorros totales anuales	790 €	1.280 €
Período de retorno médio	18 años	19 años

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	21.700 €	39.000 €
Ahorros energéticos anuales	700 €	1.100 €
Costes operativos anuales	35 €	55 €
Ahorros netos por energía	665 €	1.045 €
Ahorros en mantenimiento	120 €	240 €
Ahorros totales anuales	820 €	1.340 €
Período de retorno máximo	26 años	29 años

Figura 44. Ayntamiuento Plaza de Jose Antonio (Tornavacas).

Resumen de datos y análisis costo-beneficio efectuados

Área	623 m²
Altura de los espacios	Normal (>2,5 m)
Hermeticidad	Buena
Consumo energético anual estimado	47.909 kWh
Gasto energético anual estimado	10.307 €

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	41.200 €	68.700 €
Ahorros energéticos anuales	2.100 €	3.100 €
Costes operativos anuales	105 €	155 €
Ahorros netos por energía	1.995 €	2.945 €
Ahorros en mantenimiento	260 €	520 €
Ahorros totales anuales	2.360 €	3.620 €
Período de retorno médio	17 años	19 años

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	61.800 €	111.300 €
Ahorros energéticos anuales	2.100 €	3.100 €
Costes operativos anuales	105 €	155 €
Ahorros netos por energía	1.995 €	2.945 €
Ahorros en mantenimiento	340 €	690 €
Ahorros totales anuales	2.440 €	3.790 €
Período de retorno médio	25 años	29 años

Figura 45. Ayntamiento de Nuñomoral.

Paços do Concelho (Elvas)

Resumen de datos y análisis costo-beneficio efectuados

Paços do Concelho	
Área	1.812 m²
Altura de los espacios	Normal (2,5m)
Hermeticidad	Buena
Consumo energético anual estimado	139.441 kWh
Gasto energético anual estimado	30.000 €

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	120.000 €	200.000 €
Ahorros energéticos anuales	6.000 €	9.000 €
Costes operativos anuales	300 €	450 €
Ahorros netos por energía	5.700 €	8.550 €
Ahorros en mantenimiento	750 €	1.500 €
Ahorros totales anuales	6.750 €	10.500 €
Período de retorno mínimo	18 años	19 años

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	180.000 €	324.000 €
Ahorros energéticos anuales	6.000 €	9.000 €
Costes operativos anuales	300 €	450 €
Ahorros netos por energía	5.700 €	8.550 €
Ahorros en mantenimiento	1.000 €	2.000 €
Ahorros totales anuales	7.000 €	11.000 €
Período de retorno médio	26 años	29 años

Figura 46. Paços do Concelho (Elvas).

Edificio residencial (Évora)

Resumen de datos y análisis costo-beneficio efectuados

Área	105 m²
Altura de los espacios	Normal (>2,5 m)
Hermeticidad	Buena
Consumo energético anual estimado	8.049 kWh
Gasto energético annual estimado	1.732 €

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	6.900 €	11.500 €
Ahorros energéticos anuales	300 €	500 €
Costes operativos anuales	15 €	25 €
Ahorros netos por energía	285 €	475 €
Ahorros en mantenimiento	40 €	90 €
Ahorros totales anuales	340 €	590 €
Período de retorno médio	20 años	19 años

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	10.400 €	18.700 €
Ahorros energéticos anuales	300 €	500 €
Costes operativos anuales	15 €	25 €
Ahorros netos por energía	285 €	475 €
Ahorros en mantenimiento	60 €	120 €
Ahorros totales anuales	360 €	620 €
Período de retorno médio	29 años	30 años

Figura 47. Edificio residencial (Évora).

Museo Histórico-Militar de Almeida (Serra da Estrela)

Resumen de datos y análisis costo-beneficio efectuados

Museo Histórico-Militar de Almeida	
Área	1.229 m²
Altura de los espacios	Normal (>2,5 m)
Hermeticidad	Buena
Consumo energético anual estimado	75.761 kWh
Gasto energético anual estimado	16.280 €

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 1: Suministro de aire a través de chimenea o conducto existente.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	81.400 €	135.600 €
Ahorros energéticos anuales	4.100 €	6.100 €
Costes operativos anuales	205 €	305 €
Ahorros netos por energía	3.895 €	5.795 €
Ahorros en mantenimiento	510 €	1.020 €
Ahorros totales anuales	4.610 €	7.120 €
Período de retorno médio	18 años	19 años

Tabla. Análisis costo-beneficio para la solución 2: Sistema de ventilación mecánica centralizado con recuperación de calor y techo suspendido.

	20% de eficiencia	30% de eficiencia
Coste de instalación	122.100 €	219.700 €
Ahorros energéticos anuales	4.100 €	6.100 €
Costes operativos anuales	205 €	305 €
Ahorros netos por energía	3.895 €	5.795 €
Ahorros en mantenimiento	680 €	1.360 €
Ahorros totales anuales	4.780 €	7.460 €
Período de retorno médio	26 años	29 años

Figura 48. Museo Histórico-Militar de Almeida (Serra da Estrela).

Anexo 2. Plantilla de autoevaluación

Autoevaluación		
Paso 1. Evaluar la hermeticidad del edificio		
¿El edificio tiene una buena hermeticidad?	☐ NO →	Detenerse aquí: no se recomienda implementación de medidas (mejorar primero este aspecto).
	☐ SÍ →	Continuar con el paso 2
Paso 2. Considerar la integración de ventilación mecánica		
¿Es posible integrar sistemas de ventilación mecánica?	☐ NO →	Detenerse aquí: no se recomienda implementación de medidas.
	☐ SÍ →	Continuar con el paso 3
Paso 3. Valorar la altura del edificio		
¿Cuál es la altura del edificio?	☐ Baja (<2,5m)	Dos soluciones: - Sistema de flujo activo de aire. - Ventilación por estancias con recuperación de calor push-pull.
	☐ Normal (>2,5m)	Continuar con el paso 4
Paso 4. Verificar existencia de chimeneas o conductos de aire		
¿Existen chimeneas/conductos?	☐ SÍ →	Dos soluciones: - Suministro de aire a través de chimenea/conducto. - Ventilación central con techo suspendido.
	☐ NO →	Continuar con el paso 5
Paso 5. Determinar la posibilidad de atravesar la fachada del edificio		
¿Es posible atravesar la fachada?	☐ SÍ →	Dos soluciones: - Sistema de ventilación integrado en la fachada (conductos de aire). - Sistema integrado en las ventanas: ventilación por estancias con recuperación de calor a través de ventanas inteligentes.
	☐ NO →	Continuar con el paso 6
Paso 6. Evaluar la posibilidad de renovación suelo del edificio		
¿Se prevé renovar el suelo?	☐ SÍ →	Solución: Sistema de ventilación central con conductos integrados en el suelo.
	☐ NO →	Dos soluciones: - Ventilación central con techo suspendido. - Ventilación descentralizada con monobloques.

Parámetros para la autoevaluación

Paso 1. Evaluar la hermeticidad del edificio – ¿Cómo saber si la hermeticidad del edificio es buena o mala?

La *hermeticidad* se refiere al grado en que el edificio impide el paso de aire no controlado entre el interior y el exterior.

- Buena hermeticidad: Las carpinterías cierran correctamente, no hay filtraciones perceptibles al tacto, ni sensación de corrientes de aire. Suele coincidir con edificios que ya han tenido intervenciones recientes o conservan bien sus elementos.

- Mala hermeticidad: Presencia de filtraciones de aire detectables (corrientes), deformaciones o holguras en marcos de ventanas/puertas, o materiales envejecidos que no sellan adecuadamente. Se notan corrientes de aire incluso cuando todo está cerrado, hay rendijas en las ventanas o puertas, o no ajustan bien al cerrar.

Consejo: si en invierno se siente aire frío entrando, aunque todo esté cerrado, es probable que la hermeticidad sea *mala*, y viceversa.

Paso 2. Considerar la integración de ventilación mecánica – ¿Es posible instalar ventilación mecánica en el edificio?

La integración de un sistema de ventilación mecánica depende de la disponibilidad de espacio para conductos, unidades de tratamiento de aire y tomas de extracción/impulsión, además de las restricciones patrimoniales del edificio. La ventilación mecánica requiere espacio para instalar conductos o equipos, y acceso a zonas clave del edificio. Para saber si es viable:

- Viable: Hay espacio en falsos techos, cuartos técnicos, bajantes o espacios verticales donde se podrían pasar conductos o instalar equipos. Se pueden hacer pequeñas obras y atravesar muros sin afectar elementos protegidos, así como acceder a la cubierta o fachadas para rejillas discretas.

- No viable: Inexistencia de espacio suficiente, no se puede intervenir en la envolvente o estructura (techos, muros) por protección patrimonial, o dificultad para mantener la estética o la integridad del edificio (cualquier obra afectaría elementos originales que no se pueden modificar).

Consejo: verificar si existe infraestructura previa (conductos de ventilación, sistemas centralizados de climatización) que pueda ser aprovechada o adaptada. Si el edificio tiene falsos techos o instalaciones previas (como calefacción por conductos), probablemente sí sea posible.

Interreg

Cofinanciado por la Unión Europea

Cofinanciado pela União Europeia

España – Portugal

feenert