

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal



Informe Metodológico de Adecuación de Instalaciones Renovables en Entornos Patrimoniales Protegidos

**Relatório Metodológico de Adequação de Instalações
Renováveis em Ambientes Patrimoniais Protegidos**

Índice

Índice	2
Lista de Figuras	4
Lista de Tablas	6
0. Introducción.....	8
0.1 Antecedentes	8
0.2 Objetivos del informe	8
0.3 Justificación de la adecuación de instalaciones renovables en entornos patrimoniales	9
1. Marco Teórico	10
1.1 Definición de instalaciones renovables	10
1.2 Importancia de la sostenibilidad en entornos patrimoniales.....	10
1.3 Evolución histórica de las instalaciones renovables en entornos patrimoniales protegidos.	11
1.4 Desafíos específicos para la instalación de energías renovables en entornos patrimoniales	13
1.5 Regulaciones internacionales y locales.....	16
2. Metodología	42
2.1 Selección de casos de estudio	51
2.2 Soluciones Técnicas.....	51
2.3 Evaluación Socioeconómica de la Implementación de Sistemas de Autoconsumo.....	67
2.4 Evaluación de la viabilidad técnica y económica.....	70
2.5 Métodos de mitigación de impactos en el patrimonio histórico y cultural	76
2.6 Estrategias de comunicación y sensibilización con la comunidad local	76
3. Estudio teórico de la implementación de tecnologías potenciales.....	78

3.1 Tecnologías potenciales para implementación.....	78
3.2 Evaluación del rendimiento tecnológico y económico	85
3.3 Soluciones alternativas para la implementación de sistemas solares en zonas históricas	92
4. Conclusiones.....	94
5. Referencias.....	97
6. Anexos.....	98
Anexo I – Proyectos de Referencia	98
Anexo II – Ficha de evaluación técnica	100

Lista de Figuras

Figura 1: Flujograma de la metodología propuesta	50
Figura 2: Imagen ejemplificativa de la integración de las diversas soluciones técnicas: 1. Cubiertas discontinuas; 2. Fachadas ventiladas; 3. Dispositivos externos integrados; 4. Claraboyas; 5. Cortinas de vidrio; 6. Sistemas prefabricados.	52
Figura 3: Tejado solar, fuente: 3S Swiss Solar Solutions	53
Figura 4: Tejado solar: fuente: Sunage	54
Figura 5: Teja fotovoltaica, fuente: CMÉvora	54
Figura 6: Tipologías de tejas fotovoltaicas, fuente: Dyaqua	55
Figura 7: Instalación de fachada ventilada, fuente: Metsolar.....	55
Figura 8: Fachada de módulos fotovoltaicos blancos, fuente: Solaxess	56
Figura 9: parapeto solar, fuente: 3S Swiss Solar Solutions	56
Figura 10: Elementos fotovoltaicos sobre tejado, fuente: Soltech.....	57
Figura 11: Módulos de claraboya personalizados, Fuente: Metsolar	57
Figura 12: Claraboya fotovoltaica, fuente: Sunovation	58
Figura 13: Fachada fotovoltaica, fuente: Hermans Technisolar	58
Figura 14: Fachada fotovoltaica transparente, fuente: Onyx Solar.....	59
Figura 15: Ejemplo de colores disponibles en un fabricante, fuente: Sunovation	59
Figura 16: Ejemplo de texturas impresas, fuente: Sunage	60
Figura 17: Sombreado de patio, fuente: Aleo Solar.....	61
Figura 18: Pavimento fotovoltaico, fuente: ONYX Solar	61
Figura 19: Banco de exterior fotovoltaico, fuente: Metsolar	62
Figura 20: Fuente: SUPSI, 2024.....	74
Figura 21: Fuente: SUPSI, 2024.....	75
Figura 22: Implementación de Vidrio Solar en edificios en Évora y ejemplos de muestras (esquina superior derecha).	79
Figura 23: Ficha de especificaciones técnicas de vidrio solar. Arriba: vidrio solar monocristalino, Abajo: vidrio solar de silicio amorfo.....	80
Figura 24: Instalación de tejas solares en edificios en Évora y ejemplos de muestras.	82
Figura 25:Ficha técnica de tejas solares y modo de instalación.....	83

Figura 26: Teja solar de silício amorfo siendo aplicada en marquesina (carport),

Tegosolar E14484

Lista de Tablas

Tabla 1 – Processo de Metodologia	45
Tabla 2 – listado de intervenciones fotovoltaicas posibles.....	48
<i>Tabla 3 – Producción anual de energía solar (kWh/kWp) de un sistema fotovoltaico típico en Cáceres, España.</i>	<i>85</i>
Tabla 4 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) de un sistema fotovoltaico típico en Évora, Portugal.....	86
<i>Tabla 5 – LCOE (€/kWh) de una instalación fotovoltaica típica en Évora, con diferentes configuraciones, y en Cáceres (España)</i>	<i>87</i>
Tabla 6 – LCOE (€/kWh) de una instalación fotovoltaica típica en Évora, con diferentes configuraciones, y en Évora (Portugal).....	87
<i>Tabla 7 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) del vidrio solar c-Si en Cáceres, España.</i>	<i>88</i>
Tabla 8 - LCOE (€/kWh) del vidrio solar c-Si en Cáceres, España.....	88
Tabla 9 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) del vidrio solar c-Si en Évora, Portugal.....	88
Tabla 10 - LCOE (€/kWh) del vidrio solar c-Si en Évora, Portugal.	88
<i>Tabla 11 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) del vidrio solar a-Si en Cáceres, España.</i>	<i>88</i>
Tabla 12 - LCOE (€/kWh) del vidrio solar a-Si en Cáceres, España.	89
Tabla 13 – Producción anual de energía solar (kWh/kWp) del vidrio solar a-Si en Évora, Portugal.....	89
Tabla 14 – LCOE (€/kWh) del vidrio solar a-Si en Évora, Portugal.	89
Tabla 15 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) de la teja solar en Cáceres, España.....	89
Tabla 16 - LCOE (€/kWh) de la teja solar en Cáceres, España.....	89
Tabla 17 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) de la teja solar en Évora, Portugal.....	90
Tabla 18 - LCOE (€/kWh) de la teja solar en Évora, Portugal.	90

Tabla 19 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) del carport - teja solar en Cáceres, España.....90

Tabla 20 - LCOE (€/kWh) del carport - teja solar en Cáceres, España.90

Tabla 21 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) del carport - teja solar en Évora, Portugal.90

Tabla 22 - LCOE (€/kWh) del carport - teja solar en Évora, Portugal.....91

Tabla 23 - Lista de proyectos, adaptado de (Elena Lucchi et al., 2020), (Alessia Buda & Tor Broström, 2021).....99

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal



0. Introducción

0.1 Antecedentes

El presente informe se enmarca en el proyecto 0083_FEENERT_4_E, cofinanciado por el programa INTERREG España-Portugal (POCTEP). Este proyecto tiene como objetivo promover la eficiencia energética y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, con un enfoque particular en la integración de soluciones renovables en contextos patrimoniales protegidos, garantizando al mismo tiempo su sostenibilidad y la preservación de su valor histórico-cultural.

La relevancia de esta iniciativa se ve acentuada por el reconocimiento creciente del papel de las energías renovables en la mitigación del cambio climático. Por otro lado, la región EUROACE (Extremadura, Alentejo y Centro de Portugal) presenta un rico y diverso patrimonio cultural, que requiere un enfoque meticuloso para equilibrar la necesidad de modernización energética con la conservación de la identidad histórica y arquitectónica.

En este contexto, el informe metodológico surge como una herramienta indispensable para establecer directrices claras y fundamentadas para la implementación de sistemas de autoconsumo renovable en entornos construidos protegidos. Este documento constituye, por tanto, una pieza clave para garantizar la alineación entre los objetivos energéticos y la protección cultural en una región transfronteriza de elevado valor patrimonial.

0.2 Objetivos del informe

El principal objetivo de este informe es desarrollar una metodología que permita identificar obstáculos y establecer requisitos y parámetros para la instalación de sistemas de energía renovable en entornos patrimoniales protegidos. Se pretende garantizar que dichas intervenciones preserven la integridad histórica, social y cultural de estos espacios, al mismo tiempo que se promueven prácticas sostenibles de autoconsumo energético.

Los objetivos específicos incluyen:

- Definir un enfoque sistemático para evaluar la viabilidad técnica y estética de la integración de sistemas renovables en patrimonios protegidos.
- Identificar los principales desafíos, obstáculos legales y limitaciones técnicas, proponiendo soluciones prácticas y sostenibles.
- Establecer parámetros claros para la toma de decisiones, incorporando aspectos técnicos, estéticos, ambientales y culturales.
- Presentar recomendaciones basadas en estudios de caso, buenas prácticas y lecciones aprendidas de experiencias nacionales e internacionales.

0.3 Justificación de la adecuación de instalaciones renovables en entornos patrimoniales

La integración de sistemas renovables en entornos patrimoniales protegidos representa un desafío que requiere un equilibrio cuidadoso entre la innovación tecnológica y la conservación cultural. Estos lugares poseen un valor histórico, arquitectónico y simbólico, lo que hace esencial que cualquier intervención respete y preserve su autenticidad.

La adaptación de instalaciones de autoconsumo en estos entornos ofrece múltiples beneficios:

- **Ambientales:** Contribución a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la sostenibilidad energética.
- **Económicos:** Disminución de los costes energéticos y potencial dinamización de la economía local.
- **Culturales:** Posibilidad de promover un diálogo entre la tradición y la innovación, reforzando la percepción de la comunidad sobre el patrimonio como un recurso vivo.

Este informe refleja la necesidad de desarrollar una metodología sólida y exhaustiva que respalde decisiones informadas y armonice la modernización energética con la preservación del patrimonio cultural, alineándose con los objetivos del programa INTERREG y los compromisos globales hacia una transición energética sostenible.

1. Marco Teórico

1.1 Definición de instalaciones renovables

Las instalaciones renovables se refieren a sistemas capaces de convertir recursos energéticos renovables en electricidad o calor, promoviendo la sostenibilidad y la eficiencia energética. En este estudio, el enfoque se centra en los sistemas de energías renovables, como los sistemas fotovoltaicos de autoconsumo, que aprovechan la energía solar para generar electricidad directamente en los lugares de consumo, reduciendo la dependencia de fuentes externas.

En contextos patrimoniales, las instalaciones renovables deben ser diseñadas para minimizar los impactos visuales, estructurales y culturales, integrándose de manera armoniosa con los valores históricos y arquitectónicos existentes.

1.2 Importancia de la sostenibilidad en entornos patrimoniales

La sostenibilidad energética desempeña un papel crucial en la preservación del patrimonio cultural. Al adoptar prácticas que promuevan la eficiencia energética y reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero, es posible garantizar la longevidad de estos espacios, protegiendo tanto sus elementos físicos como sus significados culturales.

La implementación de soluciones renovables en entornos protegidos contribuye a:

- **Protección ambiental:** Reducción del impacto ecológico de las actividades humanas.
- **Conservación de recursos:** Promoción del uso responsable y eficiente de la energía.
- **Valorización cultural:** Refuerzo de la percepción del patrimonio como un elemento vivo, capaz de integrar soluciones modernas sin comprometer su autenticidad.

1.3 Evolución histórica de las instalaciones renovables en entornos patrimoniales protegidos.

Históricamente, la integración de energías renovables en patrimonios protegidos ha representado un desafío creciente. Inicialmente, la implementación de renovables en edificios patrimoniales enfrentaba resistencias significativas debido al impacto visual y estructural sobre los bienes clasificados. Tecnologías como los paneles fotovoltaicos convencionales fueron frecuentemente rechazadas en proyectos de conservación por comprometer la estética histórica. A su vez, la normativa, más restrictiva, limitaba las intervenciones para proteger los valores arquitectónicos y culturales.

Con el avance de la tecnología, surgieron soluciones más adaptables, como los paneles fotovoltaicos integrados en la edificación (BIPV). Estas tecnologías fueron diseñadas para integrarse de forma discreta en cubiertas, fachadas, ventanas y otros elementos arquitectónicos, permitiendo que los edificios históricos se beneficiaran de la generación de energía renovable sin perjudicar su carácter visual. Las tejas solares y los vidrios fotovoltaicos se convirtieron en opciones frecuentes, minimizando el impacto visual y armonizándose con las estructuras existentes.

Aunque las primeras experiencias se centraron en minimizar las interferencias visuales y estructurales, los avances tecnológicos recientes han permitido una alineación más eficaz entre la innovación y la conservación. Algunos ejemplos incluyen:

- **Sistemas solares en edificios históricos:** Adaptación de tecnologías discretas, como las tejas solares, para sustituir materiales originales deteriorados.
- **Iluminación eficiente en espacios culturales:** Uso de sistemas solares para iluminar monumentos y reducir el consumo energético.
- **Estudios piloto internacionales:** Proyectos en países como Alemania, Italia¹, Suiza^{2,3} y Francia⁴ han demostrado enfoques exitosos para la integración de energías renovables en patrimonios protegidos.

¹ <https://edition.cnn.com/style/article/pompeii-dyaqua-solar-panels-tan/index.html>

² <https://www.pv-magazine.com/2024/02/21/refurbishing-heritage-buildings-with-bipv-heat-pumps-energy-efficiency/>

³ <https://www.bipv.ch/index.php/en/histori-s-en/item/1246-historical-building-affoltern-en>

⁴ <https://www.bipv.ch/index.php/en/histori-s-en/item/570-tourism-office>

Esas experiencias subrayan la importancia de considerar las especificidades locales y culturales al planificar intervenciones con energías renovables.

El enfoque BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*) puede viabilizar la instalación de energías renovables en edificios clasificados como patrimonio histórico o cultural, al combinar funcionalidad energética con soluciones arquitectónicas que respeten el valor patrimonial de dichos edificios.

La evolución histórica del BIPV ha estado marcada por ciclos de desarrollo y desafíos en el mercado europeo. Entre 2010 y 2015, el sector experimentó un periodo de expansión, impulsado por incentivos políticos en países como Francia e Italia. Sin embargo, la reducción o fusión de estas medidas con esquemas de apoyo para sistemas fotovoltaicos convencionales (BAPV – *Building Attached Photovoltaics*) provocó una caída del mercado BIPV hasta 2018.

Tras ese periodo, países como Suiza, Alemania y los Países Bajos comenzaron a liderar una recuperación, beneficiándose de incentivos, percepciones positivas sobre la tecnología y la caída de los costes de los módulos fotovoltaicos. En 2023, el mercado europeo de BIPV registró un aumento significativo, con una capacidad instalada anual que superó los 300 MWp, representando un 0,5% del mercado fotovoltaico total. Este crecimiento fue impulsado por factores como la crisis energética derivada de la guerra en Ucrania y el renovado apoyo político a las energías renovables.

A pesar del progreso, el BIPV sigue enfrentando desafíos, en particular en su integración en zonas patrimoniales, como la baja aceptación social debido a los costes implicados y a las barreras regulatorias. A pesar del potencial señalado por estudios de mercado para el BIPV, estas soluciones fotovoltaicas integradas continúan siendo menos utilizadas de lo esperado, representando apenas el 0,5% del mercado total de fotovoltaica en Europa en 2023. Entre los desafíos destacan la falta de sensibilización por parte de los responsables de la toma de decisiones y los elevados costes percibidos, que desincentivan su aceptación social.

Europa alberga más de 90 fabricantes de BIPV, con más de 20 años de experiencia y una destacada competitividad industrial. Aunque el rendimiento actual del mercado

está por debajo de las previsiones (entre un 22% y un 48% menos respecto a las estimaciones de 2020), existen sólidos fundamentos para un crecimiento futuro.

El mercado ha evolucionado, especialmente desde 2019, con el apoyo de países como Suiza, Alemania y los Países Bajos, donde los incentivos y las percepciones favorables han impulsado su crecimiento. El análisis sugiere que el BIPV podría ganar más tracción en los próximos años, impulsado por la innovación y las lecciones aprendidas; no obstante, su consolidación dependerá de una mayor alineación entre la industria de la construcción/rehabilitación y el sector fotovoltaico.

1.4 Desafíos específicos para la instalación de energías renovables en entornos patrimoniales

La adaptación de sistemas renovables en entornos patrimoniales presenta desafíos significativos, entre los cuales se destacan:

- **Aspectos técnicos:** Limitaciones relacionadas con estructuras antiguas que no soportan fácilmente nuevas instalaciones. Los edificios históricos, especialmente aquellos construidos antes de las normativas de construcción modernas, pueden no contar con la estructura adecuada para soportar sistemas de energías renovables como paneles solares o incluso baterías. La adaptación de la infraestructura eléctrica también representa un reto, ya que muchas construcciones no están preparadas para integrar nuevas tecnologías ni las redes necesarias, tanto energéticas como de comunicación.
- **Aspectos visuales y estéticos:** Necesidad de preservar la armonía visual y la autenticidad arquitectónica. Las instalaciones de energía renovable, especialmente los paneles solares y las turbinas eólicas, pueden alterar significativamente el paisaje y la estética de los edificios históricos. La presencia visible de estos sistemas puede afectar la percepción del valor cultural e histórico del lugar.
- **Aspectos legales:** Restricciones impuestas por normativas de protección patrimonial que limitan las modificaciones en edificios y espacios. Las regulaciones patrimoniales imponen criterios estrictos sobre las intervenciones permitidas en edificios o sitios históricos. A menudo, la ley exige que cualquier instalación sea previamente aprobada por las autoridades de patrimonio cultural y que cumpla requisitos específicos para evitar daños o impactos negativos.
- **Aspectos culturales y ambientales:** Garantizar que las intervenciones respeten el valor simbólico del patrimonio. Incluso con el objetivo de promover

la sostenibilidad, las instalaciones de energías renovables pueden afectar negativamente el entorno natural o el ecosistema local. La flora y fauna específicas de ciertas regiones, o incluso restos arqueológicos, pueden verse afectados durante el proceso de instalación.

- **Resistencia social y percepción pública:**

El efecto NIMBY ("Not In My Backyard") —que hace referencia a la oposición local a infraestructuras renovables— es común en muchas comunidades, especialmente en áreas rurales o de alto valor patrimonial. Esta resistencia suele aumentar cuando los beneficios no son claramente percibidos por las comunidades locales. Este fenómeno es particularmente relevante en el contexto de las energías renovables, incluida la energía solar, especialmente en territorios como la zona EUROACE, donde existen numerosos proyectos de gran escala.

Las principales causas del efecto NIMBY incluyen:

1. Impacto visual y paisajístico

- Las instalaciones de producción de energía renovable pueden alterar significativamente el paisaje, especialmente en zonas rurales de la Península Ibérica con alto valor natural o patrimonial.
- Las comunidades locales valoran la preservación del paisaje tradicional, a menudo asociado a actividades agrícolas o históricas.

2. Uso del suelo y/o contexto edificado

- La conversión de terrenos agrícolas en espacios destinados a instalaciones de energías renovables puede ser percibida como una amenaza para el sustento local y la identidad rural.
- La integración de sistemas solares o eólicos en entornos edificados puede ser vista como una pérdida de identidad y una amenaza para la explotación económica del paisaje, por ejemplo, en el sector del turismo local.
- Existe preocupación por la pérdida de suelos productivos, especialmente en regiones que dependen de la agricultura y la ganadería.

3. Percepción de injusticia territorial

- La ausencia de una redistribución justa de los beneficios genera resentimiento entre las comunidades afectadas.

4. Falta de participación comunitaria

- Muchos proyectos se desarrollan sin una consulta o participación adecuada de las poblaciones locales, lo que genera desconfianza y resistencia. Nota: Otras alternativas para la integración de energías renovables incluyen explícitamente a la comunidad, como es el caso de las comunidades de energías renovables.

5. Preocupaciones ambientales y cultural

- El impacto potencial sobre la fauna y flora, así como sobre el patrimonio cultural, alimenta el escepticismo, especialmente en áreas protegidas o de elevado valor ambiental o patrimonial.

Ejemplos específicos de este efecto en la zona EUROACE incluyen:

1. España:

- En Extremadura, proyectos solares de gran escala⁵ han recibido críticas de comunidades rurales que cuestionan los beneficios económicos locales.

2. Portugal:

- En regiones como el Alentejo⁶ (y la región Centro⁷), proyectos de energía solar han generado tensiones debido al uso de terrenos agrícolas y preocupaciones ambientales.
- La instalación de paneles solares cerca de aldeas históricas o zonas protegidas⁸ ha generado oposición por la percepción de amenaza al patrimonio cultural y paisajístico.

El efecto NIMBY refleja el delicado equilibrio entre el desarrollo sostenible y la preservación de las características locales. La implementación de energías renovables,

⁵ <https://www.elsaltodiario.com/energia-solar/ecologistas-en-accion-denuncia-la-burbuja-fotovoltaica-en-extremadura>

⁶ <https://www.radiocampanario.com/cercal-do-alentejo-projeto-de-paineis-solares-gera-polemica/>

⁷ <https://jornaldeleiria.pt/noticia/populacao-do-juncal-contesta-criacao-de-central-solar-com-20-mil-paineis>

⁸ <https://sicnoticias.pt/pais/2024-07-09-video-populacao-de-evora-contesta-projeto-de-de-duas-centrais-fotovoltaicas-29f26212>

como la solar, debe ser sensible a las preocupaciones locales, integrando beneficios tangibles y asegurando que el progreso tecnológico no comprometa a las comunidades que lo acogen. Los enfoques inclusivos y participativos son fundamentales para superar la resistencia y promover la aceptación social.

1.5 Regulaciones internacionales y locales

La normativa para la integración de energías renovables en patrimonios protegidos varía ampliamente entre regiones y países, reflejando diferentes prioridades culturales y ambientales. Entre las normas internacionales de relevancia destacan:

- **Normas internacionales:** Organizaciones como la UNESCO y el ICOMOS (International Council on Monuments and Sites⁹) destacan la importancia de preservar la autenticidad del patrimonio, promoviendo prácticas sostenibles y fomentando la capacitación técnica.
- **EN 16883:** Esta norma europea proporciona directrices para mejorar de manera sostenible el rendimiento energético de los edificios históricos, como aquellos con valor histórico, arquitectónico o cultural, respetando su importancia patrimonial. Su aplicación no se limita a edificios oficialmente catalogados, sino que se extiende a construcciones históricas de todo tipo y época.
- **EN 50583:** Esta norma tiene como objetivo establecer requisitos y directrices para la integración de sistemas fotovoltaicos en edificios, abarcando tanto aspectos técnicos como de seguridad y rendimiento. Asegura que los módulos fotovoltaicos integrados puedan cumplir simultáneamente funciones constructivas (como protección contra las inclemencias del tiempo, aislamiento térmico o acústico) y de generación energética, garantizando la compatibilidad con las regulaciones de edificación y los requisitos estéticos. La EN 50583 se aplica a diferentes tipos de edificaciones, promoviendo el uso de soluciones fotovoltaicas integradas de forma segura, eficiente y en armonía con los elementos arquitectónicos.
- **Energy Performance of Buildings Directive (EU/2024/1275)¹⁰,** La Directiva revisada sobre el rendimiento energético de los edificios entró en vigor en todos los países de la UE el 28 de mayo de 2024 y tiene como objetivo aumentar la tasa de renovación del parque edificado, especialmente de los edificios con peor rendimiento en cada país. La directiva también respalda la mejora de la calidad del aire, la digitalización de

⁹ <https://www.icomos.org/en>

¹⁰ https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en

los sistemas energéticos de los edificios y la implementación de infraestructuras para la movilidad sostenible. Reconociendo las diferencias entre los Estados miembros (por ejemplo, en el parque edificado, geografía o clima), permite a los gobiernos nacionales definir las medidas de renovación más adecuadas a sus contextos específicos.

Asimismo, los países pueden eximir varias categorías de edificios del cumplimiento de esta directiva, incluidos los edificios históricos y las residencias de vacaciones.

- **Normativas y regulaciones en otros países:** Véase Tabla 4 en los Anexos.
- **Ejemplos nacionales:**
 - En Alemania, tecnologías solares innovadoras se han integrado con éxito en edificios históricos gracias a regulaciones flexibles
 - En España, las normativas locales priorizan la preservación visual y cultural, imponiendo restricciones estrictas al uso de materiales modernos.
 - En Portugal, el marco legislativo se enfoca en la protección arquitectónica, con incentivos para intervenciones sostenibles.

Este análisis subraya la necesidad de adaptar las buenas prácticas internacionales a las especificidades de la región EUROACE, garantizando un equilibrio entre la promoción de las energías renovables y la conservación del patrimonio. A continuación, se analiza la regulación y legislación vigente en ambos países de la región EUROACE.

Normativa y legislación portuguesa

En el marco del ordenamiento jurídico portugués en materia de construcción, existen decretos que pueden influir en la implementación de soluciones de producción de energías renovables. La legislación relativa a la edificación se divide, en términos generales, entre las obras públicas (regidas por el Código dos Contratos Públicos¹¹) y aquellas realizadas por entidades privadas (regidas pelo Código Civil¹²). No obstante, las disposiciones esencialmente procedimentales del Código de Contratos Públicos y del Código Civil no son, en principio, las que imponen restricciones directas a la

¹¹ <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/2008-34455475>

¹² <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/47344-1966-477358>

implementación de soluciones de energías renovables. Son los reglamentos específicos, como el Regime Jurídico da Urbanização e Edificação (RJEU¹³) y el Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU¹⁴), los que establecen restricciones más explícitas y, por tanto, deben ser considerados en este informe.

Regime Jurídico da Urbanização e Edificação (RJEU)

De acuerdo con el RJEU, los municipios deben aprobar reglamentos de urbanización o edificación y definir las tasas y garantías necesarias para la realización de estas actividades, siendo el RJEU quien impone restricciones de carácter general (que deben ser implementadas por los propios municipios). No obstante, corresponde a las autoridades locales (ayuntamientos) determinar qué proyectos tienen una relevancia urbanística reducida. Estos proyectos están exentos de requisitos como licencias, autorizaciones o comunicaciones previas.

En esencia, el RJEU establece exigencias procedimentales generales y confiere a los municipios la competencia para detallar e implementar dichas exigencias. Los resultados y los posibles obstáculos derivados de la aplicación de este reglamento por parte de los municipios se presentan a continuación en esta sección y en la sección dedicada a los estudios de caso, dada la especificidad municipal.

Según el RJEU, las obras de modificación realizadas en inmuebles clasificados (o en proceso de clasificación) al amparo de la Ley del Patrimonio Cultural Portugués, en zonas de protección definidas por dicha ley, o en inmuebles sujetos a limitaciones por su uso público, así como en áreas situadas fuera de operaciones de parcelación, están sujetas a un régimen de licencia. Además, las obras de menor impacto requieren una comunicación previa. La emisión de licencias y la aprobación de comunicaciones previas son competencia del Municipio (Cámara Municipal).

Como se ha mencionado anteriormente, no solo los edificios históricos y protegidos, sino también aquellos destinados a uso público (como escuelas y edificios de servicios públicos), requieren licencia antes del inicio de cualquier proyecto de construcción. Este

¹³ <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/1999-34567875>

¹⁴ <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/1951-120610500>

requisito va más allá de la simple comunicación previa, ya que es necesario demostrar que el plan cumple con: Planes municipales e intermunicipales de ordenación del territorio; Planes de protección especial, Medidas preventivas, Áreas prioritarias de desarrollo urbano, Áreas prioritarias de construcción, Servidumbres.

No obstante, algunos proyectos están exentos de estas verificaciones previas. En el contexto de este estudio, son relevantes los proyectos de escasa relevancia urbanística y aquellos que se limitan al interior de un edificio (o de sus fracciones, sin implicar alteraciones estructurales), a su fachada, revestimientos, tejas o construcción de cubiertas. Adicionalmente, las obras mencionadas, cuando se realizan fuera de áreas urbanas, están exentas de licencia si el edificio se destina a uso residencial y no comprende más de dos viviendas independientes.

La instalación de sistemas de producción de energía renovable (incluida la microgeneración) asociada al edificio principal de una propiedad se considera, según el RJEU, un proyecto de relevancia urbanística limitada. Esta categoría de proyectos incluye:

La instalación de paneles solares fotovoltaicos y colectores solares térmicos para calentamiento de agua (siempre que el área no exceda la cubierta del edificio o una altura adicional de 1 metro respecto a la construcción);

La instalación de turbinas eólicas (con una altura máxima de 4 metros sobre el punto más alto del edificio y un radio máximo de 1,5 metros).

Estas disposiciones parecen simplificar los procedimientos para la instalación de soluciones de energía renovable, ya que se encuadran en la categoría de relevancia urbanística limitada. No obstante, la exención no se aplica a edificios clasificados conforme a la legislación de patrimonio (ya sea individualmente, como parte de un conjunto, o en proceso de clasificación), ni excluye los requisitos locales adicionales que pueda imponer el municipio.

Régimen aplicable a la rehabilitación de edificios o unidades autónomas¹⁵

El Decreto-Ley n.º 95/2019 establece el régimen aplicable a la rehabilitación de edificios o unidades autónomas. De este modo, busca conciliar las legítimas expectativas en términos de adecuación a los estándares actuales de seguridad, habitabilidad y confort, así como la simplificación del proceso de rehabilitación, con los principios de sostenibilidad ambiental y protección del patrimonio edificado en sentido amplio.

Este decreto-ley se aplica a las obras de rehabilitación de edificios o unidades autónomas que hayan sido construidos antes del 1 de enero de 1995 (Artículo 1.º, DL 95/2019). Su objetivo es incentivar la revalorización del parque edificado existente, reduciendo los obstáculos burocráticos y económicos a las intervenciones.

Permite la aplicación de soluciones alternativas a los requisitos reglamentarios más recientes, siempre que garanticen:

- Seguridad estructural
- Eficiencia energética
- Salubridad
- Confort térmico y acústico

Por ejemplo, en el caso de edificios antiguos, los requisitos relativos al aislamiento térmico y acústico pueden adaptarse para respetar la arquitectura y los materiales originales (Artículo 5.º, DL 95/2019).

Esta normativa exige la adopción de medidas de refuerzo estructural siempre que sea necesario, pero permite el uso de técnicas de conservación compatibles con el patrimonio existente (Artículo 8.º, DL 95/2019).

Los edificios rehabilitados deben cumplir con los requisitos del Sistema de Certificación Energética de los Edificios (SCE), aunque con mayor flexibilidad para evitar modificaciones profundas que comprometan el valor patrimonial (Artículo 9.º, DL 95/2019).

¹⁵ <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/2019-123279832>

Este decreto-ley también se articula con el Régimen Jurídico de Urbanización y Edificación (RJUE), facilitando el proceso de licencias para las obras de rehabilitación (Artículo 12.º, DL 95/2019).

Régimen jurídico de la rehabilitación urbana

El Decreto-Lei n.º 307/2009¹⁶, de 23 de octubre, establece el Régimen Jurídico de la Rehabilitación Urbana (RJRU) en Portugal, con el objetivo de promover la rehabilitación de los núcleos urbanos degradados, mejorar las condiciones habitacionales, garantizar la sostenibilidad ambiental y dinamizar la economía local. Este régimen se aplica a las Áreas de Rehabilitación Urbana (ARU) y tiene como finalidad facilitar los procesos de rehabilitación, preservando el patrimonio y estimulando la revitalización urbana.

Este régimen se aplica a zonas definidas como ARU, es decir, áreas donde se constata una degradación significativa de los edificios e infraestructuras. Las autoridades municipales tienen competencia para definir dichas zonas, las cuales gozan de beneficios fiscales y procedimentales para su rehabilitación (Artículo 1.º).

Como objetivos de la rehabilitación Urbana define:

- Mejorar la calidad de vida en las ciudades.
- Recuperar edificios y espacios urbanos degradados.
- Valorizar el patrimonio arquitectónico y cultural.
- Promover la sostenibilidad ambiental y energética.
- Crear condiciones para la revitalización de las zonas urbanas y fomentar la economía local y el turismo (Artículo 2.º).

Este régimen también establece incentivos fiscales, como la exención del IMI (Impuesto Municipal sobre Inmuebles) y beneficios en términos de IVA para proyectos de rehabilitación en áreas definidas como ARU.

El decreto-ley prevé un procedimiento más simplificado para las obras de rehabilitación en las áreas ARU, con el objetivo de reducir la burocracia y acelerar el proceso de concesión de licencias. La rehabilitación de edificios y fracciones autónomas puede

¹⁶ <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/2009-34511675>

realizarse con menores exigencias de licenciamiento, siempre que se respeten las normas de seguridad, habitabilidad y eficiencia energética (Artículo 16.º).

El decreto-ley establece la obligatoriedad de mejorar la eficiencia energética de los edificios en rehabilitación, con especial enfoque en la sostenibilidad ambiental. En las obras de rehabilitación debe garantizarse la mejora de las condiciones térmicas y acústicas de los edificios, promoviendo soluciones más eficientes (Artículo 14.º).

El régimen respeta la legislación sobre preservación del patrimonio, permitiendo intervenciones en edificios clasificados o de interés histórico, siempre que se cumplan las normas de conservación y restauración. No obstante, también se permite la integración de soluciones innovadoras para mejorar el rendimiento energético sin perjudicar los valores patrimoniales (Artículo 15.º).

El régimen promueve la rehabilitación sostenible, incentivando el uso de tecnologías y materiales sostenibles. Además, se fomenta la creación de infraestructuras de movilidad, como transporte público y carriles bici, en las zonas rehabilitadas (Artículo 11.º).

El Decreto-Ley n.º 307/2009 promueve la rehabilitación urbana como un proceso esencial para la renovación de las ciudades, centrado en la preservación del patrimonio y la sostenibilidad. Al establecer beneficios fiscales y un procedimiento simplificado de licenciamiento, facilita la implementación de proyectos de rehabilitación y contribuye a la revitalización de zonas urbanas degradadas. La integración de soluciones innovadoras para la eficiencia energética y la preservación del patrimonio cultural constituyen dos de los pilares fundamentales de este régimen jurídico.

Reglamento General de Edificación Urbana (RGEU¹⁷)

Aunque los requisitos específicos son determinados a nivel municipal, el **RGEU** (Reglamento General de Edificación Urbana) es relevante como fuente nacional de derecho. Se aplica a cualquier proyecto de construcción, incluidas modificaciones en edificios existentes que, por ley, estén sujetos a un plan de urbanización (ya sea en perímetros urbanos o en zonas rurales protegidas). Además, se aplica a edificios

¹⁷ <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/1951-120610500>

industriales o de uso público, siendo responsabilidad del municipio ampliar el ámbito de aplicación del reglamento.

Para que los municipios emitan una licencia de construcción para los edificios mencionados, estos deben cumplir con el presente reglamento y con otros reglamentos cuya aplicación corresponde al municipio.

El RGEU establece de forma general que todos los edificios deben ser construidos de manera específica y utilizando materiales concretos, como forma de garantizar condiciones de higiene y seguridad.

El reglamento también aborda requisitos estéticos para los proyectos de construcción. Los proyectos, incluidas obras de construcción y renovación tanto en zonas urbanas como rurales, deben ser planificados, ejecutados y mantenidos de forma que contribuyan al valor estético del conjunto de edificaciones circundantes, sin perjudicar la apariencia, proporciones ni el carácter del entorno.

Los municipios son responsables de inspeccionar las construcciones y tienen la facultad de imponer sanciones en caso de incumplimiento del reglamento.

El RGEU permite a los municipios clasificar edificios como “de interés”, otorgándoles protecciones especiales. También establece que cualquier modificación que pueda perjudicar el valor de edificios o elementos naturales clasificados como de valor municipal no será aceptada. En virtud de esta disposición, el municipio puede exigir obras de restauración para devolver la propiedad a su estado original, cuando así lo justifique su valor cultural.

Otro aspecto relevante se refiere a las instalaciones situadas en la cubierta de un edificio. Según este requisito, cualquier adición al tejado de un edificio que forme parte de un conjunto no puede superar el punto más alto existente, a menos que se trate de un elemento decorativo. Por tanto, no es recomendable considerar una instalación de energía renovable (como un panel solar) como elemento decorativo.

Las condiciones particulares para generadores eólicos y paneles solares fotovoltaicos previstas en el RJEU (Régimen Jurídico de la Edificación Urbana) no se reproducen en el RGEU. Esto puede dar lugar a una superposición normativa entre ambos reglamentos en lo que respecta a la instalación de paneles solares o aerogeneradores en edificios

que formen parte de un conjunto, ya que mientras el RJEU estipula que se consideran de escasa relevancia urbanística si permanecen dentro de 1 metro del punto más alto del edificio (para paneles solares) o 4 metros (para aerogeneradores), el RGEU, por su parte, establece que ningún elemento del edificio puede sobrepasar el punto más alto del conjunto.

En resumen, los municipios desempeñan un papel crucial en todas las decisiones relacionadas con la legislación urbanística, aunque no gozan de autonomía plena cuando su decisión afecta al patrimonio cultural nacional. Diversas autoridades son competentes en materia de licenciamiento, lo que influye en la viabilidad de que los edificios patrimoniales adopten soluciones de energía renovable.

Sistema de Certificación Energética de los Edificios

El Decreto-Ley n.º 101-D/2020¹⁸ establece los requisitos aplicables a los edificios para la mejora de su rendimiento energético y regula el Sistema de Certificación Energética de los Edificios, transponiendo la Directiva (UE) 2018/844 y parcialmente la Directiva (UE) 2019/944. Ha sido modificado recientemente por el Decreto-Ley n.º 11/2025¹⁹, de 19 de febrero, que transpone parcialmente la [Diretiva \(UE\) 2024/1275](#), relativa al rendimiento energético de los edificios.

Esta legislación establece una política nacional para la rehabilitación de edificios, con especial enfoque en la eficiencia energética, el uso de energías renovables y la preservación del patrimonio arquitectónico. Se fomenta la adaptación de tecnologías sostenibles en edificios existentes, respetando las características históricas, en particular en los edificios clasificados. El objetivo es promover la sostenibilidad, mejorar el rendimiento energético y garantizar la regeneración de las áreas urbanas sin comprometer el legado cultural.

La rehabilitación debe realizarse de forma que respete los principios de conservación del patrimonio y eficiencia energética, estableciendo parámetros de intervención que equilibren la modernización con la protección de los valores históricos.

¹⁸ <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/2020-150571263>

¹⁹ <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/11-2025-907934881>

Esta legislación facilita la integración de soluciones de energías renovables, como los paneles solares, en edificios, incluidos los de valor histórico, siempre que las intervenciones sean compatibles con su preservación. Están exentos de certificación energética los edificios clasificados o en vías de clasificación, conforme al Decreto-Ley n.º 309/2009, de 23 de octubre, en su versión actual, salvo que se reconozca la compatibilidad de los estudios, proyectos, informes, obras o intervenciones, de acuerdo con lo previsto en el Decreto-Ley n.º 140/2009, de 15 de junio.

El decreto-ley prevé también incentivos financieros y apoyos destinados a proyectos de rehabilitación sostenible y a la implementación de tecnologías verdes, como sistemas de energía renovable, con el fin de promover la regeneración urbana.

El régimen define también el papel de las autoridades competentes, que deben garantizar que los proyectos de rehabilitación cumplan con las normas legales y reglamentarias aplicables, promoviendo la eficiencia energética y la sostenibilidad, sin comprometer la integridad del patrimonio.

Este decreto-ley contribuye al desarrollo de infraestructuras urbanas sostenibles y mejora la calidad de vida en las ciudades, al incentivar la regeneración de edificios y zonas degradadas mediante un proceso de rehabilitación eficiente, equilibrando innovación y conservación.

Ley del Patrimonio Cultural Portugués

En general, el marco jurídico del patrimonio en Portugal está compuesto por:

- La Ley de Bases de la Política y del Régimen de Protección y Valorización del Patrimonio Cultural (Lei 107/2001²⁰ de 8 de septiembre, en su versión actualizada),
- El Decreto-Ley 140/2009²¹ de 15 de junio, que establece el régimen jurídico aplicable a estudios, proyectos, informes, obras o intervenciones sobre bienes culturales clasificados, o en vías de clasificación, de interés nacional, público o municipal;

²⁰ <https://files.dre.pt/1s/2001/09/209a00/58085829.pdf>

²¹ <https://files.dre.pt/gratuitos/1s/2009/06/11300.pdf>

- El Decreto-Ley 309/2009²² de 23 de octubre, que regula el procedimiento de clasificación de los bienes inmuebles de interés cultural, así como el régimen de zonas de protección y del plan de salvaguardia detallado;
- Decreto-Ley 51-B/2013²³ de 31 de octubre, que establece el régimen jurídico de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

Este conjunto normativo crea una red compleja de requisitos, reparto de competencias y normas de protección que deben aplicarse eficazmente en la práctica.

En Portugal, la **Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)** para proyectos que puedan afectar al patrimonio histórico y cultural incluye un análisis exhaustivo de los posibles impactos derivados de las intervenciones previstas. Este procedimiento tiene como objetivo garantizar la preservación y valorización de los bienes culturales, respetando su integridad y su contexto histórico. Los principales aspectos evaluados son los siguientes:

1. Identificación y Caracterización del Patrimonio Afectado:

- Inventario y descripción detallada de los bienes culturales y patrimoniales presentes en el área de influencia del proyecto.

Clasificación de inmuebles, yacimientos arqueológicos, paisajes culturales o elementos de interés arquitectónico y etnográfico.

2. Análisis de Impactos Potenciales:

- Evaluación de los efectos directos, indirectos, acumulativos y sinérgicos de las intervenciones sobre el patrimonio.
- Análisis de posibles alteraciones en la integridad física, visual, funcional o contextual de los bienes patrimoniales.

3. Definición de Medidas de Minimización o Compensación:

- Propuestas para mitigar los impactos negativos, tales como ajustes en el diseño o ubicación del proyecto, uso de técnicas constructivas menos invasivas o compatibles, y realización de estudios arqueológicos previos.

²² <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2009/10/20600/0797507987.pdf>

²³ <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2013/10/21102/0000600031.pdf>

- Medidas compensatorias, como la rehabilitación de patrimonio existente o la inversión en iniciativas culturales.

4. Consulta a las Entidades Competentes:

- Participación de organismos como la Dirección General del Patrimonio Cultural (DGPC) o las Direcciones Regionales de Cultura, responsables de evaluar los impactos y emitir los informes técnicos preceptivos.

5. Participación Pública: Inclusión de la opinión de la comunidad local y de expertos en el proceso de evaluación, garantizando un enfoque colaborativo en la protección del patrimonio.

En resumen, la EIA funciona como un mecanismo preventivo que permite integrar las preocupaciones en materia de conservación del patrimonio en el desarrollo de proyectos.

Clasificación del Patrimonio Cultural

El DL 309/2009²⁴ proporciona el marco legal complementario para la protección del patrimonio cultural en Portugal. Este diploma establece los procedimientos para la clasificación del patrimonio cultural inmobiliario y define el régimen jurídico aplicable a la protección de dichos lugares.

El Decreto contempla clasificaciones individuales y colectivas (como conjunto o sitio) y permite incluso que otros tipos de bienes inmuebles —como carreteras, jardines o plazas— puedan ser designados como patrimonio cultural. No obstante, en virtud del artículo 15.º de la Ley n.º 107/2001, la designación como Patrimonio Mundial de la UNESCO conduce automáticamente a la clasificación del bien como monumento nacional en Portugal, lo que queda confirmado por el propio Decreto-Ley n.º 309/2009. El procedimiento de clasificación puede resultar en la categorización de edificios o lugares con distintos niveles de interés o relevancia cultural, siendo clasificados como bienes de interés nacional, público o municipal.

²⁴ <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/2009-75525223-75500441>

Cuando un inmueble es declarado Patrimonio Mundial, dicha designación equivale automáticamente a la clasificación como bien de interés nacional, con una zona especial de protección específica. Esta clasificación se publica en el *Diário da República*. Además de los edificios individuales, un conjunto de edificios o terrenos también puede ser declarado grupo patrimonial (conjunto o sitio), de acuerdo con las categorías establecidas por el derecho internacional.

Para los edificios y sitios protegidos, las solicitudes de renovación o rehabilitación deben ser evaluadas tanto por el ayuntamiento (Câmara Municipal), con base en los requisitos urbanísticos locales, como por la Dirección Regional de Cultura (DRC) — actualmente integrada en las Comisiones de Coordinación y Desarrollo Regional de la respectiva región—, así como por el Instituto Público Patrimonio Cultural, I.P.

La solicitud puede presentarse exclusivamente ante el ayuntamiento, que se encargará de remitirla al Patrimonio Cultural, I.P. para su evaluación, o bien el solicitante puede optar por presentarla simultáneamente ante ambas entidades.

Ambas instituciones deliberan de forma autónoma, lo que significa que una decisión favorable del municipio no condiciona la decisión del Instituto Público Patrimonio Cultural, I.P.

Zonas de Protección

La clasificación de un edificio puede influir en la implementación de soluciones debido a las restricciones impuestas para proteger su valor patrimonial. Adicionalmente, las zonas de protección (ZP) y el régimen legal correspondiente, establecido en el Decreto-Ley 309/2009, tienen el potencial de afectar cómo, y si, pueden implementarse soluciones de energía renovable.

Existen tres tipos de zonas especificadas en el Decreto-Ley 309/2009, divididas en tres categorías: Zonas de Protección Generales, Zonas de Protección Especiales Provisionales y Zonas de Protección Especiales.

Zonas de Protección Generales

Mientras un edificio o sitio se encuentra en proceso de clasificación, se establece una zona que se extiende 50 metros desde sus límites exteriores. Esta Zona de Protección (ZP) es la menos restrictiva de las tres, y el Decreto-Ley 309/2009 define que tales zonas constituyen servidumbres administrativas. Por tanto, no pueden concederse licencias por parte del ayuntamiento u otras entidades competentes para construcciones u obras que alteren la topografía, el alineamiento, la distribución de volúmenes, la cubierta o el revestimiento exterior de los edificios, sin una decisión previa favorable por parte de la administración competente en materia de patrimonio cultural.

Los efectos de esta zona de protección general son únicamente temporales, y se mantienen hasta que se asigne una zona de protección especial más adecuada al edificio o lugar en cuestión.

Zonas de Protección Especiales Provisionales

Esta Zona de Protección (ZP) funciona como una alternativa a la ZP General y puede aplicarse a edificios o sitios durante el proceso de clasificación cuando se considera que la zona general es insuficiente para garantizar su adecuada protección. La clasificación se mantiene vigente hasta que se asigne el estatuto de Zona de Protección Especial.

Estas zonas son definidas por la Dirección General del Patrimonio Cultural (DGPC) y poseen la amplitud necesaria para preservar el valor patrimonial del lugar. Esta categoría también puede aplicarse a zonas donde no se permite edificar (zonas non aedificandi).

Se trata de una protección temporal pero estricta, que puede ser revocada cuando dejen de verificarse los motivos que justificaron su aplicación.

Zonas de Protección Especiales

A diferencia de las demás zonas, la designación de Zona de Protección Especial (ZP Especial) no es temporal y se atribuye a inmuebles clasificados al amparo de la Ley del Patrimonio Cultural Portugués. El procedimiento que da origen a esta designación

puede ser solicitado por cualquier parte interesada o iniciado de oficio por la Dirección General del Patrimonio Cultural (DGPC), que define la zona en coordinación con el ayuntamiento correspondiente.

La ZP Especial posee dimensiones y restricciones adaptadas a cada caso, suficientes para garantizar una protección y valorización adecuadas del inmueble. Las limitaciones pueden incluir, entre otras:

- Restricciones o prohibiciones de construcción en determinadas zonas;
- Declaración de áreas como sensibles desde el punto de vista arqueológico, en las cuales solo se permiten intervenciones bajo procedimientos de salvaguarda;
- Prohibición de alteraciones en edificios o conjuntos que deban ser preservados;
- Establecimiento de condiciones relativas a la periodicidad de trabajos de conservación;
- Imposición de normas sobre publicidad en el área abrangida.

La ZP Especial tiene por finalidad preservar el paisaje circundante del inmueble desde todas las perspectivas desde las cuales pueda ser contemplado. Así, la zona especial puede incluir espacios verdes, como jardines o parques históricos, que sean relevantes para salvaguardar el contexto del edificio patrimonial. En estas zonas, no pueden concederse licencias para intervenciones sin una decisión favorable del Patrimonio Cultural, I.P., excepto cuando se trate exclusivamente de modificaciones interiores.

Las Zonas de Protección Especiales son, sin duda, las que mayor potencial tienen para generar barreras a la implementación de soluciones de producción de energía renovable, debido a su carácter permanente y a la especificidad de las restricciones impuestas. Cualquier solución, por tanto, deberá adaptarse cuidadosamente al inmueble en cuestión y respetar de forma rigurosa los condicionantes legales y técnicos aplicables.

Además, el Decreto-Ley 309/2009 prevé restricciones adicionales derivadas de la clasificación de un conjunto de propiedades como de interés cultural. Este mecanismo es distinto al de las ZP y conlleva implicaciones diferenciadas en cuanto a la aplicación de soluciones tecnológicas. En estos casos, se considera una zona más amplia como culturalmente relevante, sin que ello excluya que determinadas propiedades

individuales dentro del conjunto hayan recibido igualmente un estatuto específico de protección.

Restricciones aplicables al área de un sitio o conjunto

En el área delimitada de un sitio o conjunto, el Patrimonio Cultural, I.P., en colaboración con el ayuntamiento correspondiente, establecerá restricciones graduales relativas a: volumen; morfología; altura; colores del entorno exterior de los edificios; zonas donde no se permite edificar; zonas de sensibilidad arqueológica; edificios o conjuntos que deben ser preservados íntegramente; edificios o conjuntos que pueden ser objeto de intervenciones modificativas; aquellos que deben conservarse y los que están sujetos al régimen de obras previsto en el Decreto-Ley 140/2009.

Estas restricciones no difieren sustancialmente de las establecidas por las zonas de protección y presentan un grado similar de flexibilidad. Una de las clasificaciones mencionadas que presenta diferencias es la clasificación de un edificio como de interés municipal:

En primer lugar, la clasificación de un edificio o conjunto como de interés municipal es una competencia atribuida al municipio. No obstante, ello no excluye la participación del Patrimonio Cultural, I.P., que debe emitir un dictamen sobre la clasificación, siendo ambos responsables de la publicación de la decisión municipal.

En segundo lugar, aunque los edificios de interés municipal pueden contar con una zona de protección, esta solo se aplica si el órgano municipal competente lo decide, cuando los instrumentos de gestión territorial no son suficientes para garantizar la preservación del entorno en cuestión. Esta actuación tiene como objetivo asegurar la valorización del inmueble.

Otro posible obstáculo legal es el constituido por los Planes de Salvaguarda (Planes de Detalle de Salvaguarda), inicialmente previstos en el Decreto-Lei 380/99²⁵. Estos planes pueden abarcar tanto suelos urbanos como rurales. Establecen directrices estratégicas de actuación y normas de uso y ocupación del suelo y de los edificios, necesarias para

²⁵ <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/1999-34536475>

la conservación y valorización del patrimonio cultural existente en su ámbito de aplicación (por ejemplo, los centros históricos urbanos).

En este contexto, destacan especialmente las restricciones y efectos derivados de la clasificación del bien inmueble y de la zona de protección especial (como una zona de servidumbre non aedificandi), conforme a lo establecido en los arts. 106.º del RJIGT, 53.º de la Ley n.º 107/2001, de 8 de septiembre (modificada por la Ley n.º 36/2021, de 14 de junio), y arts. 36.º y siguientes del Decreto-Ley n.º 309/2009, de 23 de octubre (modificado por diversa legislación posterior).

Este plan es elaborado por el ayuntamiento, en cooperación con la Dirección General del Patrimonio Cultural (DGPC) y con la dirección regional de cultura territorialmente competente – art. 67.º del Decreto-Ley n.º 309/2009.

El conjunto de restricciones aplicables a las Zonas de Protección, a edificios o conjuntos de edificios, a bienes inmuebles de interés municipal, y a terrenos cubiertos por un Plan de Salvaguarda, impone principalmente limitaciones a las modificaciones de las partes exteriores de los edificios. Esto sugiere que dichas restricciones afectan principalmente a soluciones que alteren la estética exterior de los inmuebles.

Por último, la DGPC dispone también del SIPA – Sistema de Información para el Patrimonio Arquitectónico, un sistema de documentación e información sobre el patrimonio arquitectónico, urbanístico y paisajístico portugués, o de origen o influencia portuguesa. Este inventario está disponible en: <http://www.monumentos.gov.pt/>

Legislación portuguesa del sector energético y del autoconsumo

Aunque no constituye el foco central de este análisis, conviene señalar los principales documentos legislativos y reglamentarios que regulan el **licenciamiento e implementación de sistemas de autoconsumo de energías renovables en Portugal**. Entre ellos destacan:

- Decreto-Lei n.º 99/2024²⁶, que introduce modificaciones en el marco regulador aplicable a las energías renovables y ajusta el régimen jurídico del sector energético.
- Decreto-Lei n.º 15/2022²⁷, que establece la organización y funcionamiento del Sistema Eléctrico Nacional, transponiendo la Directiva (UE) 2019/944 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y la Directiva (UE) 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.
- Despacho n.º 1859/2025²⁸ de la Dirección General de Energía y Geología, que define los procedimientos que deben seguirse en la tramitación de solicitudes de licencias para instalaciones de almacenamiento de energía eléctrica.

La legislación portuguesa del sector energético no establece restricciones específicas a la aplicación de energías renovables en entornos patrimoniales protegidos. No obstante, el marco legal regula, encuadra y licencia estas instalaciones conforme a los mismos principios y requisitos aplicables a cualquier otra instalación de producción, almacenamiento o compartición de energía de origen renovable.

Regulación y legislación española

España cuenta con un marco legal amplio que regula diversos aspectos de su sociedad, incluyendo la protección ambiental, el patrimonio cultural y las energías renovables. Parte de la legislación más relevante incluye:

- Constitución Española: La Constitución establece la base del sistema jurídico del país, destacando la protección del patrimonio cultural y del medio ambiente. Reconoce el derecho a un entorno saludable y el deber de preservar los bienes históricos y culturales.

²⁶ <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/2024-898830539>

²⁷ <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/2022-177634029>

²⁸ https://www.observatoriodaenergia.pt/wp-content/uploads/2025/02/Despacho-n.%C2%BA-1859_2025-de-10-de-fevereiro.pdf

- Ley24/2013²⁹ del Sector Eléctrico: Esta ley fomenta el uso de fuentes de energía renovable, incluidos los sistemas fotovoltaicos. Define el marco regulador para la producción y el consumo de energía, con el objetivo de incrementar la sostenibilidad y reducir la dependencia de combustibles fósiles.
- Ley 16/1985³⁰ del Patrimonio Histórico Español: Fundamental para la protección del patrimonio cultural en España, esta normativa exige que cualquier modificación o instalación en zonas de relevancia histórica, como los sistemas fotovoltaicos, esté sujeta a una evaluación rigurosa para asegurar que no se comprometa el valor patrimonial del lugar.
- Legislación autonómica: Las comunidades autónomas de España disponen de normativas propias que pueden establecer requisitos adicionales para la integración de sistemas de energías renovables en áreas de interés cultural. Por ejemplo, regiones como Cataluña y Andalucía cuentan con directrices específicas que regulan los impactos estéticos y ambientales de estas instalaciones.
- Reglamentos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA): Antes de la instalación de sistemas fotovoltaicos, especialmente en zonas sensibles, suele ser preceptiva una EIA. Esta evaluación analiza los posibles efectos del proyecto sobre el medio ambiente y el patrimonio cultural, garantizando que se mitiguen los impactos negativos³¹.

El marco legal español se vuelve progresivamente más especializado y directamente aplicable a medida que se desciende al nivel local. No obstante, gran parte de las competencias locales no derivan directamente de la legislación nacional, sino de las disposiciones propias de las comunidades autónomas, en este caso, de Extremadura. Así, el sistema legal aplicable, por ejemplo, a los edificios pertenecientes al patrimonio cultural, se fundamenta en dos fuentes: la legislación nacional y la normativa

²⁹ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-13645>

³⁰ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1985-12534>

³¹ Elena, Lucchi. (2022). 3. Integration between photovoltaic systems and cultural heritage: A socio-technical comparison of international policies, design criteria, applications, and innovation developments. Energy Policy, doi: 10.1016/j.enpol.2022.113303

autonómica (Extremadura). Esta combinación da lugar a un sistema de protección del patrimonio construido que puede imponer requisitos específicos, alineados con su finalidad de conservación, a tener en cuenta en caso de modificaciones técnicas.

Ley del Patrimonio

Para identificar las principales dificultades al trabajar en un centro histórico urbano, es necesario comprender las características del marco legislativo español. La legislación urbanística presenta una notable complejidad, principalmente debido a la descentralización territorial (Estado, Comunidad Autónoma y municipio), a la complejidad de los procedimientos de aprobación normativa y a la actual distribución de competencias. Además, el hecho de estar afectado por la Ley de Protección del Patrimonio incrementa aún más dicha complejidad.

Estructura básica de las competencias:

- El uso del suelo y su regulación (competencia legislativa) corresponde al ámbito estatal, mediante la Ley del Suelo del Estado, que establece las bases generales.
- De acuerdo con la Constitución Española³² (Art. 148), entre las competencias exclusivas de las Comunidades Autónomas se incluyen el ordenamiento del territorio, el urbanismo y la vivienda. En este sentido, la Comunidad Autónoma de Extremadura es la autoridad competente para la aprobación de los Planes Generales de Ordenación Urbana (PGOU) de los municipios situados dentro de su territorio (competencias legislativas y ejecutivas).
- Los gobiernos locales (ayuntamientos) no disponen de competencias legislativas, pero desempeñan un papel destacado en la planificación y gestión urbanística, especialmente mediante los Planes Generales (PGOU) y otras figuras legales como los Planes Especiales de Protección.
- En materia de patrimonio, aunque existe una ley nacional que regula su protección, la responsabilidad de protección recae en las Comunidades

³² <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1978-31229>

Autónomas, que desarrollan y aplican su propia Ley de Protección del Patrimonio.

Esquema básico de la legislación urbanística y de protección del patrimonio, de España:

- Constitución: División de competencias, artículos 148 y 149
- Ley del Suelo Estatal
- o Ley de Economía Sostenible
- o Ley 16/1985 del Patrimonio Histórico Español (LPHE)
- o Catálogo del Patrimonio Comunidad Autónoma – Extremadura
 - Ley 16/2015³³, de 23 de abril, de 23 de abril, de prevención y calidad ambiental de la Comunidad Autónoma de Extremadura, los proyectos sometidos a evaluación ambiental deben considerar tanto los impactos ecológicos como los efectos sobre el patrimonio cultural, especialmente en zonas protegidas o en centros históricos.
 - Ley 11/2018³⁴, de 21 de diciembre, de ordenación territorial y urbanística sostenible de Extremadura, el desarrollo urbanístico debe llevarse a cabo conforme a criterios de sostenibilidad, integración paisajística y respeto al patrimonio cultural y ambiental.
 - Ley 2/1999³⁵, de 29 de marzo, de Patrimonio Histórico y Cultural de Extremadura, Establece el régimen jurídico de protección, conservación, promoción y transmisión del patrimonio histórico y cultural de Extremadura.

El **Plan Estratégico de las Ciudades Patrimonio Mundial de España** es un documento orientador que tiene como objetivo preservar, valorar y promover los sitios españoles reconocidos por la UNESCO como Patrimonio Mundial, integrándolos en el desarrollo sostenible de las comunidades locales. Este plan es elaborado por el Grupo de Ciudades Patrimonio de la Humanidad de

³³ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-5490>

³⁴ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2019-1790>

³⁵ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1999-13022>

España, una asociación que agrupa a las 15 ciudades españolas que poseen esta distinción³⁶. Las áreas de actuación del Plan incluyen: Conservación Urbana – implementar planes de gestión que integren el patrimonio en la dinámica de las ciudades contemporáneas, garantizando su protección y revitalización; Desarrollo Económico – promover proyectos que fomenten el comercio local, la artesanía y las actividades culturales vinculadas al patrimonio; Turismo Inteligente – adoptar tecnologías y estrategias que mejoren la experiencia de los visitantes, al tiempo que controlan el impacto ambiental y social del turismo; Innovación y Sostenibilidad – incorporar soluciones tecnológicas y ecológicas en la gestión de los sitios, como la eficiencia energética y la movilidad sostenible.

En su última versión, aprobada en noviembre de 2024, se destacan entre las prioridades principales el desarrollo de la sostenibilidad de estas ciudades, con el fin de adaptarse a los cambios climáticos y tecnológicos.

Comunidad de Extremadura

La normativa vigente en la Comunidad Autónoma de Extremadura sobre la integración de energías renovables en el patrimonio histórico se rige principalmente por la Ley 2/1999³⁷, de 29 de marzo, de Patrimonio Histórico y Cultural de Extremadura.

Esta ley establece lo siguiente:

- La Comunidad Autónoma de Extremadura tiene competencia exclusiva en materia de patrimonio cultural histórico de interés para la región.
- Los bienes más relevantes del Patrimonio Histórico y Cultural de Extremadura deben ser declarados de Interés Cultural.
- Cualquier intervención en bienes declarados de Interés Cultural, incluyendo la integración de energías renovables, requiere autorización previa de la Consejería competente en materia de patrimonio cultural.

³⁶ <https://merida.es/las-ciudades-patrimonio-de-la-humanidad-aprueban-el-nuevo-plan-estrategico/>

³⁷ <https://www.boe.es/buscar/pdf/1999/BOE-A-1999-13022-consolidado.pdf>

- Las entidades locales tienen la obligación de proteger, conservar, defender, realzar y difundir el alcance de los valores contenidos en los bienes integrantes del Patrimonio Histórico y Cultural situados en su territorio.
- En caso de urgencia, las entidades locales están facultadas para adoptar las medidas preventivas necesarias para salvaguardar dichos bienes si su existencia, conservación o integridad estuvieran amenazadas.

Aunque la ley no menciona específicamente la integración de energías renovables, cualquier modificación en bienes de interés cultural debe ser evaluada y autorizada por la administración competente, garantizando la preservación de los valores patrimoniales.

La Junta de Extremadura cuenta también con un inventario de Patrimonio Histórico y Cultural, donde bienes inmuebles o muebles pueden ser incluidos mediante solicitud. Este inventario está disponible a través del siguiente enlace: <https://www.juntaex.es/temas/turismo-y-cultura/patrimonio-cultural>.

Asociado a este catálogo, existe también un proceso para la declaración³⁸ de Bienes de Interés Cultural para bienes muebles, inmuebles y manifestaciones del patrimonio cultural inmaterial en Extremadura.

Las intervenciones promovidas en inmuebles o áreas protegidas (Bienes de Interés Cultural, Inventariados, edificios o elementos clasificados en la normativa urbanística, así como viviendas situadas dentro de los límites de un conjunto histórico que no disponga de un Plan Especial) requieren una solicitud de autorización³⁹, que debe realizarse ante la Consejería de Cultura, Turismo y Deporte de la Junta de Extremadura. Los Municipios de Extremadura no pueden conceder licencias de obra ni emitir actos equivalentes que permitan intervenciones de edificación y uso del suelo en inmuebles o espacios protegidos, sin obtener previamente la autorización de la Consejería competente en materia de protección del patrimonio cultural. Compete a los Municipios solicitar a la Dirección General de Bibliotecas, Archivos y Patrimonio Cultural

³⁸ <https://www.juntaex.es/w/5024>

³⁹ <https://www.juntaex.es/w/1249>

(Junta de Extremadura) la autorización mencionada, en el ámbito de la tramitación del proceso de concesión de licencia urbanística.

En los conjuntos históricos que dispongan de Plan Especial, los Municipios deberán comunicar a la Consejería competente en materia de protección del patrimonio cultural las licencias concedidas, siempre dentro del plazo legalmente establecido (10 días tras la concesión de la licencia).

Las Comisiones Provinciales de Patrimonio Histórico, una para la provincia de Cáceres y otra para la provincia de Badajoz, son órganos consultivos colegiados responsables de la evaluación de proyectos y propuestas de intervención presentados a la Dirección General de Bibliotecas, Archivos y Patrimonio Cultural para su aprobación. Su composición, funciones y funcionamiento están regulados en el Decreto 90/2001⁴⁰, de 13 de junio, modificado por el Decreto 191/2013⁴¹, de 15 de octubre.

En el caso de obras realizadas sin autorización o en disconformidad con el contenido de la autorización concedida, el Municipio o, cuando sea aplicable, la Consejería competente en materia de protección del patrimonio cultural exigirá al responsable de las mismas la restitución de los valores afectados, mediante acciones de demolición, reconstrucción y/o edificación. Estas intervenciones se realizarán a costa del infractor, en los términos previstos por la legislación urbanística y patrimonial.

El Régimen de comunicación previa⁴² al Municipio aplicable a las instalaciones de energías renovables de autoconsumo en Extremadura remite también a la Ley 11/2018.

Dentro de los instrumentos de control de la actividad urbanística previa a la ejecución de este tipo de instalaciones, la instalación de paneles solares sobre edificios y construcciones está sujeta a comunicación previa y no a licencia urbanística (a excepción de que representen un impacto sobre el patrimonio), tal como dispone el artículo 162 de la Ley 11/2018, de 21 de diciembre, de ordenación territorial y urbanística sostenible de Extremadura:

⁴⁰ <https://doe.juntaex.es/pdfs/doe/2001/710o/01040104.pdf>

⁴¹ <https://doe.juntaex.es/pdfs/doe/2013/2030o/13040215.pdf>

⁴² <https://doe.juntaex.es/pdfs/doe/2023/1440o/23IN0002.pdf>

"Están sujetos al régimen de comunicación previa al Municipio los actos de aprovechamiento y uso del suelo y los de obras de construcción, edificación, instalación y urbanización, no incluidos en el ámbito de aplicación del artículo 146 y, en particular, los siguientes:

(...)

j) La instalación de paneles solares sobre edificios y construcciones, así como los puntos de recarga de vehículos eléctricos, salvo si implican un impacto sobre el patrimonio histórico-artístico."

No obstante, la exención de obtener licencia urbanística para este tipo de instalaciones no exime, cuando sea aplicable, del pago del Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras (ICIO) y demás tasas administrativas que sean debidas.

Legislación española del sector energético y autoconsumo

Sin ser el foco de este documento, es importante, sin embargo, referir la legislación aplicable al sector energético, en particular en lo que respecta a los sistemas de energías renovables. No pretendiendo ser una lista exhaustiva, en el contexto estatal español se destacan:

- Le y 24/2013⁴³, de 26 de diciembre, que establece la regulación del sector eléctrico.
- Real Decreto- ley 15/2018⁴⁴, de 5 de octubre, por el que se definen medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.
- Real Decreto 244/2022, de 2 de agosto, por el que se regulan las condiciones administrativas, económicas y técnicas del autoconsumo de energía eléctrica.
- Real Decreto 1699/2011⁴⁵, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.

⁴³ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-13645>

⁴⁴ <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-13593>

⁴⁵ <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-19242>

- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

Se destacan en el contexto de la Comunidad de Extremadura:

- Decreto 179/2016⁴⁶, de 8 de noviembre, por el que se crea el Registro de instalaciones de producción de energía eléctrica de la Comunidad Autónoma de Extremadura y se establece el procedimiento de inscripción en el mismo.
- Resolución de 22 de julio de 2022⁴⁷, de la Dirección General de Energía y Minas, por la que se regulan los procedimientos de "Comunicación para la inscripción en el registro administrativo de autoconsumo de energía eléctrica" y "Respuesta de la empresa distribuidora a la solicitud de autoconsumo, de instalaciones conectadas en baja tensión y con potencia instalada menor o igual a 100 kW", se publican también los modelos de formularios y su disponibilidad para tramitación por medios electrónicos.
- Resolución de 30 de enero de 2023⁴⁸, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se hace pública la disponibilidad para tramitación por medios electrónicos del procedimiento de "Inscripción en el Registro de instalaciones de producción de energía eléctrica de la Comunidad Autónoma de Extremadura" y publica el modelo de formulario asociado a la tramitación.
- Instrucción 01/2020⁴⁹, sobre la tramitación de instalaciones aisladas y de autoconsumo en la Comunidad Autónoma de Extremadura.

La legislación española del sector energético no parece presentar restricciones a la utilización de fuentes de energías renovables en ambiente patrimonial protegido, pero enmarca, regula y licencia de la misma forma que para el resto de aplicaciones de fuentes renovables, de almacenamiento de energía o de intercambio de energía.

⁴⁶ <https://doe.juntaex.es/ultimosdoe/mostrardoe.php?fecha=20161114>

⁴⁷ <https://doe.juntaex.es/pdfs/doe/2022/1510o/22062412.pdf>

⁴⁸ <https://doe.juntaex.es/pdfs/doe/2023/330o/23060487.pdf>

⁴⁹ http://industriaextremadura.juntaex.es/kamino/attachments/article/14041/huella_Instruccion_01-2020_Autocosumo.pdf

2. Metodología

El proceso de diseño de sistemas solares en el sector del patrimonio implica una compleja cadena de valor con muchos actores, como arquitectos, ingenieros, consultores, productores fotovoltaicos y autoridades públicas y de patrimonio. Actualmente, este proceso de diseño de sistemas solares presenta algunas deficiencias en cuanto a metodologías de trabajo, intercambio de datos, pérdida de información, soluciones laboriosas y tiempo de diseño del sistema. Las herramientas de **Modelado de Información de Construcción (BIM)** y **Modelado de Información de Construcción para el Patrimonio (HBIM)** pueden ser de gran ayuda en este aspecto. La literatura⁵⁰ señala que una revisión bibliográfica y varios talleres realizados en Italia con autoridades de patrimonio, productores de sistemas fotovoltaicos y diseñadores, revelaron dos problemas principales: Falta de modelos BIM de tecnologías y componentes fotovoltaicos innovadores y falta de una metodología de toma de decisiones bien definida para integrar componentes fotovoltaicos en el proceso de diseño, que apoye su implementación en proyectos de renovación histórica.

Basándose en estas deficiencias, los autores⁵⁰ propusieron un flujo de trabajo de diseño colaborativo e interoperable basado en HBIM para la integración de tecnologías fotovoltaicas personalizadas en contextos históricos. Este método incorpora diferentes áreas de conocimiento de manera transdisciplinar: autoridades de patrimonio (conservadores, historiadores de arte y arquitectura, y restauradores), diseñadores (arquitectos, ingenieros de construcción y estructurales), y empresas de sistemas fotovoltaicos (ingenieros eléctricos y de energía, físicos y químicos). El flujo de trabajo basado en HBIM permite evaluar la integración fotovoltaica en edificios tradicionales y catalogados, destacando la necesidad de una intervención específica para evaluar la compatibilidad de la misma con la estructura histórica. Esto es crucial para preservar la identidad de los edificios individuales, así como el paisaje urbano histórico en su conjunto.

⁵⁰ Elena Lucchi, Rosa Agliata, HBIM-based workflow for the integration of advanced photovoltaic systems in historical buildings, Journal of Cultural Heritage, Volume 64, 2023, Pages 301-314, ISSN 1296-2074, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.10.015>

El objetivo de este método es que sea útil para el sector público, actuando como una herramienta de orientación operativa para simplificar la colaboración entre las partes interesadas en el proceso de toma de decisiones. Esto busca favorecer proyectos de rehabilitación energética que sean compatibles con la protección del patrimonio y los requisitos del edificio.

La metodología propuesta combina los enfoques típicos de la restauración arquitectónica (fase 1) y la representación y modelado paramétricos (fases 2 y 4) con un análisis detallado para la mejor elección punto por punto (fase 3). Los pasos metodológicos se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Investigación histórica e inspección in situ

Esta fase tiene como objetivo conocer, analizar y recopilar información sobre el edificio a través de múltiples fuentes:

(i) investigación histórica y archivística; (ii) análisis documental; y (iii) levantamiento de campo.

Los contextos históricos y el significado cultural del edificio se exploran a través de una investigación histórica y archivística completa, mediante el análisis de documentos, planos y políticas locales. Después de haber adquirido toda la documentación disponible de varias fuentes, se realiza una investigación de campo basada en escaneo láser y/o levantamiento geométrico, análisis visual y levantamiento fotográfico para detectar posibles discrepancias entre los documentos y el estado actual. El proceso analítico y los datos a recopilar sugeridos se presentan a continuación:

TIPO DE INVESTIGACIÓN	TIPO DE INVESTIGACIÓN	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Investigación histórica y archivística	Investigación histórica y archivística	Investigación histórica y archivística
		Edad del edificio y períodos de construcción
		Funciones históricas
		Alteraciones a lo largo del tiempo
Inventarios patrimoniales	Legislación relacionada con el patrimonio	Restricciones relacionadas con el patrimonio
Inventarios y repositorios locales		Historia del edificio
		Funciones anteriores
		Aspectos sociales y significados
Análisis documental	Plan Municipal de Ordenación del Territorio	Ubicación
		Uso del suelo
		Restricciones urbanísticas
Reglamento de construcción	Restricciones relacionadas con la construcción	Técnicas constructivas tradicionales
Dibujos en papel	(Planta, alzado y sección)	Funciones pasadas y actuales del edificio
Dibujos en CAD		Forma del edificio
		Planta del edificio
		Evolución histórica del edificio
		Volumen bruto
Herramientas web/digitales	GoogleMaps®	Ubicación
		Disposición del lugar y del vecindario
		Orientación solar
		Georreferenciación
		Altimetría
Investigación en el campo	Levantamiento geométrico y láser escáner	Forma del edificio
		Espesor de paredes y techos
		Edificios vecinos, entorno y obstáculos solares
Análisis visual		Materiales, técnicas constructivas y acabado
		Nivel de conservación
		Degradación a lo largo del tiempo
		Detalles constructivos
		Gestión y prácticas de conservación
		Sistemas mecánicos, eléctricos e hidráulicos (MEP)

Levantamiento fotográfico		Registro de datos visuales Export to Sheets
---------------------------	--	--

Tabla 1 – Processo de Metodologia

2. Construcción del modelo HBIM

Los datos recopilados se utilizan para construir el modelo HBIM del edificio empleando un software BIM, incluyendo eventualmente una función de georreferenciación de la instalación. En el diseño y modelado BIM, el nivel de desarrollo representa el grado de detalle de un elemento arquitectónico o de un modelo de edificio completo. Aunque la definición de los niveles de desarrollo es específica de cada país, el sistema de clasificación es similar en todas las normas.

El acrónimo LOD significa "Level Of Development" (Nivel de Desarrollo) y se refiere al nivel de desarrollo detallado de los atributos geométricos de los objetos (LOG), así como de los atributos de información (LOI) de un modelo de edificio o de un elemento arquitectónico. El LOD de un modelo HBIM depende de muchos factores, como el objetivo para el cual se crea el modelo, la escala de la representación y algunas incertidumbres inherentes a las fases de investigación y representación. La primera fuente de incertidumbre es la información fragmentada generada por una baja precisión resultante de la investigación de campo (por ejemplo, la imposibilidad de inspeccionar con precisión la estratigrafía detallada de losas y paredes). La incertidumbre en la fase de renderización está relacionada con los objetos HBIM disponibles en las bibliotecas, que pueden no corresponder con los objetos reales, impidiendo un modelado adecuado. En este caso, el elemento de construcción debe ser modelado desde cero, o modificando un objeto existente. El diseñador es responsable de estos aspectos, por lo que el modelo HBIM resultante está influenciado por su interpretación y sensibilidad.

Debido a las incertidumbres descritas, el LOD de un modelo HBIM puede variar dentro del propio modelo para diferentes objetos. A modo de ejemplo, para proyectos de restauración, la norma italiana (UNI 11.337:4) define un LOD no inferior al modelo "as built". En caso contrario, no existen especificaciones de LOD para proyectos fotovoltaicos y BIPV, y el elemento fotovoltaico es considerado un "generador de

energía genérico". Esto significa que el contenido arquitectónico e informativo de un componente fotovoltaico/BIPV es ignorado, ya que se considera solo como un símbolo que indica una producción eléctrica.

A modo de ejemplo, referencias en la literatura modelaron los elementos Fotovoltaicos/BIPV como objetos arquitectónicos BIM, teniendo también en cuenta el contenido geométrico (por ejemplo, forma, color, dimensiones, etc.) e informativo (por ejemplo, capacidad de producción, disposición de las celdas, otros), para evaluar su impacto cuando se aplican a edificios históricos.

A título de ejemplo, referencias en la literatura⁵⁰ modelaron los elementos Fotovoltaicos/BIPV como objetos arquitectónicos BIM, teniendo también en cuenta el contenido geométrico (por ejemplo, forma, color, dimensiones, etc.) e informativo (por ejemplo, capacidad de producción, disposición de las células, otros), para evaluar su impacto cuando se aplican a edificios históricos.

3. Selección de intervenciones y componentes fotovoltaicos compatibles con el patrimonio

La integración de la energía fotovoltaica en edificios históricos es un tema complejo, donde se pueden evaluar diferentes intervenciones de acuerdo con las recomendaciones de directrices internacionales, proyectos de investigación y literatura científica. Por lo general, la definición de las intervenciones más adecuadas resulta de procesos de codiseño en una fase inicial entre los diseñadores y la Autoridad local de Patrimonio. Estos procesos consideran los criterios generales como: compatibilidad, intervención mínima, reversibilidad, distinguibilidad, autenticidad expresiva, durabilidad y respeto por la materialidad original. Para ayudar en el proceso de selección de intervenciones fotovoltaicas compatibles con el patrimonio, se proponen los siguientes pasos para apoyar el proceso decisorio:

- Clasificación del edificio en elementos constructivos.
- Definición de posibles intervenciones y tecnologías fotovoltaicas.
- Evaluación de las intervenciones fotovoltaicas compatibles con el patrimonio a través de discusión con la Autoridad de Patrimonio local.

- Evaluación de los riesgos y beneficios de cada intervención fotovoltaica.

En el caso de estudio analizado por los autores⁵⁰, el edificio se clasifica en elementos constructivos con base en el "enfoque de agrupación combinatoria" definido por la norma italiana UNI 8290-1. A continuación, se define para cada "clase de elemento técnico" la gama más amplia posible de intervenciones y tecnologías fotovoltaicas, considerando sistemas anexos e integrados, así como tecnologías convencionales e innovadoras. Las tecnologías fotovoltaicas pueden identificarse de acuerdo con los proyectos de investigación, estudios de caso y premios relativos a la integración fotovoltaica en edificios históricos. Este listado comprende 24 posibles intervenciones fotovoltaicas.

Clase de la unidad tecnológica	Unidad tecnológica	Clase del elemento técnico	Enfoque fotovoltaico	Tecnología fotovoltaica	Número de intervención fotovoltaica	
Estructura	Estructura	Forjado	-	-	-	
		Elevación	-	-	-	
		Muro de contención	-	-	-	
Envolvente del edificio	Vertical	Fachada	Externa	BAPV	Polycrystalline opaque	
			BIPV	Hidden-colored, coated, printed	2	
			Interna	BAPV	Polycrystalline opaque	
				BIPV	Hidden-colored, coated, printed	4
		Ventana vertical	BAPV	Semi-transparent	5	
	Horizontal (inferior)	Sótano	-	-	-	
			Ventana horizontal	BAPV	Semi-transparent	6
			Pavimento	BAPV	Walkable	7
		Ventana horizontal	-	-	-	
Horizontal (superior)	Tejado	Plano	BAPV	Polycrystalline opaque		
		BIPV	Hidden-colored	9		

		Inclinado	BAPV	Polycrystalline opaque	10
				Blu-red PV tiles	11
			BIPV	Hidden-colored	12
				Terracotta PV tiles	13
		Claraboya	BIPV	Semi-transparent	14
Divisoria interna	Vertical	Divisoria	-	-	-
	Horizontal	Techo	-	-	-
	Inclinada	Escalera/tramo	-	-	-
Divisoria externa	Vertical	Sombreado solar	BAPV	Polycrystalline opaque	15
			BIPV	Semi-transparent	16
		Barandilla, pasamanos y antepecho	BAPV	Polycrystalline opaque	17
			BIPV	Semi-transparent	18
		Ascensor	BAPV	Polycrystalline opaque	19
			BIPV	Hidden-colored, coated, printed	20
	Horizontal	Balcón	-	-	-
		Cubierta	BAPV	Polycrystalline opaque	21
			BIPV	Semi-transparent	22
	Vertical y horizontal	Invernadero	BAPV	Polycrystalline opaque	23
			BIPV	Semi-transparent	24
	Inclinada	Escaleras	-	-	-
		Tramo	-	-	-
Nota: "-" = intervención técnicamente inviable					

Tabla 2 – listado de intervenciones fotovoltaicas posibles

La selección de las intervenciones fotovoltaicas compatibles con el patrimonio debe ser aprobada por las Autoridades competentes (véase la sección anterior sobre legislación y reglamentación), con el fin de preservar los valores patrimoniales, el aspecto visual y material de las características tradicionales de forma coherente con los niveles de conservación del edificio.

Para este fin, sugieren el esquema de riesgo-beneficio elaborado por la Task 59⁵¹ e la Agencia Internacional de Energía (AIE) para evaluar cuidadosamente la compatibilidad con el patrimonio de paneles fotovoltaicos comerciales en edificios tradicionales e históricos. Este esquema se basa en la evaluación de:

(i) importancia patrimonial del edificio y de su entorno; (ii) compatibilidad técnica; (iii) viabilidad económica; (iv) energía; y (v) impacto del sistema fotovoltaico en el ambiente exterior.

Una evaluación preliminar requiere la optimización de la producción de energía, identificando las mejores orientaciones y ángulos de inclinación. La evaluación siguiente debe efectuarse solo en las áreas con elevado potencial energético. La importancia patrimonial se refiere a los impactos materiales, visuales y espaciales del sistema fotovoltaico en las características patrimoniales, generando, respectivamente, alteraciones físicas de los materiales originales, visibilidad fotovoltaica y alteraciones de la relación geométrica entre los paneles fotovoltaicos y los elementos de construcción. La compatibilidad técnica evalúa los riesgos higrotérmicos, estructurales y eléctricos, así como la reversibilidad de los sistemas de fijación, el diseño y las cuestiones de mantenimiento. A continuación, la viabilidad económica evalúa los costos directos, operativos y de mantenimiento, así como el retorno económico y los ahorros de los diferentes paneles fotovoltaicos. La energía considera la producción de energía y la energía operacional de los paneles fotovoltaicos. Finalmente, el impacto en el ambiente exterior evalúa la sostenibilidad del sistema FV, en términos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y de recursos naturales.

⁵¹ <https://task59.iea-shc.org/>

4. Modelado de los componentes fotovoltaicos seleccionados

Los componentes fotovoltaicos elegidos con el apoyo de la autoridad local de patrimonio se modelan en el entorno BIM con el mínimo **Nivel de Desarrollo (LOD)** posible en la fase de diseño. Se pueden seleccionar varias estrategias de modelado dependiendo del tipo de componente a procesar. Para mayor precisión, además de las hojas de datos, se pueden realizar consultas con los fabricantes de energía fotovoltaica para crear diseños específicos para las intervenciones fotovoltaicas. Los componentes fotovoltaicos modelados se integran en el **modelo HBIM** para generar un modelo de posibles intervenciones. En esta fase, el posible impacto de la intervención proyectada puede evaluarse visualmente utilizando herramientas de renderizado en tiempo real y fotográfico. Cuanto mayor sea el LOD y la precisión del modelo, más realistas y representativos serán los resultados.

La metodología propuesta en la literatura se puede representar con el siguiente flujograma:

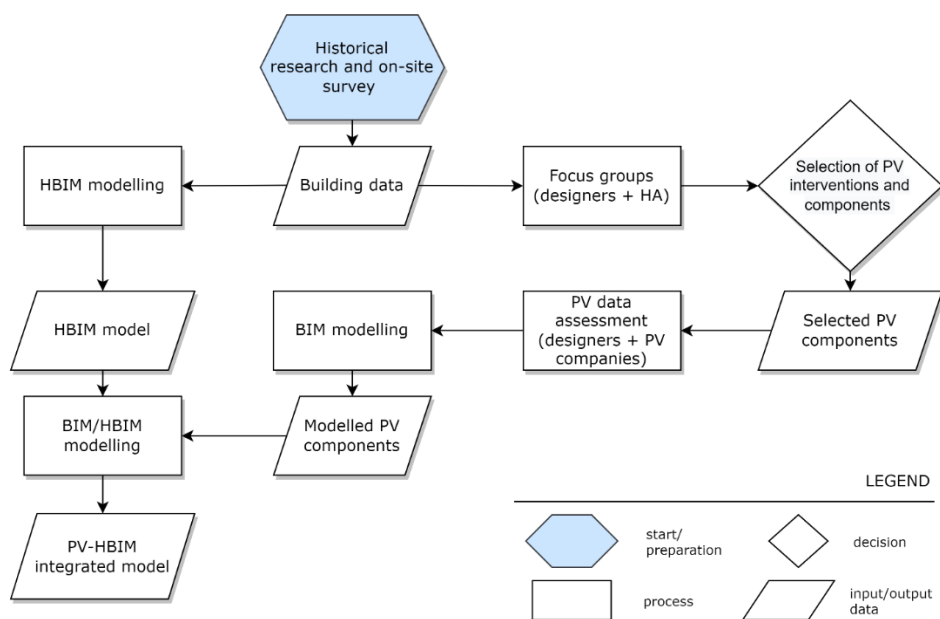


Figura 1: Flujograma de la metodología propuesta

2.1 Selección de casos de estudio

La selección de los casos de estudio se debe realizar con base en criterios específicos que garantizan la relevancia y representatividad de los entornos patrimoniales analizados. Estos criterios incluyen:

- **Relevancia cultural e histórica:** Elección de patrimonios protegidos que ejemplifiquen diferentes estilos arquitectónicos y contextos históricos.
- **Características técnicas:** Disponibilidad de áreas adecuadas para la instalación de sistemas renovables, como tejados, fachadas o terrenos adyacentes.
- **Viabilidad normativa:** Inclusión de patrimonios situados en regiones con regulaciones claras y aplicables a la integración de energías renovables.

La selección final implicó un análisis detallado de los registros y catálogos de patrimonio cultural disponibles a nivel local, regional y nacional, así como consultas con autoridades locales responsables de la gestión y preservación del patrimonio.

2.2 Soluciones Técnicas

La integración de generadores eólicos en edificios patrimoniales o catalogados no se aborda debido a las diversas desventajas asociadas a esta tecnología en dichos contextos. En primer lugar, la instalación de turbinas eólicas en edificios históricos puede comprometer la integridad estructural y estética, entrando en conflicto con los requisitos de preservación arquitectónica. Además, el impacto visual significativo de estas estructuras puede alterar la identidad y el valor patrimonial de los edificios. Desde el punto de vista técnico, la eficiencia de las turbinas eólicas en entornos urbanos o construidos a menudo se reduce debido a la turbulencia del viento causada por la proximidad de otras construcciones, lo que resulta en menor producción de energía y mayor desgaste mecánico. Por ejemplo, la instalación de una turbina eólica en un edificio histórico de un centro urbano, como una catedral o un palacio catalogado, podría enfrentar una fuerte oposición debido al impacto visual y sonoro, la propagación de vibraciones que podrían influir en la degradación de la estructura,

además de posibles restricciones legales impuestas por las autoridades de conservación del patrimonio.

Como alternativa, este estudio se centra en la integración de soluciones de energía solar fotovoltaica, que presentan diversas ventajas, como la posibilidad de aplicación en tejados, fachadas o ventanas sin comprometer la estética y la estructura del edificio, su operación silenciosa y la facilidad de adaptación a las exigencias de la conservación patrimonial. El concepto de **BIPV (Building Integrated Photovoltaics)** puede organizarse según las siguientes clasificaciones principales:

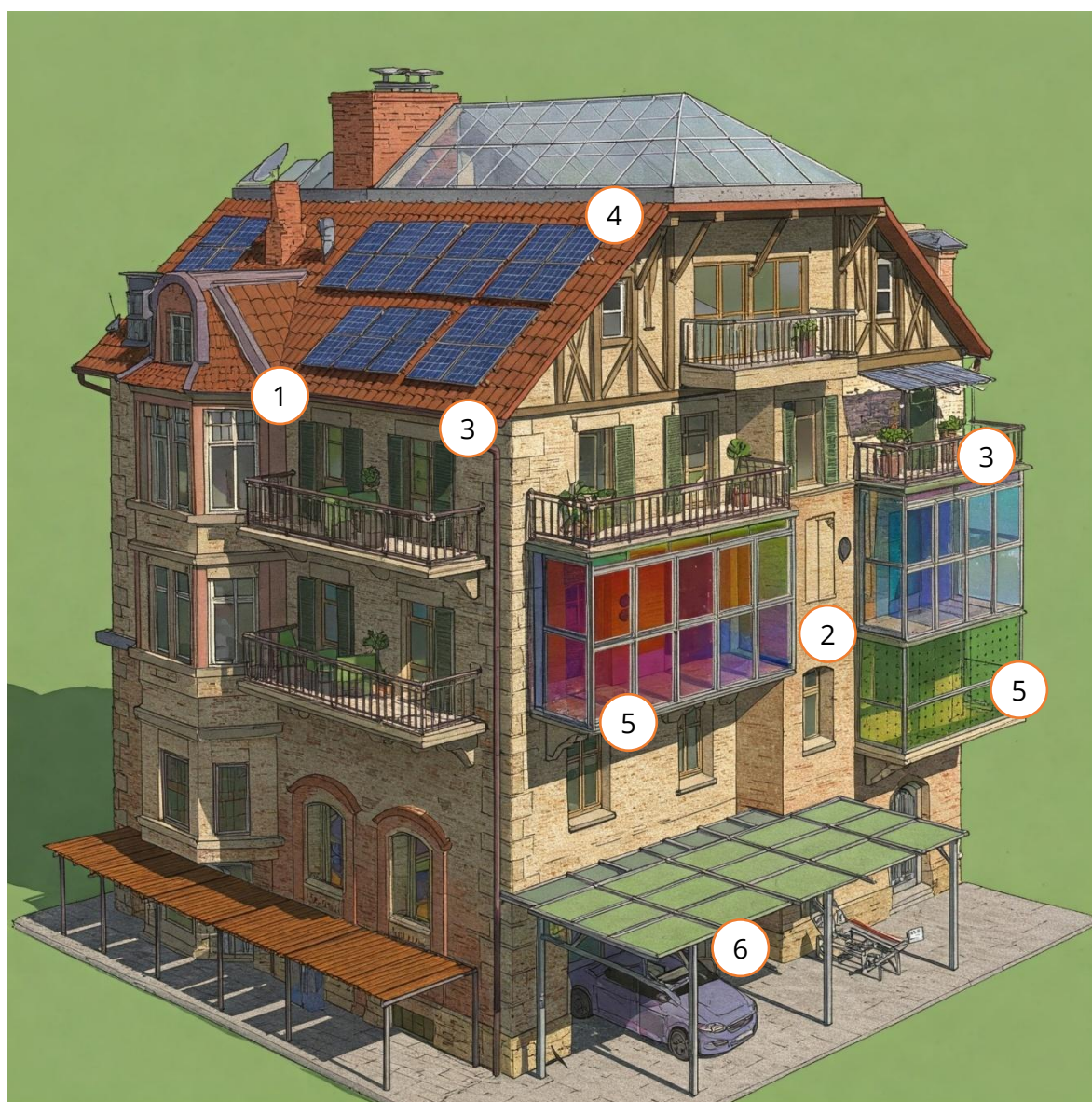


Figura 2: Imagen ejemplificativa de la integración de las diversas soluciones técnicas: 1. Cubiertas discontinuas; 2. Fachadas ventiladas; 3. Dispositivos externos integrados; 4. Claraboyas; 5. Cortinas de vidrio; 6. Sistemas prefabricados.

Coberturas discontinuas (1) Consisten en tejados inclinados con elementos superpuestos (como tejas o pizarras) que garantizan la estanqueidad al agua. Estas cubiertas facilitan la integración fotovoltaica debido a la orientación ideal de las superficies y a la sencillez en la instalación.



Figura 3: Tejado solar, fuente: 3S Swiss Solar Solutions



Figura 4: Tejado solar: fuente: Sunage



Figura 5: Teja fotovoltaica, fuente: CMÉvora



Figura 6: Tipologías de tejas fotovoltaicas, fuente: Dyaqua

Rainscreen (fachadas ventiladas) (2): Compuestas por una subestructura de soporte, una capa de aire y un revestimiento exterior. Los elementos fotovoltaicos se integran de forma similar a fachadas convencionales, permitiendo la disipación de calor en verano gracias a la ventilación natural.

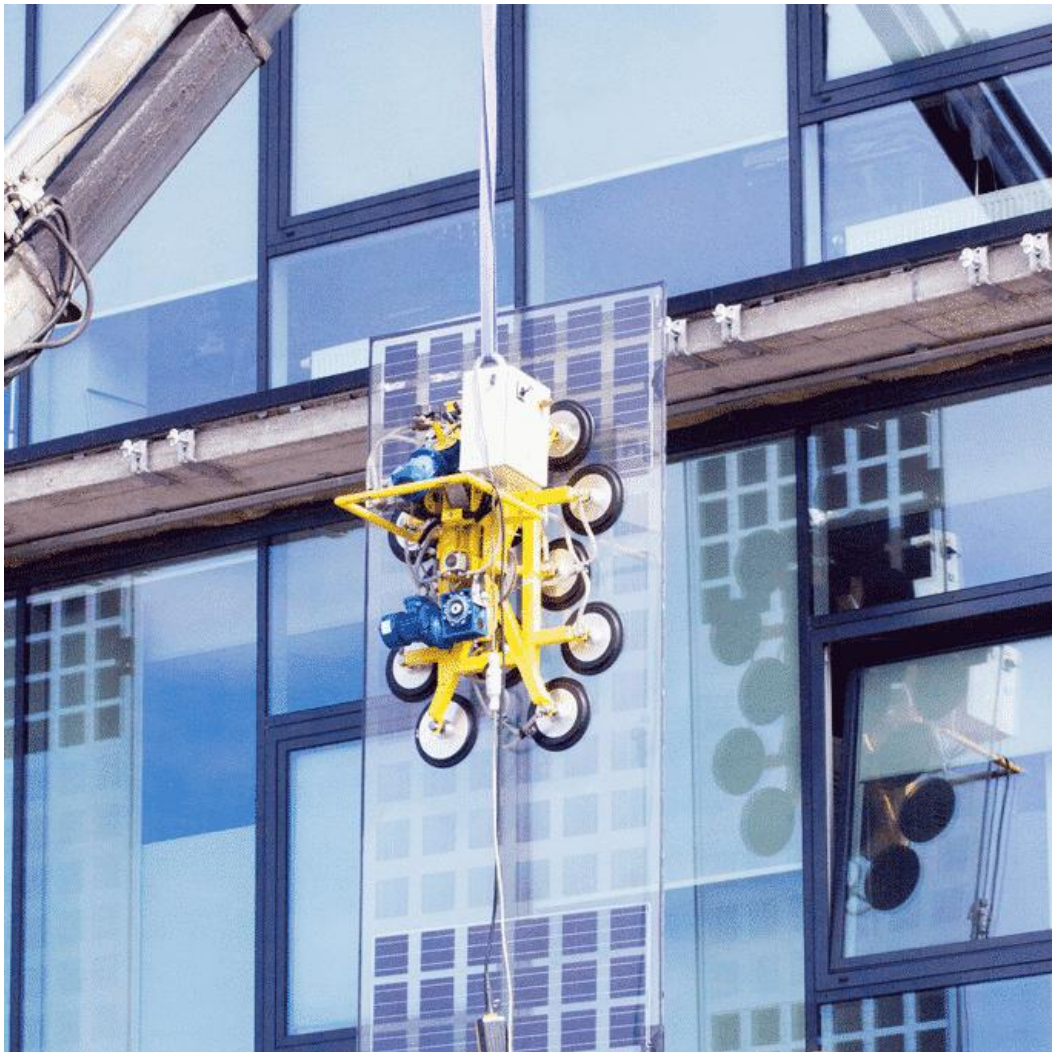


Figura 7: Instalación de fachada ventilada, fuente: Metsolar



Figura 8: Fachada de módulos fotovoltaicos blancos, fuente: Solaxess

Dispositivos externos integrados (3): Incluyen dispositivos multifuncionales para sombreado solar (opacos o transparentes), como persianas en fachadas o antepechos, diseñados para protección solar y seguridad estructural.

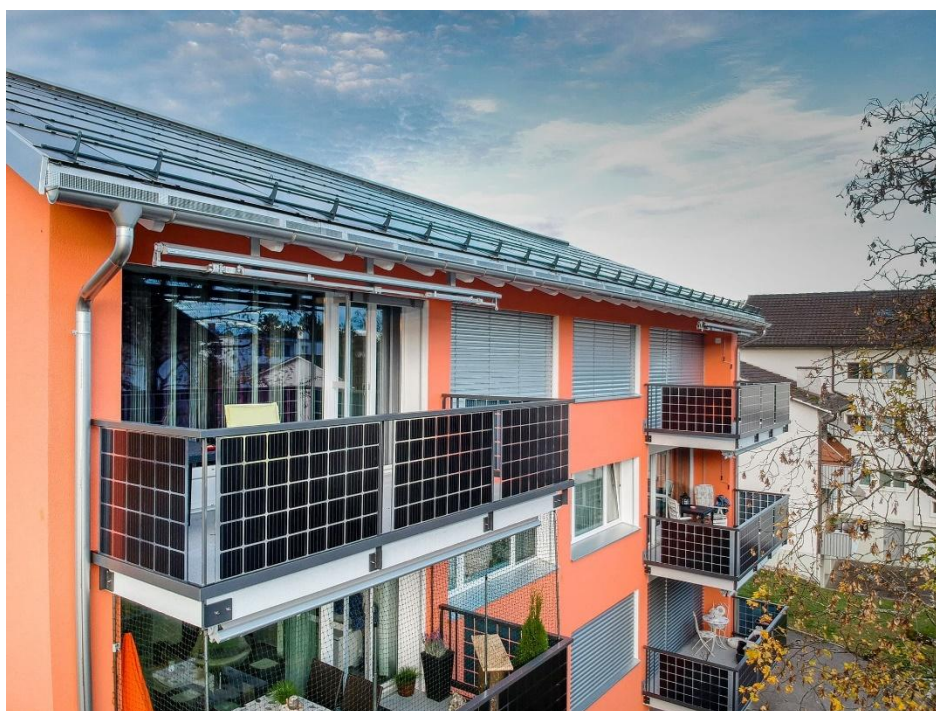


Figura 9: parapeto solar, fuente: 3S Swiss Solar Solutions

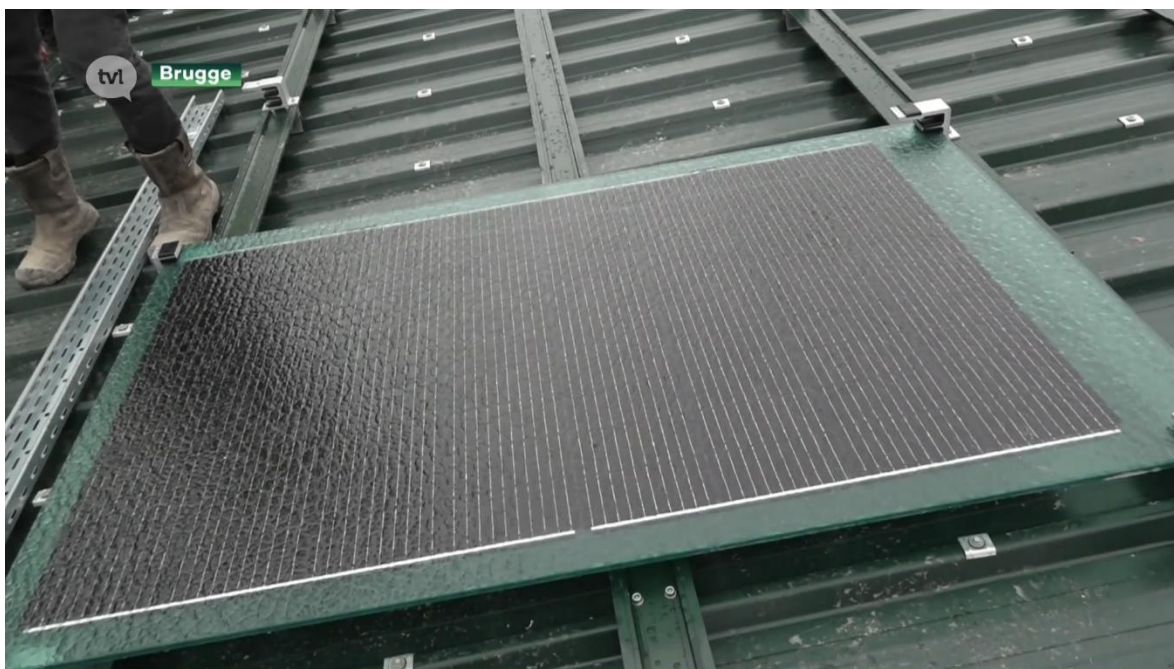


Figura 10: Elementos fotovoltaicos sobre tejado, fuente: Soltech

Claraboyas (Skylights) (4): Elementos translúcidos que cubren tejados, permitiendo la entrada de luz natural. Tienen funciones adicionales de aislamiento térmico, acústico e impermeabilización, siendo útiles tanto para espacios interiores como exteriores.

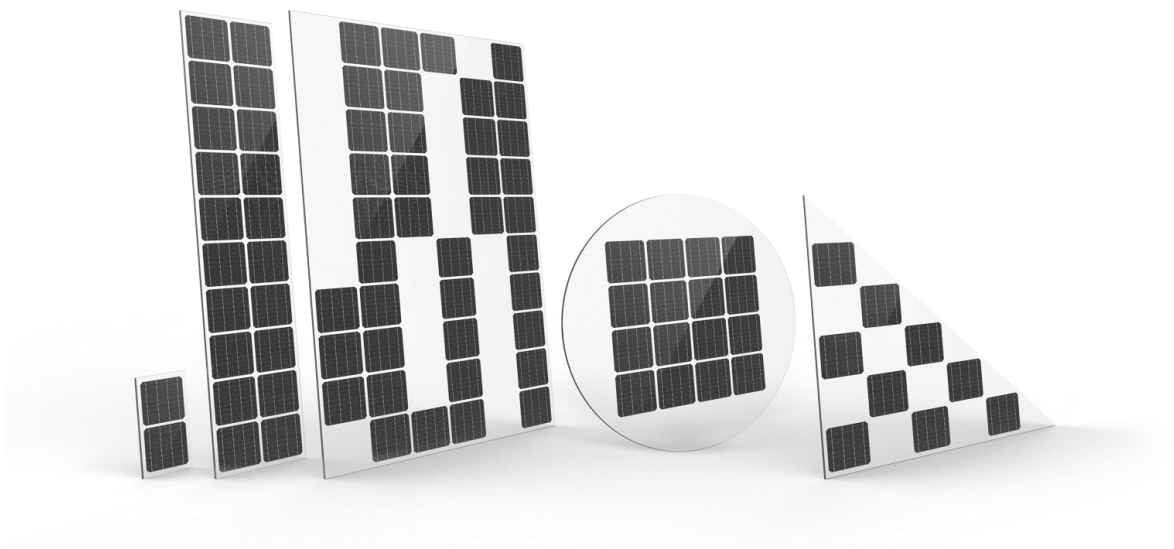


Figura 11: Módulos de claraboya personalizados, Fuente: Metsolar

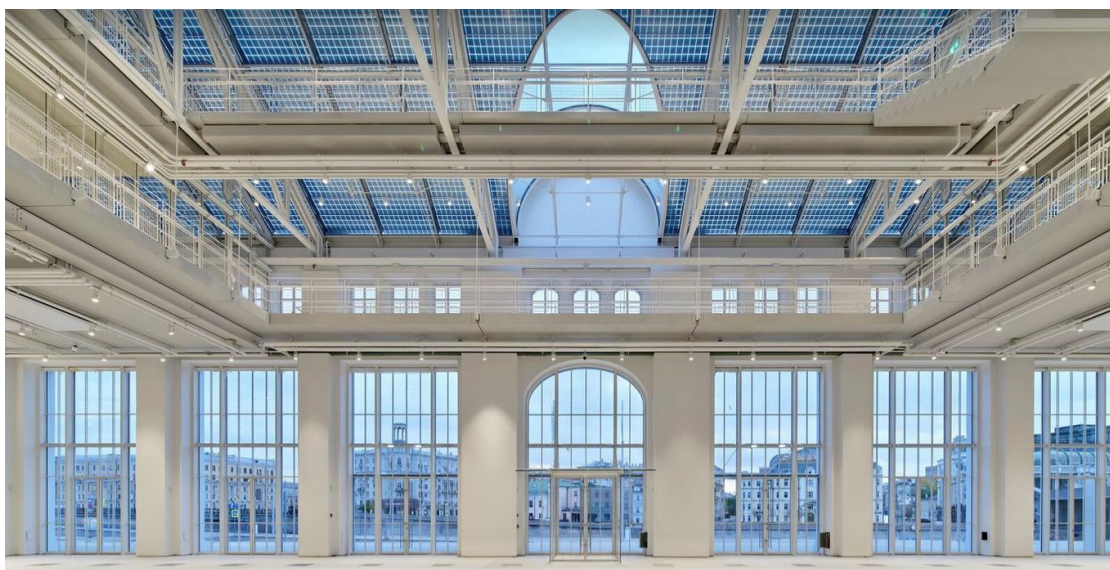


Figura 12: Claraboya fotovoltaica, fuente: Sunovation

Cortinas de vidrio (Curtain Walls) (5): Son fachadas continuas y no ventiladas, compuestas por paneles fijados a una subestructura. Estos sistemas garantizan aislamiento térmico y acústico, resistencia a infiltraciones y transmisión de luz, siendo frecuentemente utilizados en diseños modernos de fachadas.

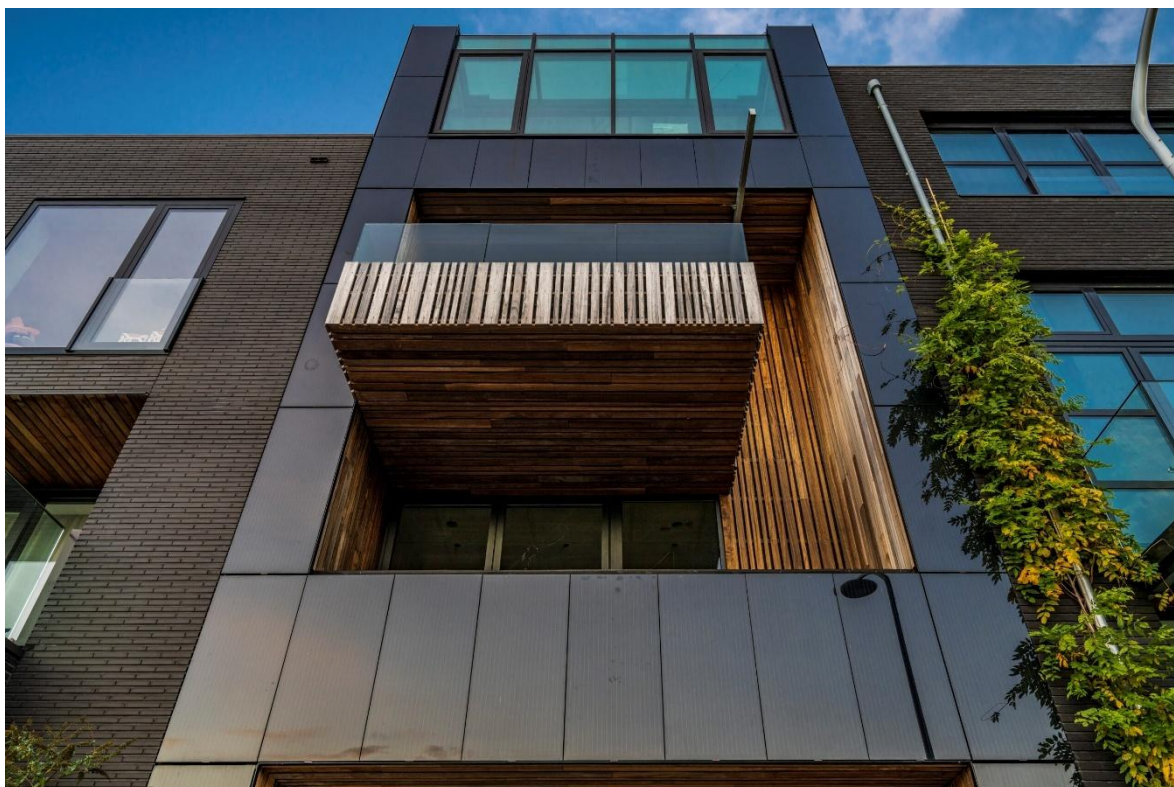


Figura 13: Fachada fotovoltaica, fuente: Hermans Technisolar



Figura 14: Fachada fotovoltaica transparente, fuente: Onyx Solar

En las categorías de aplicaciones para fachadas, se pueden encontrar productos con una multiplicidad de colores (desde negro hasta blanco puro), de texturas (impresa en el vidrio) y acabados de la superficie y/o niveles de transparencia del producto.



Figura 15: Ejemplo de colores disponibles en un fabricante, fuente: Sunovation

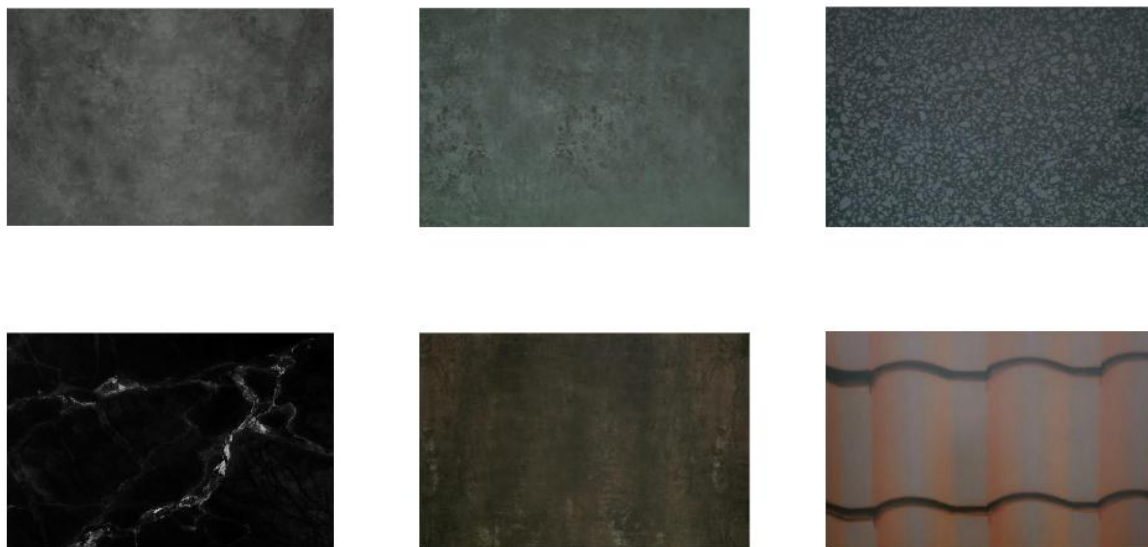


Figura 16: Ejemplo de texturas impresas, fuente: Sunage

Sistemas prefabricados (6): Elementos unitarios y multifuncionales, premontados, que integran revestimiento fotovoltaico y estructura de soporte. Estos sistemas ofrecen eficiencia en los procesos de instalación y en la gestión de costos y calidad.

Estos sistemas fueron diseñados para combinar funcionalidades arquitectónicas con la generación de energía, promoviendo la eficiencia energética y la sostenibilidad en el sector de la construcción⁵².

⁵² SUPSI (2024), Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders, Switzerland.



Figura 17: Sombreado de patio, fuente: Aleo Solar



Figura 18: Pavimento fotovoltaico, fuente: ONYX Solar



Figura 19: Banco de exterior fotovoltaico, fuente: Metsolar

Requisitos de productos BIPV

Los requisitos para desarrollar un proyecto exitoso en un entorno construido protegido pueden/deben ser múltiples; sin embargo, algunos de ellos deben considerarse centrales para su desarrollo. Se recomienda que estos sean siempre evaluados en el desarrollo de un proyecto de integración en contexto patrimonial, tal como se define en el ámbito de este estudio.

Son los siguientes:

1. Estética

La estética de los productos BIPV es un requisito clave. Los parámetros que definen la estética son:

- Color y percepciones visuales;
- Formas;
- Flexibilidad de dimensión;
- Formatos;

- Soluciones para no expertos;
- Textura del material;
- Capacidad de personalización;
- Flexibilidad de diseño y personalización;
- Integración en el diseño global de la envolvente del edificio;
- Para IGU (Unidades de Vidrio Aislante) – factores de compactación, patrones de sombreado en el edificio y transparencia de la unidad.

2. Costo

La determinación de un costo aceptable por los clientes finales o promotores del proyecto está influenciada por factores y requisitos complejos y frecuentemente interconectados. De esta forma, el proceso de toma de decisiones sobre lo que constituye un costo aceptable es complejo y multifacético. Algunos indicadores clave económicos específicos que pueden utilizarse como factores decisivos incluyen:

- Costo de inversión por área [€/m²] para aplicaciones de vidrio BIPV (fachadas, revestimiento de fachadas, etc.) o tejados.
- Costo por potencia instalada [€/Wp].
- ROI – Periodo de Retorno de la Inversión [años].
- Costo de mantenimiento por área [€/m²/año].
- Tasa interna de retorno de la inversión [%].
- LCoE - Costo nivelado de la electricidad producida [€/kWh].

3. Certificación, requisitos de códigos y normas

El cumplimiento de las regulaciones relacionadas con las normas de construcción, como el uso de vidrio de seguridad y otros requisitos, es obligatorio. La regulación de integración en patrimonio incluye frecuentemente restricciones de ámbito estético o impacto visual, remitiendo al requisito n.º 1.

4. Durabilidad y calidad

Este requisito es, esencialmente, una conclusión de la conformidad funcional y estructural con las normas, reflejando la expectativa de que los productos BIPV presenten durabilidad adecuada, estabilidad mecánica, resistencia a los UV, calidad de adhesión y una vida útil comparable a la de los materiales de construcción tradicionales, o al menos superior a 15 años. Su durabilidad se relaciona directamente con el requisito n.º 14 Garantías.

5. Fichas de especificaciones, soporte técnico y formación

Este grupo de requisitos abarca esencialmente la necesidad de la cadena de valor de la construcción de obtener, de forma fácil y accesible, toda la información necesaria sobre el producto BIPV en cualquier fase del proyecto. Los aspectos mencionados incluyen datos técnicos del producto, como fichas técnicas o de especificaciones, instrucciones de montaje y folletos detallados, que puedan ser validados a lo largo de la cadena de valor de la construcción. Además, se destaca la importancia de la integración de estos datos en plataformas colaborativas de diseño estándar, la disponibilidad rápida de muestras y un alto nivel de soporte técnico y de formación al instalador.

6. Seguridad eléctrica y contra incendios

La seguridad, un parámetro crítico dentro de la conformidad con el Código en vigor en cada país, se destaca intencionadamente debido a la importancia significativa dada por los clientes finales o promotores a la seguridad contra incendios y a la seguridad eléctrica en productos BIPV. La complejidad de las normas de seguridad contra incendios (regulaciones locales) plantea numerosas cuestiones por parte de los promotores de proyectos y clientes, exigiendo una atención dedicada como un requisito aparte.

Los requisitos de seguridad contra incendios y seguridad eléctrica deben abordarse en cualquier producto BIPV. De hecho, la seguridad de los módulos está cubierta por las normas IEC. Sin embargo, arquitectos, ingenieros de fachadas y otros

intervinientes involucrados en la gestión de riesgo en proyectos de construcción tienden a ser particularmente cautelosos con materiales con los que no tienen experiencia.

Los productos BIPV continúan siendo una solución de nicho, por lo que la educación, la claridad y un soporte técnico de alto nivel son fundamentales al tratar con partes interesadas inexpertas en un proyecto de construcción/remodelación. Esto es esencial para proporcionar el apoyo necesario en la eliminación de los riesgos reales y "percibidos" asociados a la naturaleza de los productos BIPV.

7. Eficiencia

La eficiencia eléctrica de productos BIPV se define de forma normalizada (normas IEC) y permite comparar productos en cuanto a su rendimiento de generación de electricidad, lo que impacta directamente en algunos indicadores de costo (Requisito n.º 2).

8. Performance funcional

Los principales requisitos funcionales deben ser adecuados a la aplicación final y su contexto y pueden incluir parámetros como un rendimiento térmico adecuado, estanqueidad al agua, resistencia a cargas mecánicas, ventilación, propiedades antirreflejo y transparencia.

9. Compatibilidad con materiales habituales

Estos requisitos pueden incluir la necesidad de simplicidad, compatibilidad, facilidad de montaje, comportamiento similar a un material de construcción convencional o existente, instalación por mano de obra con calificación estándar y definiciones claras de responsabilidades durante la instalación. Debe considerarse la interacción a medio-largo plazo de estos productos con el elemento envolvente en lo que respecta, por ejemplo, a la lixiviación de potenciales contaminantes, corrosión galvánica, nuevos perfiles de escorrentía de aguas pluviales, etc.

10. Performance estructural y de montaje

Este grupo de requisitos se destaca por la importancia de la capacidad del producto de ser fácilmente montado sin imponer responsabilidades adicionales o tareas suplementarias.

11. Sostenibilidad

Este parámetro se revela importante debido a la necesidad de alcanzar un rápido período de retorno de emisiones de carbono de esta integración de energías renovables y su análisis de ciclo de vida. Al final de su vida útil, es importante considerar la reciclabilidad de los sistemas introducidos.

12. Logística

Este requisito abarca la necesidad de garantizar la calidad en el transporte y prevenir daños durante el proceso de entrega, asegurando, sobre todo, plazos de entrega adecuados y aceptables para el proyecto en cuestión. Frecuentemente, al ser productos personalizados para la aplicación final, son de producción en pequeños lotes, con una duración añadida.

13. Mantenimiento y sustitución

Las necesidades de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, así como la necesidad de obtener piezas de sustitución o de stock para el producto instalado, deben constituir uno de los requisitos a evaluar en la fase de selección y diseño del proyecto.

14. Garantías

Los requisitos en lo que respecta a garantías sobre el sistema deben ser salvaguardados y previstos. Las garantías aceptables varían según el mercado y el marco legal del proyecto (por ejemplo, concurso público o reglas de contratación pública) y generalmente se aprueban con base en las condiciones estándar de garantía de los materiales de construcción locales. Los módulos fotovoltaicos

tradicionales gozan de una garantía de potencia mínima de 25 años (algunos fabricantes ofrecen ya 30, o más, años) y garantía sobre defectos de 10 años. Estos plazos pueden utilizarse como referencias para aplicaciones BIPV.

15. Soluciones para gestión de energía

El diseño y concepción de un proyecto de integración de energías renovables en el contexto de este estudio a menudo no aborda una exigencia más sistemática relacionada con la gestión de la electricidad producida en el lugar a partir de esas fuentes renovables (la cual también puede ser aplicada a instalaciones fotovoltaicas estándar).

Como requisito debe definirse la capacidad y funcionalidades de la solución de gestión de electricidad, sea con almacenamiento de electricidad o no, para fines de maximización del autoconsumo, de reducción de picos de consumo, carga de vehículos eléctricos, de adaptación al perfil de cargas de operación del edificio, u otros.

16. Referencias y aceptación sociocultural

En el diseño de aplicaciones de energías renovables en zonas públicas, cultural o arquitectónicamente sensibles, como son típicamente las zonas de este estudio, hay necesidad de definir metas para la aceptación sociocultural del proyecto. Involucrar al fabricante y/o proveedor de las soluciones en campañas de marketing enfocadas en el público objetivo debe ser un requisito en estos proyectos. La aceptación cultural en el mercado objetivo es importante, con un mensaje de que el origen y la metodología técnica del proyecto desempeñan un papel importante en ella.

2.3 Evaluación Socioeconómica de la Implementación de Sistemas de Autoconsumo

La evaluación socioeconómica de la integración de sistemas renovables en edificios históricos es un aspecto crítico que engloba varios factores que influyen en la viabilidad y la aceptación de esas intervenciones en el contexto de la conservación del patrimonio.

A continuación, se presentan los principales componentes de la evaluación socioeconómica:

Beneficios económicos

Estimación de ahorros energéticos e impacto en el presupuesto de las entidades gestoras de los patrimonios.

Para la evaluación de los beneficios económicos, debe iniciarse con un análisis exhaustivo de las implicaciones económicas de la integración de sistemas renovables. Esto incluye la evaluación de los costos de inversión inicial, de los gastos de mantenimiento corrientes y de los potenciales ahorros en las facturas de energía. El estudio resalta la importancia de comprender la viabilidad financiera de las intervenciones fotovoltaicas en edificios históricos, ya que estos costos pueden tener un impacto significativo en las decisiones de las partes interesadas y en la viabilidad del proyecto. Tendencialmente, estos costos suelen ser superiores para respetar el carácter cultural y preservar la arquitectura. Por último, la evaluación debe analizar la sostenibilidad a largo plazo de la integración de los sistemas renovables en los edificios históricos. Esto incluye la evaluación del potencial de independencia energética, la resistencia a las fluctuaciones del precio de la energía y la contribución a los objetivos energéticos locales y nacionales. Una estrategia de integración exitosa debe alinearse con los objetivos de sostenibilidad económica y ambiental, asegurando que los edificios históricos permanezcan viables y relevantes en un paisaje energético moderno.

Desarrollo local

Creación de empleo e impulso económico a través de la instalación y mantenimiento de los sistemas.

La instalación y el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos pueden crear empleos locales, contribuyendo al desarrollo económico. Esto incluye oportunidades de empleo directo en el sector de las energías renovables, así como beneficios indirectos para las empresas locales que suministran materiales y servicios. La literatura indica que la comprensión de los beneficios económicos de la creación de empleo puede motivar a los gobiernos y las organizaciones locales a apoyar iniciativas renovables, promoviendo así una economía local más robusta. La comprensión de los costos y beneficios

económicos también moldea la percepción que la comunidad tiene de los proyectos de energías renovables. Si la comunidad entiende que la integración de sistemas fotovoltaicos en el patrimonio es ventajosa y promueve el crecimiento económico y la sostenibilidad, puede fomentar un clima de inversión positivo. Esta percepción puede atraer más inversiones, tanto de fuentes locales como externas, mejorando el panorama económico global de la zona.

Aceptación social

Análisis de la percepción pública y de la sensibilización de la comunidad en cuanto a la integración de sistemas renovables en patrimonios.

Uno de los principales impactos sociales es el nivel de involucramiento de la comunidad en el proceso de toma de decisiones. La evaluación del involucramiento de las partes interesadas, incluyendo residentes, organizaciones locales y grupos de conservación del patrimonio, puede proporcionar información sobre la aceptación social y el apoyo al proyecto. El impacto visual de los sistemas renovables en edificios históricos puede afectar significativamente la aceptación de la comunidad. La evaluación del impacto social requiere el análisis de cómo la integración estética de las tecnologías renovables se alinea con los valores y expectativas de la comunidad. Esto puede implicar simulaciones visuales, consultas públicas y talleres para recopilar la opinión de la comunidad sobre las decisiones de diseño.

La evaluación del impacto social debe también considerar la forma en que los beneficios de la integración de la energía fotovoltaica se distribuyen por los diferentes grupos de la comunidad, en caso de que esa opción sea viable. Esto incluye evaluar si las familias con bajos ingresos tienen acceso a los beneficios de las energías renovables, como la reducción de los costos de energía. La evaluación de la equidad social puede implicar análisis demográficos y retroalimentación de la comunidad para garantizar que todos los segmentos de la población son considerados en los procesos de planificación e implementación.

2.4 Evaluación de la viabilidad técnica y económica

La evaluación de la viabilidad técnica y económica es crucial para el éxito de la integración de sistemas renovables, y en particular, de sistemas solares en edificios históricos. Esta evaluación garantiza que los proyectos son viables no solo desde el punto de vista tecnológico, sino también económicamente sostenibles.

La integración de sistemas fotovoltaicos debe tener en cuenta la integridad estructural y el significado histórico del edificio. Esto implica la realización de una investigación histórica exhaustiva y de inspecciones in situ para comprender las características y limitaciones del edificio. El primer paso en el flujo de trabajo es recopilar esta información para la definición del proceso de diseño e instalación.

La elección de las tecnologías fotovoltaicas es fundamental. Es necesario elegir intervenciones que sean compatibles con el contexto del patrimonio. Esto incluye la evaluación de varios elementos BIPV y personalizados que pueden ser perfectamente integrados sin comprometer el valor estético e histórico del edificio, como la inclusión de vidrio solar, tejas solares, módulos fotovoltaicos de fachada blancos, entre otras potenciales aplicaciones.

La utilización de herramientas de Modelado de Información de Edificios Patrimoniales (HBIM) permite la simulación de la integración fotovoltaica en el contexto histórico. Este modelado ayuda a visualizar posibles impactos y a optimizar el diseño antes de la implementación efectiva, mejorando así la viabilidad técnica.

Para una evaluación exhaustiva de la viabilidad económica, es necesario realizar el análisis de los costos de inversión inicial, de los gastos de mantenimiento corrientes y de los potenciales ahorros resultantes de la producción de energía. Es importante comprender estos factores económicos, ya que pueden influir directamente en la dinámica económica local y las decisiones de las partes interesadas.

Para una instalación renovable de base solar es necesario tener en cuenta ciertas características del lugar en análisis para la instalación.

- Orientación e inclinación: Identificación de las superficies más adecuadas para la instalación, optimizando la captación solar. Para este efecto, considerando la región EUROACE, se debe buscar priorizar superficies orientadas al Sur para

maximizar la exposición solar a lo largo del día. La inclinación de la superficie también tiene impacto en el rendimiento del sistema solar. Sin embargo, siendo la prioridad la integración arquitectónica en patrimonio, la integración debe ser priorizada en relación con las condiciones de máximo rendimiento energético posibles.

- Capacidad estructural: Durante la evaluación del entorno patrimonial se realiza un levantamiento de la verificación del estado y de la resistencia de las estructuras y fachadas que dispongan de condiciones adecuadas para soportar la instalación de los sistemas de producción de energía renovable, particularmente sistemas de energía solar.

La evaluación de la viabilidad técnica y económica es crucial para el éxito de la integración de sistemas renovables, y en particular, de sistemas solares en edificios históricos. Esta evaluación garantiza que los proyectos son viables no solo desde el punto de vista tecnológico, sino también económicamente sostenibles.

La integración de sistemas fotovoltaicos debe tener en cuenta la integridad estructural y el significado histórico del edificio. Esto implica la realización de una investigación histórica exhaustiva y de encuestas in situ para comprender las características y limitaciones del edificio. El primer paso en el flujo de trabajo es reunir esta información para la definición del proceso de diseño e instalación.

La elección de las tecnologías fotovoltaicas es fundamental. Es necesario elegir intervenciones que sean compatibles con el contexto del patrimonio. Esto incluye la evaluación de varios elementos BIPV (fotovoltaica integrada en edificios) y personalizados que pueden integrarse perfectamente sin comprometer el valor estético e histórico del edificio, como la inclusión de vidrio solar, tejas solares, módulos fotovoltaicos de fachada blancos, entre otras aplicaciones potenciales.

La utilización de herramientas de Modelado de la Información de Edificios Patrimoniales (HBIM) permite la simulación de la integración fotovoltaica en el contexto histórico. Este modelado ayuda a visualizar posibles impactos y a optimizar el diseño antes de la implementación efectiva, mejorando así la viabilidad técnica. Para una evaluación exhaustiva de la viabilidad económica es necesario realizar el análisis de los

costos de inversión inicial, de los gastos de mantenimiento corrientes y de los potenciales ahorros resultantes de la producción de energía. Es importante comprender estos factores económicos, ya que pueden influir directamente en la dinámica económica local y las decisiones de las partes interesadas.

Para una instalación renovable de base solar es necesario tener en cuenta ciertas características del lugar en análisis para la instalación.

- **Orientación e inclinación:** Identificación de las superficies más adecuadas para la instalación, optimizando la captación solar. Para este efecto, considerando la región EUROACE, se debe buscar priorizar superficies orientadas al Sur para maximizar la exposición solar a lo largo del día. La inclinación de la superficie también tiene impacto en el rendimiento del sistema solar. Sin embargo, siendo la prioridad la integración arquitectónica en patrimonio, la integración debe ser priorizada en relación con las condiciones de máximo rendimiento energético posibles.
- **Capacidad estructural:** Durante la evaluación del ambiente patrimonial se realiza un levantamiento de la verificación del estado y de la resistencia de las estructuras y fachadas que dispongan de condiciones adecuadas para soportar la instalación de los sistemas de producción de energía renovable, particularmente sistemas de energía solar.
- **Costo-beneficio:** una evaluación exhaustiva de la viabilidad económica y de costo-beneficio comprende el análisis de los costos de inversión inicial, los gastos de mantenimiento corrientes y los ahorros potenciales resultantes de la producción de energía. Es importante entender estos factores económicos, ya que pueden influir directamente en la dinámica económica local y las decisiones de las partes interesadas. Es necesario realizar un análisis costo-beneficio integral al integrar sistemas fotovoltaicos en edificios históricos. Este análisis es esencial para evaluar la viabilidad económica y la viabilidad global de tales proyectos. Los principales aspectos a tener en consideración son:

Costos de inversión inicial: El análisis de costo-beneficio se inicia con una evaluación de los costos iniciales asociados a la instalación de sistemas fotovoltaicos. Esto incluye gastos relacionados con la selección de la tecnología, la instalación y cualquier modificación necesaria en la estructura histórica para acomodar los componentes del sistema fotovoltaico. La comprensión de estos costos es crucial para que las partes interesadas puedan evaluar el compromiso financiero necesario para el proyecto.

Costos operacionales y de mantenimiento: Para El análisis de costo-beneficio se inicia con una evaluación de los costos iniciales asociados a la instalación de sistemas fotovoltaicos. Esto incluye gastos relacionados con la selección de la tecnología, la instalación y cualquier modificación necesaria en la estructura histórica para acomodar los componentes del sistema fotovoltaico. La comprensión de estos costos es crucial para que las partes interesadas puedan evaluar el compromiso financiero necesario para el proyecto.

Costo para el consumidor final

Un sistema de revestimiento fotovoltaico se refiere a la capa fotovoltaica más externa de la envolvente de un edificio, abarcando tanto los sistemas de fachada como de cubierta, así como elementos externos como pretilas, balaustradas y marquesinas.

La siguiente figura ilustra estimaciones del precio para el usuario final de diversos sistemas de revestimiento fotovoltaico. Estos valores se obtuvieron a partir de una encuesta realizada por SUPSI⁵³ entre fabricantes europeos de BIPV, con el objetivo de catalogar la gama de productos disponibles en el mercado que se fabrican, montan o laminan en Europa, así como analizar las tendencias actuales de precios en el sector BIPV.

Los resultados reflejan el precio medio, mínimo y máximo para el usuario final de diferentes tipos de revestimiento fotovoltaico:

⁵³ <https://www.supsi.ch/en/home>

- **Paneles de fachada ventilada, cubiertas discontinuas y tejas fotovoltaicas:** El precio para el usuario final incluye solo el revestimiento, excluyendo los perfiles traseros de soporte y la subestructura.
- **Sistemas prefabricados:** El precio para el usuario final incluye tanto el elemento aislante como la subestructura.
- **Fachadas muro cortina y claraboyas:** El precio para el usuario final incluye vidrio laminado fotovoltaico.

Para todos los revestimientos, el precio para el usuario final no incluye costos de transporte desde la fábrica BIPV hasta el usuario, ni impuestos, que pueden variar según el país.

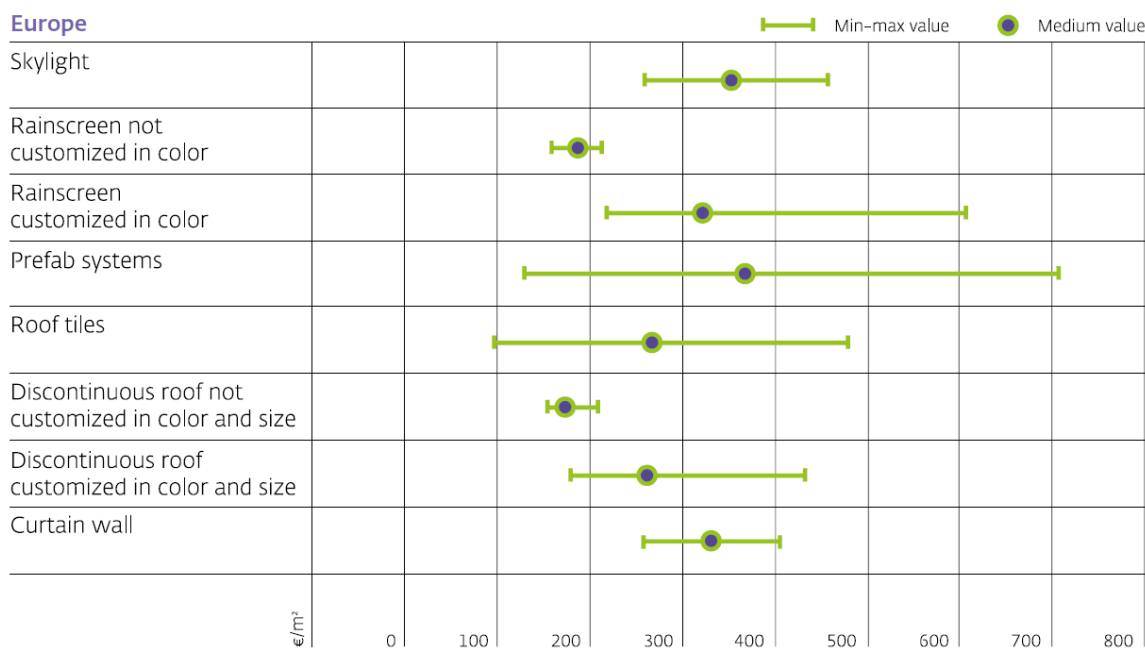


Figura 20: Fuente: SUPSI, 2024

El precio final para el usuario de un sistema BIPV representa el costo de la solución completa de envolvente de edificio basada en BIPV. Esto incluye no solo los propios módulos BIPV (que funcionan como revestimiento y piel exterior del edificio), sino también todos los demás componentes necesarios para la fijación y montaje del sistema de revestimiento, garantizando su total funcionalidad, seguridad y cumplimiento con las regulaciones (estructura primaria y secundaria).

Por ejemplo, en el caso de una fachada ventilada, esto implica el revestimiento, estructuras, abrazaderas de fijación y anclajes de soporte de carga.

El precio final para el usuario del sistema también abarca los componentes eléctricos, como el cableado y los inversores (BOS – Balance of System), así como los costos indirectos, como la mano de obra para construcción e instalación eléctrica, diseño/ingeniería y todos los demás costos asociados al usuario final.

Los datos sobre el precio final para el usuario fueron cuidadosamente recopilados a partir de 54 estudios de caso y proyectos europeos, tanto concluidos como en curso. En particular, 16 estudios de caso son de Suiza, 15 de Benelux, 9 de Escandinavia, 5 de Francia, 5 de Italia/España y 4 de Alemania/Austria.

Este análisis incluye información proporcionada por las partes interesadas sobre proyectos concluidos después de 2019. Para el análisis estadístico, fue necesario un mínimo de tres estudios de caso, siendo que la mayoría de los ítems fueron analizados con base en datos de más de tres estudios de caso.

Así, los datos sobre el precio final para el usuario son proporcionados solo para sistemas tecnológicos en Europa y Suiza. La distribución de los costos se presenta a nivel europeo.

Es importante notar que los precios finales para el usuario no incluyen los costos de transporte, que pueden variar según el país.

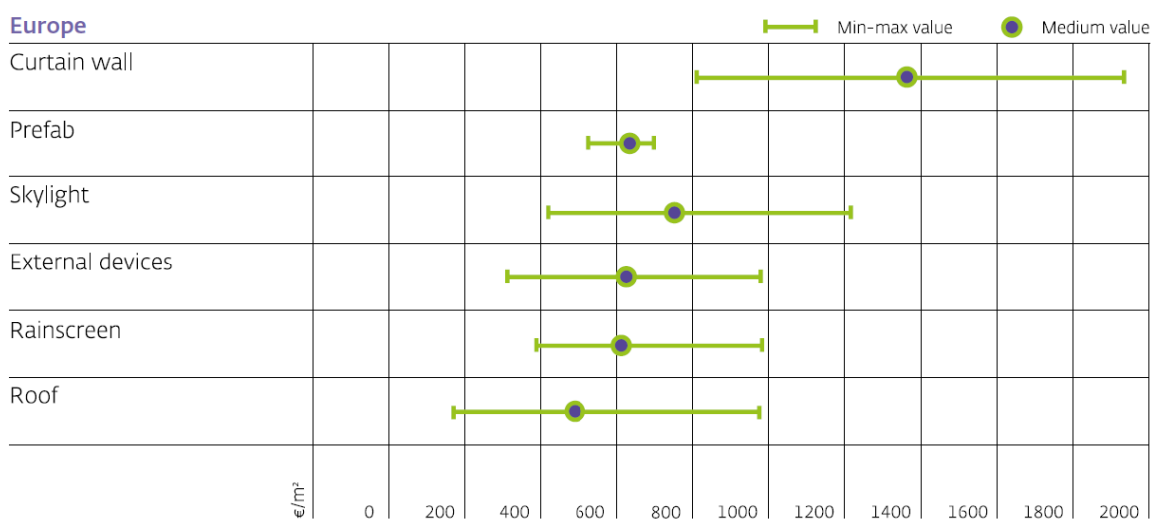


Figura 21: Fuente: SUPSI, 2024

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

En resumen, es necesario seleccionar las áreas de construcción que, por su orientación, son capaces de optimizar la captación solar y la producción de energía (por ejemplo, orientadas al Sur, sin sombras, etc.). Luego, se seleccionan las intervenciones compatibles con el patrimonio y la definición de los criterios de integración se realizan a través de un proceso de codiseño con la Autoridad del Patrimonio local en la fase inicial del proyecto, que puede sugerir criterios de diseño como:

- Impacto visual y físico mínimo en el edificio original.
- Ocultación de los sistemas fotovoltaicos de las áreas públicas.
- Dimensiones de los sistemas fotovoltaicos subordinadas a la estructura histórica, considerando formas coplanares y regulares, agrupación de módulos fotovoltaicos, cobertura total del elemento de construcción.
- Sistema fotovoltaico como parte de la composición general del proyecto.
- Correspondencia dimensional y cromática con las superficies originales, esquemas de construcción y materiales tradicionales.
- Baja reflectividad para módulos fotovoltaicos expuestos, hardware, estructuras y tuberías.
- Marcos no visibles, sistemas de montaje, fijaciones, tubos, equipo mecánico, conductos eléctricos y de fontanería.
- Reversibilidad de la intervención.
- Utilización de diseño ad hoc, sistemas fotovoltaicos innovadores y reducción de paneles fotovoltaicos producidos en masa.

2.6 Estrategias de comunicación y sensibilización con la comunidad local

Las estrategias más eficaces de comunicación y sensibilización con la comunidad local implican la interacción personal, la selección de partes interesadas específicas, discusiones colaborativas, difusión digital, iniciativas educativas, el abordaje de

preocupaciones culturales y el establecimiento de canales de retroalimentación. Estas estrategias son cruciales para promover la aceptación social de los sistemas fotovoltaicos en contextos patrimoniales.

Se destacan los siguientes aspectos críticos:

- Participación a través de interacción personal: Organización de reuniones presenciales y reuniones virtuales para informar a las partes interesadas y cuáles son los objetivos. Este enfoque está diseñado para fomentar un sentido de compromiso de la comunidad en el tema de la integración de sistemas fotovoltaicos (FV) en contextos patrimoniales.
- Selección de Stakeholders: Desarrollo de un levantamiento estratégico de las partes interesadas localmente, para la identificación de individuos de varios sectores, incluyendo la administración pública, las autoridades responsables del patrimonio y los organismos profesionales. Este enfoque dirigido garantiza que los esfuerzos de comunicación lleguen a los principales tomadores de decisiones e influenciadores de la comunidad.
- Mesas de trabajo colaborativas: La implementación de mesas de trabajo para diferentes grupos de partes interesadas (Autoridades del Patrimonio, Administración Pública y Diseñadores Técnicos) facilita la comunicación directa y la colaboración. Los participantes son informados y animados a compartir la información, aumentando así la participación y la concienciación de la comunidad.
- Comunicación digital: Utilización de canales digitales como redes sociales, correos electrónicos y cartas personales para compartir la información y alcanzar a un público más amplio.
- Iniciativas educativas: Implementación de programas educativos para cerrar las brechas de conocimiento relativas a la tecnología fotovoltaica. Al proporcionar información y formación, las partes interesadas pueden comprender mejor los beneficios y desafíos de la integración de sistemas fotovoltaicos en contextos patrimoniales, lo que puede llevar a una mayor aceptación y apoyo de la comunidad local.

- Abordar las preocupaciones culturales: Existen aspectos culturales que influyen significativamente en la aceptación de los sistemas fotovoltaicos. Por consiguiente, las estrategias de comunicación deben centrarse en abordar estas preocupaciones, destacando estudios de casos exitosos de sistemas fotovoltaicos estéticamente integrados en lugares históricos, promoviendo así una percepción positiva entre los miembros de la comunidad.
- Canales de retroalimentación: El establecimiento de canales de retroalimentación de la comunidad local puede mejorar las estrategias de comunicación. Involucrar a la comunidad en discusiones sobre sus percepciones y preocupaciones relativas a la integración de la energía fotovoltaica proporciona la información para crear iniciativas de sensibilización más adaptadas y eficaces.

3. Estudio teórico de la implementación de tecnologías potenciales

3.1 Tecnologías potenciales para implementación

En el marco de este estudio, y considerando la experiencia observada en el proyecto POCITYF en ⁵⁴, e evaluó el rendimiento energético y el potencial financiero de varias tecnologías seleccionadas. Se seleccionaron las siguientes tecnologías: Vidrio Solar, Tejas Solares y Marquesina con teja solar. Estas tecnologías se están implementando en Évora, Ciudad Patrimonio Mundial de la UNESCO, con restricciones arquitectónicas respecto a la instalación de sistemas solares. Las soluciones en implementación fueron aprobadas por la Dirección Regional de Cultura y son ejemplificativas de soluciones pasivas que pueden ser incorporadas en centros históricos.

Vidrio Solar:

⁵⁴ <https://pocityf.eu/>

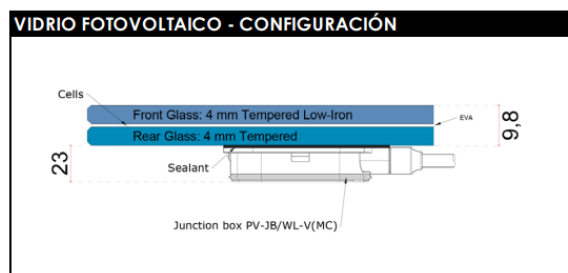
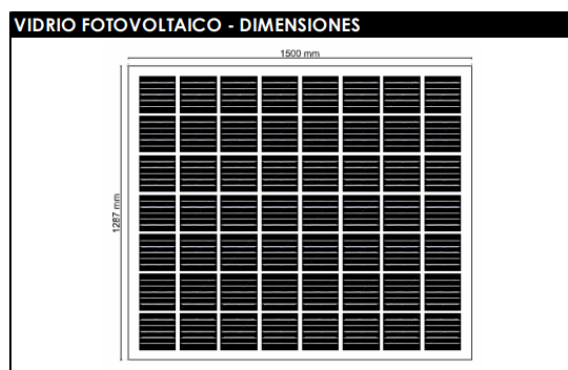
El vidrio solar puede instalarse en ventanas, tragaluces, entre otros elementos que permitan el paso de la luz solar. A continuación, se presentan ejemplos de instalaciones realizadas en Évora



Figura 22: Implementación de Vidrio Solar en edificios en Évora y ejemplos de muestras (esquina superior derecha).

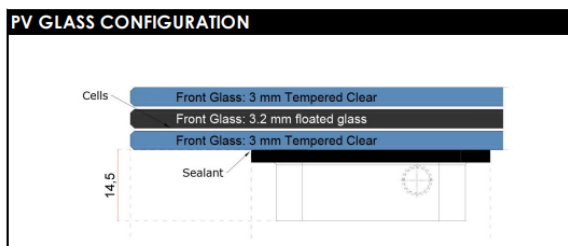
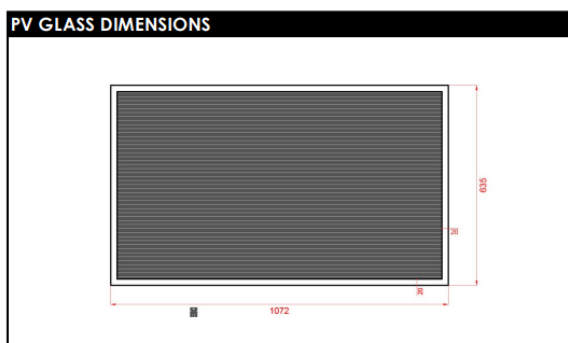
El vidrio solar presenta diferentes especificaciones técnicas según su nivel de transparencia:

PHOTOVOLTAIC GLASS		1500 x 1287	
		6" Mono 158 Crystalline	
Electrical data test conditions (STC)			
Nominal peak power	275	P_{mpp}	(Wp)
Open-circuit voltage	38	V_{oc}	(V)
Short-circuit current	9,41	I_{sc}	(A)
Voltage at nominal power	30	V_{mpp}	(V)
Current at nominal power	9,10	I_{mpp}	(A)
Power tolerance not to exceed	± 10	%	
STC: 1000 w/m ² , AM 1.5 and a cell temperature of 25°C, stabilized module state.			
Mechanical description			
Length	1500	mm	
Width	1287	mm	
Thickness	9,8	mm	
Surface area	1,93	sqm	
Weight	39	Kgs	
Cell type	6" Mono 158	Crystalline	
No PV cells / Transparency degree	56	27%	
Front Glass	4 mm	Tempered Glass Low-iron	
Rear Glass	4 mm	Tempered Glass	
Thickness encapsulation	1,80 mm	EVA Foils	
Category / Color code			
Junction Box			
Protection	IP65		
Wiring Section	2,5 mm ² or 4,0 mm ²		
Limits			
Maximum system voltage	1000	V_{sys}	(V)
Operating module temperature	-40...+85	°C	
Temperature Coefficients			
Temperature Coefficient of P_{mpp}	-0,32	%/°C	
Temperature Coefficient of V_{oc}	-0,28	%/°C	
Temperature Coefficient of I_{sc}	0,07	%/°C	



VIDRIO FOTOVOLTAICO - PROPIEDADES	
Transmisión luminosa	27%
Valor Ug [W/m ² .K]	5,4
Potencia pico [Wp/m ²]	142,6

PHOTOVOLTAIC GLASS		1072 x 635	
		L Vision (20%)	
Electrical data test conditions (STC)			
Nominal peak power	23	P_{mpp}	(Wp)
Open-circuit voltage	50	V_{oc}	(V)
Short-circuit current	0,84	I_{sc}	(A)
Voltage at nominal power	34	V_{mpp}	(V)
Current at nominal power	0,68	I_{mpp}	(A)
Power tolerance not to exceed	± 5	%	
STC: 1000 w/m ² , AM 1.5 and a cell temperature of 25°C, stabilized module state.			
Mechanical description			
Length	1072	mm	
Width	635	mm	
Thickness	12,24	mm	
Surface area	0,68	sqm	
Weight	16	Kgs	
Cell type	a-Si	Thin Film	
Transparency degree	L	Vision (20%)	
Front Glass	3 mm	Tempered Glass	
PV Active Glass	3,2 mm	Float Glass	
Rear Glass	3 mm	Tempered Glass	
Thickness encapsulation	1,52 mm	PVB Foils (x2)	
Category / Color code			
Junction Box			
Protection	IP65		
Wiring Section	2,5 mm ² or 4,0 mm ²		
Limits			
Maximum system voltage	1000	V_{sys}	(V)
Operating module temperature	-40...+85	°C	
Max. Series Fuse	3	A	
Temperature Coefficients			
Temperature Coefficient of P_{mpp}	-0,19	%/°C	
Temperature Coefficient of V_{oc}	-0,28	%/°C	
Temperature Coefficient of I_{sc}	+0,09	%/°C	



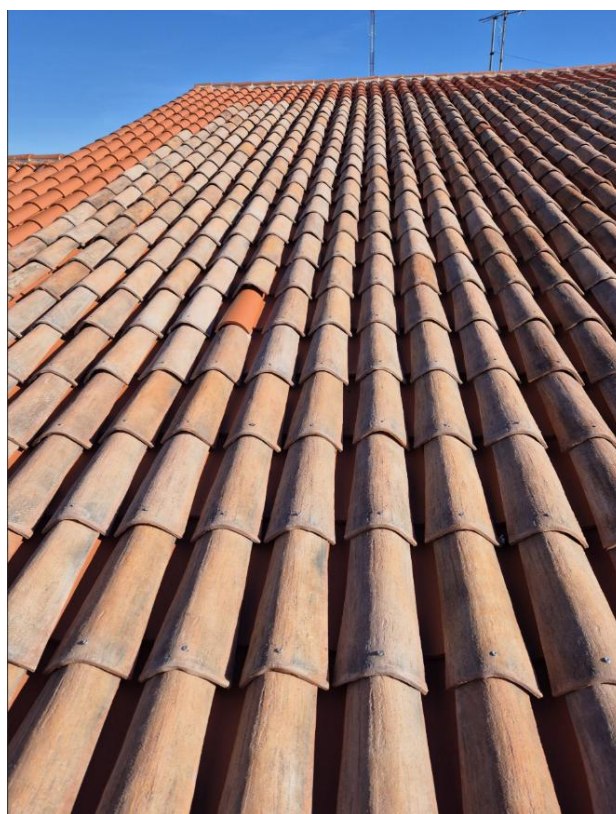
GLASS PROPERTIES		Onyx Equivalent Glass
Solar Factor/SHGC		32,00%
Light Transmission		16,30%
UV Transmission		< 1%
Light Reflection		8%
U-value [W/sqm.K]		
Peak Power [Wp/sqm]		34,0

Figura 23: Ficha de especificaciones técnicas de vidrio solar. Arriba: vidrio solar monocristalino, Abajo: vidrio solar de silicio amorfo.

El vidrio solar tiene diferentes costes, dependiendo del tipo de tecnología. Siendo el vidrio solar c-Si (Figura 23, arriba) 260€/m² y el vidrio solar a-Si (Figura 23, abajo) 300€/m². Los costes de inversión, traducidos a €/Wp, son los siguientes: c-Si: 1,82€/Wp y a-Si: 8,87€/Wp.

Teja Solar Fotovoltaica

Las tejas solares fotovoltaicas utilizadas en Évora fueron fabricadas por la empresa TEGOLA⁵⁵. Son fabricadas a medida y pueden realizarse en diferentes tamaños. Estas sustituyen a las tejas tradicionales y presentan un coste medio de 60€ por teja, lo que corresponde a 7,2€/Wp.



⁵⁵ <https://tegolacanadese.com/en/>



Figura 24: Instalación de tejas solares en edificios en Évora y ejemplos de muestras.

TECHNICAL DATA SHEET

INVISIBLE SOLAR ROOFTILE

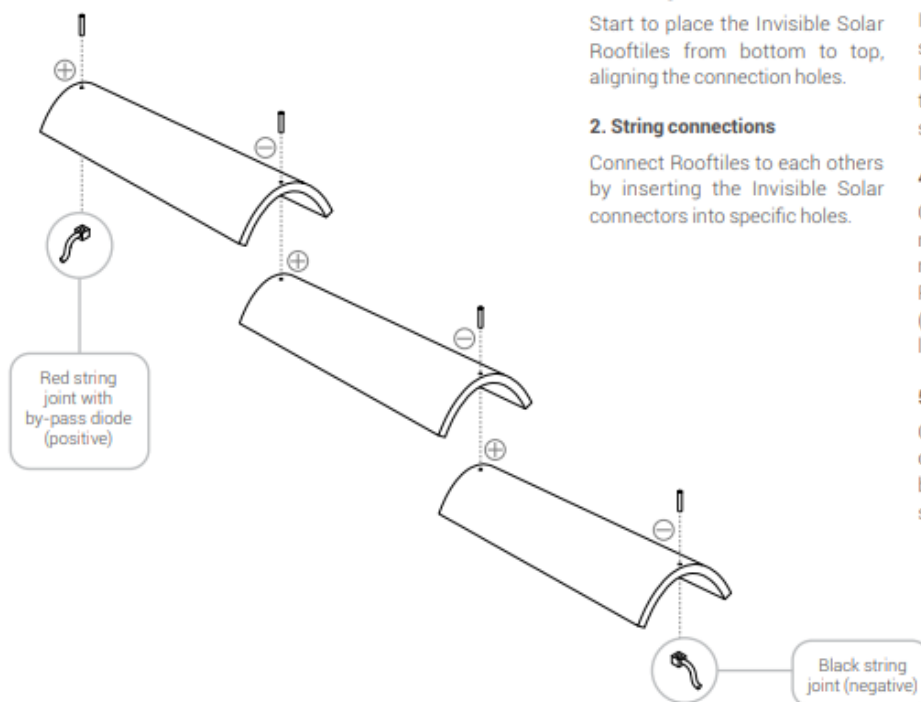
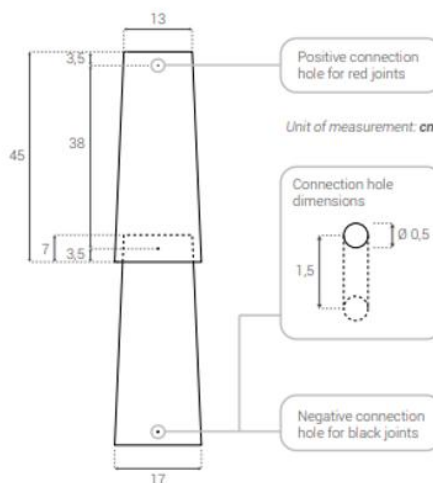
Photovoltaic module shaped like architectural element and made of a polymeric compound, non-toxic and recyclable. The module incorporate monocrystalline silicon cells.

Photovoltaic Module

Dimensions	45 x 17 x 13 x H7 cm
Weight	2,00 kg
Working temperature	-40°C / +85°C
Maximum static load	500,00 kg/piece
Protection	IP68
Flammability (self-certification UL 94)	HB
quantity of Invisible Solar modules per square metre	15 pcs/sqm ²
Net absorbent surface (cells total)	0,0468 m ²
Operative temperature NOCT	43,5°C
Photovoltaic cells	Monocrystalline silicon

Electrical Performances

Isc - Short circuit current	3,79 A
Voc - Open circuit voltage	2,56 V
Pp - Peak power	7,57 W
Imp - Maximum power current	3,52 A
Vmp - Maximum power voltage	2,15 V



1. Placing

Start to place the Invisible Solar Rooftiles from bottom to top, aligning the connection holes.

2. String connections

Connect Rooftiles to each others by inserting the Invisible Solar connectors into specific holes.

3. Fix

If necessary, use screws to fix the Invisible Solar Rooftiles to the roof structure.

4. Start

Connect the first module to the roof structure (positive terminal).

5. System

Connect the cables to the battery system.

Figura 25: Ficha técnica de tejas solares y modo de instalación

Carport - Tejas Solares

En Évora también se está instalando una marquesina (carport) utilizando tejas solares de silicio amorfo, fabricadas por la empresa Tegola. Estas tejas son de silicio amorfo, impermeables, ligeras (hasta 8,5 kg/m²), se adhieren a la superficie mediante colagem, y son resistentes al granizo, sin necesidad de vidrio protector y con propiedades antirreflectantes.

Su resistencia permite caminar sobre ellas y cuentan con una capa autolimpiante gracias a la aplicación de una capa exterior de EFTE (Etileno Tetrafluoroetileno).



Figura 26: Teja solar de silicio amorfo siendo aplicada en marquesina (carport), Tegosolar E144⁵⁶

Estas tejas solares presentan un coste de 1,8€/Wp.

⁵⁶ <https://irp.cdn-website.com/6bd86a00/files/uploaded/TDS-TEGOSOLAR-E.pdf>

3.2 Evaluación del rendimiento tecnológico y económico

Para este estudio se consideraron 2 zonas de referencia, Évora y Cáceres, como representativas del recurso solar en la región. El recurso solar en Cáceres corresponde a 1786 kWh/m²/año y en Évora a 1779 kWh/m²/año; estos valores corresponden a la radiación solar global horizontal, obtenidos a través del PVGIS. Como se puede evidenciar, en términos de totales anuales de radiación solar, las diferencias no son significativas.

Como referencia, se consideró y simuló la producción de una instalación solar fotovoltaica típica con diferentes configuraciones (combinaciones de acimut e inclinación). El acimut solar es la dirección horizontal del Sol en el cielo, medida en grados desde el Norte en sentido horario, variando de 0 a 360 grados, y la inclinación de un panel solar se refiere al ángulo del panel con respecto al plano horizontal, generalmente medido en grados.

La optimización de estos ángulos solares es crucial para optimizar la captación de la luz solar y, en consecuencia, la eficiencia de la producción de energía. Para ello, se ha estimado con el software PVSyst la producción de un sistema típico de silicio cristalino y se presentan los valores de energía anual producida por kWp instalado, en kWh/kWp.

acimut	Graus (°)	inclinación							
		0	5	10	15	20	25	30	35
	0	1582	1659	1723	1776	1817	1846	1863	1614
	15	1582	1656	1718	1768	1808	1836	1853	1597
	30	1582	1648	1703	1747	1781	1805	1817	1557
	45	1582	1636	1680	1714	1739	1754	1761	1501
	60	1582	1620	1649	1670	1684	1689	1687	1426
	75	1582	1602	1614	1619	1618	1610	1598	1339
	90	1582	1582	1575	1562	1544	1523	1498	1239
	105	1582	1562	1535	1503	1468	1429	1389	1131
	120	1582	1544	1498	1446	1392	1336	1279	1019
	135	1582	1527	1464	1396	1323	1249	1175	912
	150	1582	1515	1439	1355	1268	1179	1091	826
	165	1582	1507	1422	1329	1232	1134	1040	782

Tabla 3 – Producción anual de energía solar (kWh/kWp) de un sistema fotovoltaico típico en Cáceres, España.

inclinación

	Graus (°)	0	5	10	15	20	25	30	35
acimut	0	1547	1614	1670	1715	1749	1772	1784	1785
	15	1547	1611	1665	1707	1740	1761	1772	1771
	30	1547	1604	1651	1688	1715	1732	1738	1736
	45	1547	1593	1630	1657	1676	1686	1688	1681
	60	1547	1579	1602	1618	1626	1628	1621	1608
	75	1547	1562	1570	1572	1567	1557	1542	1521
	90	1547	1545	1536	1521	1502	1479	1452	1422
	105	1547	1527	1501	1469	1434	1395	1355	1314
	120	1547	1511	1468	1419	1366	1312	1257	1202
	135	1547	1497	1439	1375	1306	1235	1164	1094
	150	1547	1486	1417	1340	1258	1174	1089	1007
	165	1547	1480	1403	1319	1229	1137	1046	960

Tabla 4 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) de un sistema fotovoltaico típico en Évora, Portugal.

Se verifica que la producción de un sistema solar fotovoltaico típico, en kWh/kWp/m², no difiere significativamente entre Évora y Cáceres. Se evidencian algunas variaciones; sin embargo, estas se deben a variaciones estacionales locales de la radiación solar. Un sistema fotovoltaico típico puede presentar precios de instalación en el orden de 0,8 €/Wp, e incluso inferiores, pero se optó por considerar costes conservadores. Para sistemas con una capacidad del orden de 125 kW, se pueden obtener precios de 0,5 €/Wp.

A efectos de evaluación económica, se calcula el LCOE – Costo Nivelado de la Energía (€/kWh). El LCOE es una métrica utilizada para evaluar el coste medio de la producción de electricidad a lo largo de la vida útil de un proyecto de generación de energía, teniendo en cuenta diversos factores como la inversión inicial, los costes operativos y de mantenimiento, y los ingresos generados. Para cada ubicación, es de:

inclinación

	0	5	10	15	20	25	30	35
0	0,0313	0,0298	0,0287	0,0279	0,0272	0,0268	0,0266	0,0307
15	0,0313	0,0299	0,0288	0,0280	0,0274	0,0270	0,0267	0,0310
30	0,0313	0,0300	0,0291	0,0283	0,0278	0,0274	0,0272	0,0318
45	0,0313	0,0303	0,0295	0,0289	0,0285	0,0282	0,0281	0,0330
60	0,0313	0,0305	0,0300	0,0296	0,0294	0,0293	0,0293	0,0347
75	0,0313	0,0309	0,0307	0,0306	0,0306	0,0307	0,0310	0,0370
90	0,0313	0,0313	0,0314	0,0317	0,0321	0,0325	0,0331	0,0400
105	0,0313	0,0317	0,0322	0,0329	0,0337	0,0346	0,0356	0,0438
120	0,0313	0,0321	0,0331	0,0342	0,0356	0,0371	0,0387	0,0486
135	0,0313	0,0324	0,0338	0,0355	0,0374	0,0396	0,0421	0,0543
150	0,0313	0,0327	0,0344	0,0365	0,0390	0,0420	0,0454	0,0599
165	0,0313	0,0328	0,0348	0,0372	0,0402	0,0436	0,0476	0,0633

Tabla 5 – LCOE (€/kWh) de una instalación fotovoltaica típica en Évora, con diferentes configuraciones, y en Cáceres (España)

	inclinación							
	0	5	10	15	20	25	30	35
0	0,0320	0,0307	0,0296	0,0289	0,0283	0,0279	0,0278	0,0277
15	0,0320	0,0307	0,0297	0,0290	0,0285	0,0281	0,0279	0,0279
30	0,0320	0,0309	0,0300	0,0293	0,0289	0,0286	0,0285	0,0285
45	0,0320	0,0311	0,0304	0,0299	0,0295	0,0294	0,0293	0,0294
60	0,0320	0,0313	0,0309	0,0306	0,0304	0,0304	0,0305	0,0308
75	0,0320	0,0317	0,0315	0,0315	0,0316	0,0318	0,0321	0,0325
90	0,0320	0,0320	0,0322	0,0325	0,0330	0,0335	0,0341	0,0348
105	0,0320	0,0324	0,0330	0,0337	0,0345	0,0355	0,0365	0,0377
120	0,0320	0,0328	0,0337	0,0349	0,0362	0,0377	0,0394	0,0412
135	0,0320	0,0331	0,0344	0,0360	0,0379	0,0401	0,0425	0,0453
150	0,0320	0,0333	0,0349	0,0369	0,0393	0,0422	0,0454	0,0492
165	0,0320	0,0334	0,0353	0,0375	0,0403	0,0436	0,0473	0,0516

Tabla 6 – LCOE (€/kWh) de una instalación fotovoltaica típica en Évora, con diferentes configuraciones, y en Évora (Portugal)

Como se puede constatar, acimuts más alejados del sur (0°) conllevan una pérdida de rendimiento y, en consecuencia, un peor desempeño económico.

También se evidencia que variaciones de 15° no presentan diferencias significativas y, por ello, para las demás tecnologías se procede a realizar los cálculos con variaciones del ángulo de acimut en intervalos de 30°.

Vidrio Fotovoltaico c-Si

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	1466	1465	1465	1465	1465	1465
	10	1584	1568	1521	1455	1384	1328
	20	1658	1631	1547	1423	1282	1160
	90	1043	1068	1025	865	624	407

Tabla 7 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) del vidrio solar c-Si en Cáceres, España.

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	0,0736	0,0736	0,0736	0,0736	0,0736	0,0736
	10	0,0681	0,0688	0,0709	0,0741	0,0779	0,0812
	20	0,0651	0,0661	0,0697	0,0758	0,0841	0,0930
	90	0,1034	0,1010	0,1052	0,1247	0,1729	0,2651

Tabla 8 - LCOE (€/kWh) del vidrio solar c-Si en Cáceres, España.

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	1501	1501	1501	1501	1501	1501
	10	1630	1610	1559	1490	1419	1366
	20	1714	1679	1589	1460	1319	1206
	90	1125	1135	1084	924	693	473

Tabla 9 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) del vidrio solar c-Si en Évora, Portugal.

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	0,0719	0,0719	0,0719	0,0719	0,0719	0,0719
	10	0,0662	0,0670	0,0692	0,0724	0,0760	0,0790
	20	0,0629	0,0643	0,0679	0,0739	0,0818	0,0895
	90	0,0959	0,0950	0,0995	0,1167	0,1557	0,2281

Tabla 10 - LCOE (€/kWh) del vidrio solar c-Si en Évora, Portugal.

Vidrio Fotovoltaico a-Si

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	1390	1390	1390	1390	1390	1390
	10	1516	1498	1450	1382	1313	1260
	20	1601	1568	1479	1353	1216	1105
	90	1037	1044	983	826	607	407

Tabla 11 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) del vidrio solar a-Si en Cáceres, España.

acimut

		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	0,3679	0,3679	0,3679	0,3679	0,3679	0,3679
	10	0,3373	0,3414	0,3527	0,3700	0,3895	0,4059
	20	0,3194	0,3261	0,3458	0,3780	0,4206	0,4628
	90	0,4931	0,4898	0,5202	0,6192	0,8422	1,2580

Tabla 12 - LCOE (€/kWh) del vidrio solar a-Si en Cáceres, España.

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	1288	1288	1288	1288	1288	1288
	10	1410	1390	1343	1277	1211	1163
	20	1492	1459	1372	1248	1117	1014
	90	928	933	882	737	529	338

Tabla 13 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) del vidrio solar a-Si en Évora, Portugal.

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	0,3971	0,3971	0,3971	0,3971	0,3971	0,3971
	10	0,3627	0,3678	0,3809	0,4003	0,4222	0,4399
	20	0,3428	0,3506	0,3728	0,4096	0,4578	0,5044
	90	0,5509	0,5483	0,5800	0,6939	0,9665	1,5116

Tabla 14 - LCOE (€/kWh) del vidrio solar a-Si en Évora, Portugal.

Teja Solar

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	720	720	720	720	720	720
	10	776	752	718	682	654	643
	20	811	768	705	634	574	550
	30	827	770	685	583	491	458

Tabla 15 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) de la teja solar en Cáceres, España.

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	0,5772	0,5772	0,5772	0,5772	0,5772	0,5772
	10	0,5360	0,5530	0,5791	0,6098	0,6359	0,6466
	20	0,5129	0,5414	0,5895	0,6556	0,7241	0,7555
	30	0,5026	0,5403	0,6074	0,7136	0,8466	0,9085

Tabla 16 - LCOE (€/kWh) de la teja solar en Cáceres, España.

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	711	711	711	711	711	711
	10	707	671	644	634	646	674
	20	694	623	565	545	570	629
	30	674	572	484	455	491	581

Tabla 17 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) de la teja solar en Évora, Portugal.

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	0,5848	0,5848	0,5848	0,5848	0,5848	0,5848
	10	0,5881	0,6197	0,6462	0,6558	0,6442	0,6169
	20	0,5991	0,6680	0,7359	0,7636	0,7301	0,6611
	90	0,6169	0,7269	0,8586	0,9138	0,8477	0,7157

Tabla 18 - LCOE (€/kWh) de la teja solar en Évora, Portugal.

Carport - Teja solar

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	1018	1018	1018	1018	1018	1018
	5	1061	1055	1039	1016	994	977
	10	1097	1085	1054	1010	965	931

Tabla 19 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) del carport - teja solar en Cáceres, España.

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	0,1049	0,1049	0,1049	0,1049	0,1049	0,1049
	5	0,1006	0,1012	0,1028	0,1050	0,1074	0,1092
	10	0,0973	0,0983	0,1013	0,1057	0,1106	0,1147

Tabla 20 - LCOE (€/kWh) del carport - teja solar en Cáceres, España.

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	1045	1045	1045	1045	1045	1045
	5	1091	1084	1067	1043	1019	1002
	10	1130	1116	1082	1035	988	953

Tabla 21 - Producción anual de energía solar (kWh/kWp) del carport - teja solar en Évora, Portugal.

		acimut					
		0	30	60	90	120	150
inclinación	0	0,1021	0,1021	0,1021	0,1021	0,1021	0,1021
	5	0,0978	0,0984	0,1001	0,1024	0,1047	0,1065
	10	0,0944	0,0956	0,0987	0,1031	0,1080	0,1120

Tabla 22 - LCOE (€/kWh) del carport - teja solar en Évora, Portugal.

La radiación solar anual en los lugares estudiados es muy similar: 1786 kWh/m² en Cáceres y 1779 kWh/m² en Évora, lo que garantiza condiciones comparables para las diferentes soluciones fotovoltaicas.

Para los sistemas de silicio cristalino, la producción anual típica varía entre 1498 y 1863 kWh/kWp instalado, dependiendo del ángulo de inclinación y azimut. Las inclinaciones entre 25-30° y la orientación sur (azimut 0°) proporcionan el mejor rendimiento técnico. Los vidrios fotovoltaicos y las tejas solares también presentan sus producciones anuales detalladas para diferentes inclinaciones y azimuts, siendo los valores de producción sensiblemente inferiores a los de los módulos convencionales.

Pequeñas variaciones en los ángulos de orientación, hasta unos 15°, no presentan pérdidas significativas de rendimiento, lo que da flexibilidad a la integración arquitectónica.

Se han considerado costes de inversión conservadores, que varían entre 0,8 €/Wp para sistemas típicos y 0,5 €/Wp para instalaciones más grandes (~125 kW).

El LCOE (coste nivelado de la energía) evaluado para cada tecnología y configuración muestra que se obtienen valores más bajos cuando el sistema está más cerca de la orientación y la inclinación ideales. Para el silicio cristalino, los LCOE varían típicamente entre 0,0266 €/kWh y 0,0330 €/kWh.

Las soluciones alternativas, como el vidrio fotovoltaico, las tejas y los aparcamientos solares, presentan LCOE considerablemente superiores, lo que refleja los costes de instalación y las eficiencias inferiores.

Las orientaciones alejadas del sur acaban penalizando tanto el rendimiento técnico como el económico, aunque la penalización solo se acentúa a partir de desviaciones superiores a 30°.

3.3 Soluciones alternativas para la implementación de sistemas solares en zonas históricas

Una comunidad de energía renovable (CER) o un autoconsumo colectivo es una forma organizativa que permite a un conjunto de ciudadanos, empresas, entidades públicas u otras organizaciones cooperar en la producción, consumo, compartición y eventual comercialización de energía proveniente de fuentes renovables, generalmente a nivel local. Estas comunidades se basan en un modelo descentralizado de producción energética, promoviendo la participación activa de los usuarios finales en el sistema energético, alineándose con los principios de la transición energética justa, sostenibilidad ambiental y autonomía energética local.

El funcionamiento de una CER se basa en la instalación de sistemas de generación de energía renovable, como paneles fotovoltaicos, aerogeneradores u otras tecnologías compatibles, localizados en las cercanías de sus miembros. La energía producida puede ser consumida directamente por los participantes (autoconsumo colectivo), almacenada en sistemas de baterías locales o compartida con la red eléctrica. La gestión de la compartición de energía entre los miembros puede realizarse con base en coeficientes de reparto de energía predefinidos (estáticos o dinámicos), reflejando criterios como el consumo individual, las inversiones realizadas o decisiones comunitarias. La gobernanza de la CER puede adoptar diferentes formas jurídicas, como cooperativas, asociaciones u otras entidades, dependiendo del marco legal vigente y de las opciones de sus miembros.

Las ventajas asociadas a una comunidad de energía renovable son diversas. Desde el punto de vista energético, promueven la producción local de energía limpia, reduciendo pérdidas de transporte y dependencia de fuentes fósiles. Económicamente, permiten la reducción de la factura energética de los miembros, la creación de valor local y la reinversión en la comunidad. Socialmente, refuerzan la cohesión comunitaria, la alfabetización energética y la participación ciudadana. Ambientalmente, contribuyen a la mitigación del cambio climático mediante la descarbonización del sector energético. Además, las CER pueden desempeñar un papel relevante en la resiliencia

de los sistemas energéticos, favoreciendo una mayor flexibilidad, diversidad de fuentes y capacidad de respuesta local a situaciones de crisis.

Las CER pueden permitir superar barreras culturales en el acceso a energía renovable a costos accesibles para centros históricos o áreas protegidas. La Universidad de Évora ha venido trabajando en la constitución de autoconsumo colectivo, con el objetivo de viabilizar un autoconsumo colectivo entre sus diversos edificios situados en la ciudad. Évora, como Patrimonio Mundial de la UNESCO, está sujeta a regulaciones rigurosas que restringen las modificaciones visibles en los edificios, lo que hace particularmente desafiante la instalación de sistemas solares en el centro histórico. Frente a estas limitaciones, se desarrolló un modelo energético distribuido, en el que la energía solar se genera fuera de las murallas de la ciudad y se consume en su interior, asegurando el cumplimiento de las exigencias de preservación patrimonial y, simultáneamente, promoviendo la transición energética en una zona que, de otro modo, quedaría excluida de este proceso.

La legislación portuguesa solo permite la compartición de energía a través de la red eléctrica cuando una CER está formalmente constituida. Reconociendo esta condición como una oportunidad viable, la Universidad de Évora se encuentra en proceso de registro oficial de su CER, lo que permitirá utilizar energía solar producida en zonas menos restrictivas para alimentar las instalaciones universitarias en el centro histórico. Este enfoque garantiza que la conservación del patrimonio no constituya un obstáculo al acceso a la energía limpia, permitiendo optimizar el autoconsumo conforme a las regulaciones vigentes.

Con el fin de reforzar la eficiencia energética, también se han asegurado financiamientos para mejorar la sostenibilidad de las residencias estudiantiles, proyecto que contempla también la instalación adicional de capacidad fotovoltaica. La estimación inicial del autoconsumo colectivo prevé una potencia fotovoltaica total instalada de aproximadamente 750 kWp, combinando infraestructuras ya existentes con nuevas instalaciones en varios edificios de la universidad.

Este caso constituye un ejemplo representativo de cómo una Comunidad de Energía Renovable puede ser implementada con éxito en contextos urbanos sensibles desde el

punto de vista patrimonial, conciliando la protección del legado histórico con los objetivos de la transición energética.

4. Conclusiones

El presente estudio permitió evaluar la viabilidad técnico-económica de la integración de tecnologías fotovoltaicas en entornos urbanos y patrimoniales, mediante simulaciones comparativas en dos localizaciones representativas (Évora y Cáceres) y el análisis de distintas soluciones tecnológicas. Las principales conclusiones son las siguientes:

Adecuación de instalaciones renovables en entornos patrimoniales protegidos

La integración de sistemas de producción de energía renovable en contextos patrimoniales es técnicamente posible, pero requiere un análisis riguroso del impacto visual, arquitectónico y funcional. Soluciones como el vidrio solar (especialmente del tipo c-Si) y las tejas solares presentan una mayor adecuación estética, siendo más apropiadas para zonas con restricciones patrimoniales. Estas tecnologías permiten una incorporación discreta de la generación eléctrica en los edificios, aunque con costes superiores frente a las soluciones convencionales.

Metodología de implementación

Se abordó una metodología basada en la simulación de la producción energética y del coste nivelado de la energía (LCOE), considerando diferentes tecnologías, orientaciones, inclinaciones y contextos geográficos. Este enfoque permite identificar las configuraciones más eficientes y económicamente viables, siendo una herramienta útil para la toma de decisiones en la planificación de sistemas fotovoltaicos integrados en entornos urbanos. Esta metodología no incluye costes asociados a la integración en los edificios, ya que cada construcción presenta condiciones únicas y, por tanto, varía en cada caso.

Limitaciones y complejidad de la metodología

La metodología presentada tiene un carácter ejemplificativo. A pesar de su solidez conceptual, no fue posible su aplicación completa en un contexto real debido a la

complejidad involucrada y a la necesidad de adaptación específica para cada caso. Sin embargo, esta complejidad es un requisito esencial al abordar soluciones renovables en entornos patrimoniales. La incorporación efectiva de estas tecnologías exige un estudio detallado, multidisciplinar y adaptado a las particularidades de cada ubicación.

Consideraciones sobre tecnologías potenciales

Se compararon diversas tecnologías fotovoltaicas en Évora (Portugal) y Cáceres (España), basándose en las evaluaciones de la producción energética anual y el coste nivelado de la energía (LCOE).

El sistema fotovoltaico convencional de silicio cristalino mantiene el mejor rendimiento económico, con LCOE a partir de aproximadamente 0,0266 €/kWh, especialmente para inclinaciones entre 25° y 30° y orientaciones cercanas al sur, lo que lo convierte en la opción más eficiente en términos de coste-beneficio, aunque con menor flexibilidad estética.

El vidrio solar de silicio cristalino (c-Si) presenta una buena integración estética y costes moderados, con LCOE típicamente entre 0,0278 €/kWh y 0,0400 €/kWh, dependiendo de la configuración, lo que ofrece un compromiso entre rendimiento técnico e integración arquitectónica.

El vidrio solar de silicio amorfo (a-Si), aunque estéticamente versátil, presenta LCOE considerablemente más elevados, lo que refleja su menor eficiencia, especialmente en configuraciones verticales o con poca inclinación, lo que limita su viabilidad económica. La teja solar destaca por ser una opción altamente integrada estéticamente, con una producción energética aceptable, pero con costes significativamente más elevados, con LCOE superiores a 0,45 €/kWh, lo que hace que su aplicación sea más específica y restringida.

La cubierta para vehículos con paneles solares ofrece una solución funcional y modular, orientada a espacios exteriores como aparcamientos, con LCOE entre 0,094 €/kWh y 0,114 €/kWh, equilibrando unos costes moderados con los requisitos prácticos de aplicación.

Cabe destacar que los costes del sistema fotovoltaico convencional corresponden a instalaciones típicas, mientras que las demás tecnologías fueron evaluadas únicamente

desde la perspectiva del componente tecnológico, sin considerar el sistema completo ni los costes de instalación, debido a su variabilidad en cada implementación.

Análisis financiero y viabilidad económica

El análisis basado en el LCOE permitió identificar las soluciones más ventajosas desde el punto de vista económico. Los sistemas convencionales destacan por su eficiencia y bajo coste. Sin embargo, en contextos donde la integración arquitectónica es prioritaria (como en entornos patrimoniales), tecnologías integradas como el vidrio c-Si y la teja solar ofrecen un equilibrio viable entre rendimiento energético y aceptación visual.

El período de retorno de la inversión varía según las condiciones tarifarias energéticas de cada localización, aspecto que no fue objeto de estudio en este trabajo. No obstante, con los indicadores de producción energética, LCOE y CAPEX, es posible proyectar dichos escenarios si se dispone de datos detallados sobre tarifas.

Recomendaciones para futuros estudios

Se recomienda que en futuras investigaciones:

- Se profundice en el análisis de compatibilidad patrimonial mediante enfoques interdisciplinarios (ingeniería, arquitectura y conservación).
- Se prueben soluciones integradas en proyectos piloto, recogiendo datos reales y aplicando la metodología propuesta.
- Se evalúen modelos de negocio para comunidades energéticas y autoconsumo en cascos históricos.
- Se considere la aceptación social y los marcos legales asociados a la instalación de renovables en patrimonio edificado.

Estas recomendaciones buscan promover una transición energética inclusiva, técnicamente robusta y culturalmente sensible, alineada con los objetivos de sostenibilidad y protección del patrimonio.

5. Referencias

Otras referencias:

- Alessia Buda & Tor Broström. (2021). *IEA-SHC TASK59: FACT SHEET Multidisciplinary planning process: Enhancing the use of the European standard EN 16883:2017*. <https://task59.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/D.B1b--Fact-sheet-Guidelines.pdf>
- Elena Lucchi, Cristina S. Polo López, & Giovanna Franco. (2020). *A conceptual framework on the integration of solar energy systems in heritage sites and buildings*. Florence Heritec 2020. https://www.researchgate.net/publication/344680401_A_conceptual_framework_on_the_integration_of_solar_energy_systems_in_heritage_sites_and_buildings
- Lucchi, E. (2022). Integration between photovoltaic systems and cultural heritage: A socio-technical comparison of international policies, design criteria, applications, and innovation developments. *Energy Policy*, 171, 113303. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113303>
- Lucchi, E., Adami, J., & Stawinoga, A. E. (2023). Social acceptance of photovoltaic systems in heritage buildings and landscapes: Exploring barriers, benefits, drivers, and challenges for technical stakeholders in northern Italy. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 60, 103544. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103544>
- Lucchi, E., & Agliata, R. (2023). HBIM-based workflow for the integration of advanced photovoltaic systems in historical buildings. *Journal of Cultural Heritage*, 64, 301–314. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.10.015>
- University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland (SUPSI). (2024). *Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders*.

6. Anexos

Los apéndices que se presentan en esta sección complementan y enriquecen este documento sobre la integración de las energías renovables en edificios declarados patrimonio. Estos documentos proporcionan detalles técnicos, normativos y visuales que respaldan los análisis realizados a lo largo del estudio, lo que permite una comprensión más profunda de las soluciones propuestas y sus marcos legales y arquitectónicos. Incluyen, entre otros, normativas relevantes, ejemplos y proyectos de buenas prácticas, así como otros materiales de apoyo que ayudan a contextualizar los enfoques descritos.

Anexo I – Proyectos de Referencia

ACRÓNIMO	PROGRAMA	AÑOS	OBJETIVOS DE ENERGÍAS RENOVABLES	TIPO	FOCO
PV Accept	FP5	2001-2004	Desarrollar módulos comercializables con un diseño innovador para edificios y sitios históricos; Estudiar la aceptabilidad de la energía fotovoltaica (PV)	PV BIPV	Edificios y sitios históricos
IEA-SHC T37	IEA	2006-2010	Desarrollar una base sólida de conocimientos sobre la renovación avanzada de viviendas con ER, confort y conservación	BIPV BIST	Ejemplos de edificios históricos
New4Old	IEE	2007-2010	Promover la integración de medidas de ER y Eficiencia Energética (RUE) en edificios históricos	BIPV BIST	Edificios históricos
Sechurba	IEE	2008-2011	Demstrar las ventajas de la competitividad técnica, el ahorro económico y la protección mediante la aplicación de sistemas integrados de ER y distribución energética	BIPV BIST	Edificios y sitios históricos
IEA-SHC T41	IEA	2009-2012	Lograr una arquitectura de alta calidad para la integración de ER en edificios	BIPV BIST	Productos para edificios
3encult	FP7	2010-2014	Instalar productos comerciales menos intrusivos visualmente, con el compromiso de las autoridades del patrimonio	PV BIPV	Cubiertas
Enbau	Local (CH)	2010-2012	Promover la rehabilitación energética de edificios históricos con sistemas de ER	BIPV	Edificios históricos
SuRHIB	Local (CH)	2011	Desarrollar directrices técnicas y arquitectónicas para la integración de ER	BIPV	Edificios históricos
UrbanSol+	IEE	2011-2014	Aplicar energía solar térmica (ST) en renovaciones importantes y en zonas urbanas protegidas	ST	Edificios, ciudades
IEA-SHC T47	IEA	2011-2014	Desarrollar una base sólida de conocimiento sobre la renovación de edificios no residenciales hacia estándares NZEB	BIPV BIST	Ejemplos de edificios históricos
Effesus	FP7	2012-2016	Evaluar el potencial solar en pueblos históricos, preservando sus valores	BIPV	Cubiertas
IEA-SHC T51	IEA	2013-2017	Apoyar a urbanistas, autoridades y arquitectos para lograr integración arquitectónica de ER en zonas urbanas	BIPV	Ciudades y paisajes

CarSOL	Local (CH)	2016-2019	Promover tecnologías solares a nivel urbano en un proyecto piloto para que municipios produzcan ER y preserven sitios patrimoniales	BIPV BIST	Edificios y sitios históricos
IEA-PVPS T15	IEA	2016-2022	Establecer un marco para acelerar la integración fotovoltaica en edificios (BIPV)	BIPV	Productos para edificios
Rehib	Tecnio spring plus	2017-2019	Mejorar la aplicación de ER en edificios históricos	BIPV BIST	Edificios
Solarise	Interreg 2 Seas Mers Zeeën	2018-2021	Adoptar ER en edificios históricos y públicos, con enfoque en familias de bajos ingresos; desarrollar laboratorios vivos; reducir el impacto de ER en la red eléctrica	BIPV BIST	Cubiertas, fachadas, balcones, parasoles
IEA-SHC T59	IEA	2017-2021	Identificar y evaluar varias ER compatibles con edificios históricos	BIPV BIST	Edificios históricos
BIPV meets history	Interreg IT-CH	2019-2021	Crear una cadena de valor para BIPV en edificios y paisajes históricos; desarrollar una plataforma con ejemplos de edificios, productos y directrices	BIPV	Edificios, ciudades, paisajes
Pearls	H2020 MCSA (RISE)	2018-2022	Mejorar capacidades relacionadas con planificación espacial de ER, análisis y métodos de toma de decisiones en paisajes; comprender marcos legales y prácticas de implementación	BIPV BIST	Ciudades y paisajes
BIPV UPpeal	Local (IT)	2019-2020	Establecer bancos de pruebas al aire libre para verificar la aplicación de BIPV en paisajes	BIPV	Cubiertas y paisajes
ATLAS	Interreg Alpine Area	2018-2021	El proyecto ATLAS abordó el desarrollo sostenible de la arquitectura alpina histórica mediante una guía de estrategias de renovación optimizadas que equilibren sostenibilidad, impacto socioeconómico y valores culturales	BIPV	Edificios históricos
3ENCULT	FP7	2010-2014	Integración de ER en edificios históricos	BIPV	Edificios históricos
VIOLET	Interreg Europe	2017-2021	Mejorar políticas públicas regionales para aumentar la eficiencia energética en edificios tradicionales, abordando la reducción de carbono y la preservación cultural	—	—

Tabla 23 - Lista de proyectos, adaptado de (Elena Lucchi et al., 2020), (Alessia Buda & Tor Broström, 2021)

Anexo II – Ficha de evaluación técnica

Propuesta de formulario de evaluación técnica – Instalaciones renovables en patrimonio protegido

1. Identificación del Inmueble

Nombre/Identificación del edificio

Ubicación geográfica (dirección y coordenadas GPS)

Clasificación patrimonial: Sin clasificación / En proceso de clasificación/Clasificado()
Interés Nacional () Público () Municipal

Ubicado en Zona de Protección (ZP General / ZP Especial / Plan de Salvaguarda)

2. Caracterización Patrimonial y Urbanística

Existe un plan de salvaguarda municipal?

Existe restricción visual o morfológica en el Reglamento Municipal?

Edificio ubicado en ARU – Área de Rehabilitación Urbana?

Existen dictámenes previos de la DRC/Patrimonio Cultural, IP?

Consulta al SIPA (Sistema de Información del Patrimonio Arquitectónico)

3. Levantamiento Técnico-Arquitectónico

Tipo de cubierta: Tejado inclinado / Tejado plano / Lucernarios / Terraza accesible

Área útil disponible para instalación renovable: _____ m²

¿Existen obstáculos que generen sombra? (árboles, edificios, etc.): Sí / No

Orientación solar de la cubierta principal: Norte / Sur / Este / Oeste

4. Condiciones Técnicas del Edificio

La estructura de la cubierta permite carga adicional?

- Existen infraestructuras eléctricas adecuadas para autoconsumo?
- Estado de conservación de la cubierta y fachada: Bueno / Regular / Degradado

5. Compatibilidad con Soluciones Fotovoltaicas

- Son compatibles las tejas solares (ocultas o terracota)?
- Fachada ventilada o BIPV integrable?
- Son viables barandillas o elementos solares activos?
- Pavimento o sombreados fotovoltaicos posibles?
- Lucernarios ou janelas com PV semitransparentes viáveis?
- Existe riesgo visual/patrimonial asociado a la intervención?

Otros _____

6. Evaluación Legal y Administrativa

- ¿La intervención requiere?: Comunicación previa / Licencia urbanística / Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) / Dictamen de Patrimonio Cultural IP
- ¿Existen incentivos o apoyos disponibles para la instalación?
- ¿Ubicado en territorio con Plan Especial de Protección?

7. Aceptación Social y Participación Local

- Existe resistencia por parte de la población local?
- El edificio tiene función pública o turística?
- La propuesta será integrada en una estrategia de comunicación/sensibilización local?
- Participación previa de la comunidad o partes interesadas?

8. Síntesis de Viabilidad Técnica y Patrimonial

Clasificación preliminar del sitio en cuanto a la viabilidad de la instalación:

- Alta Viabilidad
- Viabilidad Condicionada
- Viabilidad Reducida
- No viable
- Otros observaciones
