Cátedra ENGIE-Nebrija "Energía y Transición Justa"

Análisis comparativo de la eficacia de las infraestructuras verdes existentes en España aplicado al sector de las energías renovables

ENGIE

UNIVERSIDAD NEBRIJA

Contenido

1. Una introducción a las infraestructuras verdes 3

1.1.¿Qué es una infraestructura verde? 3
1.2. Importancia de las infraestructuras verdes 6
1.3. Aplicación de la infraestructura verde 6

2. La infraestructura verde y sus beneficios 7

2.1. Los beneficios de las infraestructuras verdes 7

2.1.1. Beneficios Ambientales 7

2.1.2. Beneficios Económicos 8

2.1.3. Beneficios Sociales 8

2.1.4. Beneficios Culturales y Estéticos 9

3. La infraestructura verde y las energías renovables en España 10

3.1. Cambio climático, biodiversidad y el papel de las infraestructuras verdes 10
3.2 La importancia de las infraestructuras verdes en los proyectos de renovables 11
3.3. Soluciones y prácticas para desarrollar las infraestructuras verdes 12

3.3.1. Manchas de vegetación interna en forma de “stepping stones” 12

3.3.2. Agrovoltaica 13

3.3.3. Restauración de un tramo de ribera próximo al proyecto 13

3.3.4. Reacondicionamiento de caminos, senderos o espacios verdes usados por la comunidad 13

3.3.5. Plantaciones y siembras en el entorno del proyecto, fuera del área de implantación de las instalaciones renovables 14

3.4. Elementos y acciones de infraestructuras verdes aplicables a proyectos de energías renovables en España 14

4. Medidas ambientales y sociales de los proyectos eólicos y solares 17

5. La relación coste-beneficio del desarrollo de infraestructuras verdes 20

6. Mejoras y recomendaciones para aumentar la efectividad de estas infraestructuras 24

7. Análisis de la compatibilidad de estas medidas con la actividad 25

8. Conclusiones 27

9. Bibliografía 28

1. Una introducción a las infraestructuras verdes

En los últimos años, ha aumentado considerablemente la inquietud social en torno al cambio climático. Cada vez más empresas incorporan mejoras en sus sistemas de producción y en la eficiencia energética, con el objetivo de responder a esta creciente demanda de acciones sostenibles. Entre las cuestiones que generan mayor interés, destaca el uso de fuentes de energía contaminantes, lo que convierte a las renovables en una alternativa clave para mitigar los efectos del calentamiento global. En consecuencia, las compañías del sector energético trabajan en la optimización de sus estrategias. Estas empresas se enfrentan a diversos desafíos, como la posible suspensión de proyectos, los elevados costes de implementación y la necesidad de contar con una infraestructura adecuada para garantizar una integración eficiente y continua en las redes de distribución (Quintero et al., 2024). En este contexto, las soluciones basadas en la naturaleza, como las infraestructuras verdes, desempeñan un papel esencial en la incorporación sostenible de energías limpias, favoreciendo tanto la reducción del impacto ambiental como un uso más racional de los recursos naturales. Este enfoque ecológico ha ido ganando protagonismo en políticas públicas y estrategias de ordenación del territorio, consolidándose como una herramienta clave para asegurar los servicios ecosistémicos necesarios para el bienestar humano y una mejor calidad de vida. Sin embargo, aún no existe un consenso claro sobre qué se entiende exactamente por "infraestructura verde", ya que se trata de un concepto amplio.

Este informe tiene como objetivo profundizar en la implementación de infraestructuras verdes en España. La bibliografía y los casos de éxito sobre esta temática están ampliamente desarrollados en el entorno urbano, para el que existen múltiples ejemplos y estudios científicos. Sin embargo, existe una laguna en su aplicación en el sector industrial y concretamente en el sector de las energías renovables. Por todo ello, a lo largo de estas páginas, se realiza una recopilación de la información existente y de los tipos de propuestas que están comenzando a aplicar en España.

1.1.¿Qué es una infraestructura verde?

La noción de infraestructura verde se remonta a finales del siglo XIX, en el marco del desarrollo de teorías sobre planificación urbana y arquitectura del paisaje. Estas ideas impulsaban el embellecimiento de las ciudades como una forma de mejorar la calidad de vida y atraer nuevos habitantes a los centros urbanos (Benedict & McMahon, 2006). Uno de los pioneros en este campo fue Frederick Law Olmsted, considerado el padre de la arquitectura del paisaje en Estados Unidos. En sus proyectos, Olmsted integró dimensiones sociales, políticas y ecológicas, con el fin de responder a las necesidades de ocio y esparcimiento de la población urbana, al tiempo que promovía la sostenibilidad y el bienestar colectivo (Spirn, 1995). Un ejemplo emblemático de su legado es el Central Park de Nueva York, diseñado junto a Calvert Vaux en la década de 1850. Este espacio no solo se convirtió en un modelo para la planificación de zonas verdes en las ciudades, sino que también influyó profundamente en la posterior conceptualización de las infraestructuras verdes como elementos fundamentales para la resiliencia ambiental y la cohesión social en los entornos urbanos contemporáneos (Taylor, 2009).

En 2013, la Comisión Europea presentó una estrategia destinada a impulsar la adopción de infraestructuras verdes, reconociendo su papel esencial en la mitigación de amenazas a la biodiversidad. Esta iniciativa también buscó integrar la conservación de la naturaleza en diversas políticas sectoriales, facilitando así el cumplimiento de directivas europeas como la Directiva Marco del Agua, la Directiva de Inundaciones y las Directivas de Aves y Hábitats, además de contribuir a los objetivos establecidos en la Estrategia de Biodiversidad de la UE para 2020 (Las Infraestructuras Verdes, s. f.).

La propuesta se centró en fomentar el uso de este tipo de soluciones sostenibles en sectores clave como la agricultura, la silvicultura, la conservación de la naturaleza, la gestión del agua, los entornos marinos y pesqueros, así como en políticas regionales y de cohesión. También se abordaron ámbitos como la mitigación y adaptación al cambio climático, el transporte, la energía, la prevención de desastres y la planificación territorial. Entre sus prioridades figuraban el fortalecimiento de la

investigación y la recopilación de datos, el impulso a tecnologías innovadoras, la mejora del acceso a financiación y el apoyo a iniciativas que exploren la viabilidad de una red europea de infraestructuras verdes (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s. f.).

Dentro del marco europeo, se entiende por infraestructura verde el conjunto de espacios que abarca áreas naturales protegidas bajo normativas autonómicas, nacionales o internacionales, incluyendo aquellas integradas en la red Natura 2000. Esta definición también incorpora paisajes de alto valor cultural y visual, así como zonas estratégicas con limitaciones al desarrollo urbanístico, tales como áreas de riesgo natural, regiones vulnerables a la erosión o zonas de recarga de acuíferos. A diferencia de la infraestructura gris, esta red ecológica se concibe como una estructura planificada y gestionada de manera estratégica, compuesta por espacios naturales y seminaturales —así como otros elementos ambientales— diseñados para proporcionar una amplia gama de servicios ecosistémicos. Incluye tanto áreas verdes (terrestres) como azules (acuáticas), y se extiende desde entornos rurales hasta urbanos, abarcando también zonas costeras y marinas. Su carácter multifuncional permite ofrecer beneficios ecológicos, sociales y económicos mediante soluciones basadas en la naturaleza. Como señalan Feria y Santiago (2017), se trata de un “concepto paraguas” que engloba múltiples componentes a diferentes escalas: desde anillos verdes urbanos hasta redes regionales, nacionales o transnacionales enfocadas en la conservación de hábitats.

Es importante señalar que no existe una definición única y universalmente aceptada del término infraestructura verde, ya que su incorporación en la planificación territorial ha generado diversas interpretaciones y enfoques (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2011). En este contexto, la Estrategia Nacional de Infraestructura Verde, Conectividad y Restauración Ecológicas, desarrollada a partir de la Comunicación de la Comisión Europea de 2013, la define como “una red planificada estratégicamente y con coherencia ecológica, compuesta por áreas naturales y seminaturales, espacios verdes en entornos urbanos y rurales, así como ecosistemas terrestres, de agua dulce, costeros y marinos. En conjunto, estos elementos favorecen la conservación de la biodiversidad y proporcionan servicios ecosistémicos (SSEE) esenciales para el bienestar humano”. Además del enfoque ambiental, esta estrategia resalta el valor económico de la infraestructura verde, al promover soluciones basadas en la naturaleza como alternativas rentables y sostenibles frente a métodos tradicionales, especialmente ante desafíos como el cambio climático.

La definición de infraestructura verde incluye tres pilares fundamentales presentes en la mayoría de las interpretaciones del concepto (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2011):

- Conectividad ecológica, que garantiza la integración de los distintos espacios que la conforman.
- Multifuncionalidad, al combinar funciones ambientales, sociales y económicas.
- Enfoque estratégico, que implica una planificación y gestión coherente a largo plazo.

Desde esta perspectiva, la infraestructura verde se presenta como una herramienta integral capaz de generar beneficios ecológicos, económicos y sociales. Su función principal radica en conservar una red interconectada de áreas clave, garantizando así el equilibrio ambiental y la sostenibilidad en la gestión de los recursos naturales, fundamentales para la vida y el desarrollo del territorio.

En España, la adopción de enfoques basados en la infraestructura verde se está llevando a cabo de forma gradual (Rando-Burgos, 2021), ya que todavía son pocos los territorios que han incorporado estrategias o herramientas específicas en esta línea. Sin embargo, algunas comunidades autónomas como Andalucía, Cataluña, Valencia y Navarra ya han desarrollado planes regionales orientados a su implementación (Elorrieta y Olcina, 2021). Un hito relevante en esta materia fue la aprobación, el 27 de octubre de 2020, por parte del Consejo de Ministros, de la Estrategia Nacional de Infraestructura Verde, Conectividad y Restauración Ecológicas. Esta herramienta constituye un pilar fundamental para la planificación territorial, la conservación y recuperación de ecosistemas degradados, así como para la mejora de su conectividad. Su base legal se encuentra en la Ley de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, modificada por la Ley 33/2015, de 21 de septiembre, donde se reconoce su papel como instrumento esencial para la gestión y conocimiento del patrimonio natural.

Dicha estrategia destaca la importancia de establecer una red ecológica coherente y diseñada de manera estratégica, cuyo fundamento es la conservación de la biodiversidad y la valorización de los múltiples beneficios que los entornos naturales aportan a la sociedad. Entre estos se encuentran el disfrute cultural, las oportunidades de ocio y la mejora de la calidad del aire. Su planificación y gestión buscan garantizar tanto la provisión de servicios ecosistémicos como la protección de la biodiversidad, abarcando tanto espacios rurales como urbanos. El enfoque adoptado se vincula estrechamente con nociones clave como el capital natural, la multifuncionalidad, las soluciones basadas en la naturaleza, la conectividad ecológica, la restauración de hábitats y la resiliencia frente al cambio climático. La integración de estos principios permite avanzar hacia un modelo territorial más equilibrado, que combine la preservación del entorno con el bienestar humano.

La Estrategia Nacional establece siete metas prioritarias para avanzar hacia un modelo territorial más sostenible. En primer lugar, propone identificar y delimitar la red básica de este tipo de infraestructura a distintas escalas. También busca reducir la fragmentación del paisaje y las pérdidas de conectividad ecológica provocadas por el cambio en los usos del suelo y la proliferación de infraestructuras convencionales. Otro de sus objetivos clave es la restauración de hábitats y ecosistemas fundamentales, fomentando soluciones naturales que favorezcan tanto la biodiversidad como la prestación de servicios ecosistémicos. Asimismo, se plantea mantener y mejorar estos servicios esenciales, incrementar la resiliencia frente al cambio climático y asegurar una coherencia territorial mediante un modelo de gobernanza que coordine eficazmente a las distintas administraciones e instituciones. Finalmente, se destaca la necesidad de integrar este enfoque ecológico en las políticas sectoriales —especialmente en aquellas relacionadas con la ordenación del territorio y la evaluación ambiental—, promoviendo además la participación activa de la sociedad en su desarrollo e implementación.

La incorporación de este tipo de planificación en las políticas territoriales puede abordarse desde dos vías complementarias: por un lado, mediante la creación de instrumentos específicos para su ordenación; por otro, a través de su integración directa en los planes de planificación territorial existentes (Elorrieta & Olcina, 2021). En este sentido, el informe Construir una Infraestructura Verde para Europa (Comisión Europea, 2013) subraya que una de las formas más eficaces de avanzar en este campo es precisamente a través de la ordenación del territorio. Una adecuada planificación permite identificar y localizar con precisión los elementos que deben formar parte de esta red ecológica, lo cual facilita un equilibrio real entre el desarrollo económico y la sostenibilidad ambiental, favoreciendo una gestión más armoniosa del espacio.

Una vez definida la estrategia a nivel comunitario, su desarrollo en España se articula en tres escalas: nacional, autonómica y local. En el ámbito estatal, resulta esencial establecer un marco de actuación sólido que promueva la educación ambiental, la comunicación y la participación ciudadana en torno a las infraestructuras verdes (Comisión Europea, 2013). Este marco debe facilitar su integración en las distintas políticas sectoriales, impulsando tanto la conservación de los ecosistemas como la mejora de la conectividad ecológica. No obstante, el verdadero impulso a nivel territorial recae principalmente en las comunidades autónomas, cuyas legislaciones en materia de ordenación del territorio resultan clave para adaptar estas iniciativas a las características y necesidades específicas de cada región (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021). En los últimos años, se ha percibido un avance notable en la incorporación de criterios ambientales y de sostenibilidad en la normativa autonómica, lo que pone de manifiesto una creciente sensibilización hacia el desarrollo sostenible. Sin embargo, la dimensión paisajística sigue siendo, en muchos casos, un aspecto poco desarrollado (Elorrieta et al., 2016). A pesar de estas limitaciones, algunas comunidades han logrado avances significativos. La Comunidad Valenciana, por ejemplo, ha incluido principios de sostenibilidad y conectividad ecológica en su Estrategia Territorial (ETCV), mientras que Andalucía ha elaborado el Plan de Infraestructura Verde, Conectividad y Restauración Ecológica (PIVCR), centrado en la recuperación de ecosistemas degradados y en la implementación de soluciones basadas en la naturaleza.

1.2. Importancia de las infraestructuras verdes

Las infraestructuras verdes desempeñan un papel clave en la sostenibilidad, la conservación de la biodiversidad y la adaptación al cambio climático, al integrar soluciones naturales tanto en el entorno construido como en los ecosistemas. Dentro de sus principales tipologías se incluyen los espacios naturales protegidos, como parques nacionales, reservas de la biosfera y corredores ecológicos, elementos fundamentales para la preservación de la fauna y la flora. La conectividad entre estos espacios se ve reforzada mediante redes de corredores verdes y humedales, que facilitan el desplazamiento de especies y mejoran la funcionalidad ecológica del territorio. En ámbitos urbanos, la infraestructura verde se manifiesta en parques, jardines, cubiertas vegetales y zonas de recreación sostenibles, que favorecen la salud pública y la resiliencia frente a fenómenos climáticos extremos. A esto se suman las soluciones naturales aplicadas a la gestión del agua, como los sistemas de drenaje sostenible, los humedales artificiales y la recuperación de cuerpos hídricos urbanos. En el ámbito rural, vemos estas infraestructuras verdes en bosques, corredores ecológicos, manchas de vegetación en proyectos industriales, restauración de riberas o plantaciones lineales entre otros. Además, cabe destacar que en el sector agrario, también se promueven prácticas respetuosas con el medio ambiente a través de la agroforestería o la gestión ecológica de pastizales.

Por otro lado, el ámbito de la movilidad también incorpora enfoques ecológicos mediante la integración de pasos de fauna, corredores verdes en infraestructuras de transporte y redes de carriles bici diseñadas en armonía con el entorno natural. En su conjunto, estas acciones fomentan la creación de entornos más equilibrados y adaptados al cambio climático. Si bien la función principal de la infraestructura verde es ecológica —centrada en la conservación de la biodiversidad—, su utilidad trasciende este ámbito, aportando también beneficios productivos, culturales y sociales. Desde esta perspectiva, su gestión debe abordarse de forma integral. Además, invertir en este tipo de infraestructuras resulta económicamente eficiente, ya que las soluciones basadas en la naturaleza presentan un coste inferior frente a alternativas tecnológicas en la mitigación de los efectos del cambio climático (Valladares et al., 2017). La identificación, planificación y conservación de estas redes requiere un enfoque interdisciplinario, en el que convergen disciplinas como la ordenación del territorio, la arquitectura del paisaje, la ecología, la biología de la conservación, la silvicultura y el diseño de infraestructuras de transporte sostenibles.

1.3. Aplicación de la infraestructura verde

La planificación territorial de la infraestructura verde no debe limitarse a identificar los lugares más adecuados para su implantación, sino que también debe reconocer aquellas áreas multifuncionales que permitan la combinación de diversos usos del suelo, siempre en consonancia con la conservación y el fortalecimiento de ecosistemas saludables. Esta integración debe facilitar una convivencia armónica entre el desarrollo humano y la naturaleza, articulando el territorio de modo que se compatibilicen objetivos ambientales, sociales y económicos. En este sentido, resulta fundamental identificar espacios que, además de contribuir a la protección de la biodiversidad, favorezcan el acceso de las comunidades a servicios ecosistémicos esenciales, como la mejora de la calidad del aire, la regulación hídrica o el esparcimiento. El punto de partida para una planificación eficaz es la evaluación exhaustiva del potencial del territorio para ofrecer estos servicios (Comisión Europea, 2013; Benedict & McMahon, 2006). Esta evaluación debe considerar tanto la capacidad del entorno para proveer dichos beneficios como las posibilidades de conexión ecológica entre áreas clave (Opdam et al., 2006), lo que resulta indispensable para garantizar una red funcional y resiliente.

Sobre esta base, se pueden tomar decisiones estratégicas que optimicen la ubicación de intervenciones, maximizando sus beneficios ecológicos y sociales (Hansen & Pauleit, 2014). No obstante, el éxito de estas acciones también depende de incorporar la dimensión comunitaria en el proceso de planificación. La infraestructura verde, al tener impactos ambientales, sociales y económicos, debe diseñarse con la participación activa de las comunidades locales, cuyas necesidades, percepciones y conocimientos del territorio son clave para desarrollar soluciones eficaces y adaptadas al contexto (Hansen & Pauleit, 2014). La inclusión de actores relevantes —como

residentes, organizaciones civiles y administraciones locales— en la toma de decisiones no solo promueve la apropiación social de los proyectos, sino que también fortalece su viabilidad a largo plazo y refuerza el tejido social (Tzoulas et al., 2007). Así, la planificación participativa se convierte en un pilar esencial para garantizar la sostenibilidad y la equidad en el desarrollo de la infraestructura verde.

2. La infraestructura verde y sus beneficios

La infraestructura verde es clave para la provisión y mantenimiento de múltiples servicios ecosistémicos, los cuales se definen como los beneficios que los ecosistemas proporcionan a la sociedad, contribuyendo al bienestar humano y al equilibrio ambiental. El concepto de servicio ecosistémico es antropocéntrico, de modo que un bien o servicio que no beneficia al ser humano no es un servicio ecosistémico. Existen tres tipos de servicios ecosistémicos: de regulación, abastecimiento y culturales, que son clave para garantizar la sostenibilidad y el equilibrio entre el desarrollo y la conservación ambiental.

Los servicios ecosistémicos de regulación son fundamentales para el equilibrio ambiental, ya que estabilizan los sistemas naturales y crean condiciones óptimas para la vida. Incluyen el control de inundaciones, la purificación del agua y del aire, la regulación del clima y del ciclo hidrológico, el control de plagas y la polinización, contribuyendo tanto a la sostenibilidad de los ecosistemas como al bienestar humano. Por otro lado, los servicios de abastecimiento proporcionan bienes esenciales como alimentos, madera, fibra y energía, indispensables para la economía y el consumo humano. Finalmente, los servicios culturales ofrecen beneficios como el disfrute estético, el conocimiento científico y el bienestar emocional, fortaleciendo la conexión entre las personas y la naturaleza.

En su Comunicación titulada Infraestructura Verde: Mejora del Capital Natural de Europa, la Comisión Europea sintetiza los servicios ecosistémicos como "alimentos, materiales, agua limpia, aire puro, regulación climática, prevención de inundaciones, polinización y espacios recreativos" (Comisión Europea, 2013).

2.1. Los beneficios de las infraestructuras verdes

Invertir en infraestructura verde no solo es una estrategia para mejorar la sostenibilidad de las ciudades y regiones, sino también una herramienta clave para garantizar que los ecosistemas sigan proporcionando servicios esenciales para la vida. Además, son fundamentales para promover un desarrollo sostenible, ya que integran soluciones basadas en la naturaleza para mejorar la calidad del entorno y el bienestar de las comunidades. A continuación, se detallan los diferentes beneficios que las infraestructuras verdes presentan, tanto en los entornos urbanos como en los rurales.

2.1.1. Beneficios Ambientales

Las infraestructuras verdes desempeñan un papel fundamental en la sostenibilidad rural y urbana, ofreciendo múltiples beneficios ambientales. En el ámbito rural, aportan una serie de beneficios que complementan la producción energética o industrial. En primer lugar, favorecen la conservación de la biodiversidad, proporcionando hábitats y refugios para diversas especies de flora y fauna (Bolund & Hunhammar, 1999). Gracias a la mejora de la vegetación natural, se puede reducir la erosión del suelo y mejorar a su vez la infiltración del agua. Por tanto, estas soluciones pueden contribuir a la recarga de acuíferos y mejoran la calidad del agua ya que filtran contaminantes antes de que lleguen a cuerpos hídricos, promoviendo un equilibrio ecológico en el entorno (Pauleit et al., 2017). También la diversidad

de masa forestal en un estado óptimo ayuda a proteger el suelo, prevenir y reducir los impactos de las riadas, inundaciones o movimientos de tierra. Además, constituyen un hábitat para animales autóctonos (Comisión Europea, s.f.). Gracias a este tipo de acciones basadas en la naturaleza, la vegetación asociada a las infraestructuras verdes, puede actuar también como sumidero de carbono natural, ayudando así a la absorción de emisiones y mitigando el cambio climático.

2.1.2. Beneficios Económicos

Las infraestructuras verdes también conllevan beneficios económicos. En el entorno urbano, contribuyen a la valorización del suelo, ya que la presencia de parques, jardines y áreas recreativas aumenta el valor inmobiliario de las propiedades cercanas, debido a que estos espacios son más atractivos para compradores y arrendatarios, ya que mejoran la calidad de vida y fomentan el bienestar de la comunidad (Tzoulas et al., 2007). Además, permiten un ahorro en infraestructura y mantenimiento en comparación de las infraestructuras grises, ya que pueden resultar más rentables a largo plazo. Ejemplos son los tejados verdes y los jardines verticales que mejoran la eficiencia energética de los edificios al reducir la necesidad de calefacción en invierno y refrigeración en verano, además de disminuir la carga sobre los sistemas de drenaje tradicionales al gestionar de forma natural el agua de lluvia promoviendo un desarrollo más eficiente y sostenible (O'Callaghan & Andersson, 2017).

En un entorno rural, la implantación de infraestructuras verdes puede llegar a generar tanto empleos directos como indirectos. Los primeros son aquellos referidos a las actividades y tareas relacionadas con la restauración ecológica, el mantenimiento de la vegetación, la agricultura regenerativa o la gestión de los corredores verdes. En cuanto a los empleos indirectos, destacan los servicios técnicos necesarios para la correcta gestión de los proyectos implantados en territorio. También las auditorías ambientales que deban realizarse en el territorio (MITECO, s.f.) puede suponer una oportunidad de empleo para profesionales especializados en restauración ecológica o que contribuyan al cumplimiento del Plan de Vigilancia Ambiental de los activos renovables, por ejemplo.

Este impacto positivo en la economía local fortalece la resiliencia de las comunidades y promueve un crecimiento sostenible basado en la integración de soluciones ecológicas en el entorno urbano (Frantzeskaki & Kabisch, 2016).

2.1.3. Beneficios Sociales

Las infraestructuras verdes pueden ser también un catalizador de generación de beneficios sociales tanto en las ciudades como en los territorios rurales. En el plano urbano, desempeñan un papel fundamental en la mejora de la calidad de vida en las ciudades, aportando beneficios tanto a nivel individual como comunitario, no solo contribuyendo de manera significativa la salud y el bienestar a través del contacto con la naturaleza, además de tener un impacto positivo en la salud mental, reduciendo el estrés, la ansiedad y los síntomas de depresión (Tzoulas et al., 2007). Además, las áreas verdes fomentan la actividad física, promoviendo hábitos saludables como caminar, correr o andar en bicicleta, lo que puede reducir la incidencia de enfermedades cardiovasculares, diabetes y obesidad (Maas et al., 2006). Estudios han demostrado que la proximidad a estos espacios disminuye la mortalidad prematura, reforzando su importancia en el desarrollo urbano (Mitchell & Popham, 2008).

Por otro lado, estos espacios pueden servir como espacios de aprendizaje sobre sostenibilidad, cambio climático y conservación de los recursos naturales. A través de programas educativos, se fomenta la concienciación en la comunidad sobre la biodiversidad local, el reciclaje y las prácticas agrícolas sostenibles, contribuyendo a una mayor responsabilidad ambiental (Barton et al., 2015). Asimismo, favorecen las infraestructuras verdes la inclusión social y la cohesión comunitaria, ya que los parques y áreas recreativas son accesibles para todos, independientemente de su nivel socioeconómico, edad, origen o discapacidad (Kabisch et al., 2016). Estos espacios se convierten en puntos de encuentro donde las personas pueden compartir experiencias, fortaleciendo el sentido de comunidad y promoviendo interacciones entre diferentes grupos sociales (Frantzeskaki & Kabisch, 2016).

Estas soluciones naturales urbanas mejoran la resiliencia comunitaria frente a desastres naturales, como inundaciones, olas de calor o sequías. Su capacidad para absorber el agua de lluvia de manera natural ayuda a mitigar los efectos de las inundaciones, mientras que la vegetación reduce el calor urbano y proporciona sombra, disminuyendo las temperaturas extremas en las ciudades (Gill et al., 2007). Además, estos espacios sirven como refugio para la fauna durante fenómenos climáticos adversos, reforzando la adaptación de los entornos urbanos a los desafíos ambientales (Faivre et al., 2017).

En un entorno rural, este tipo de proyectos puede ayudar a mejorar el entorno cercano a las plantas de energías renovable o entornos industriales, creando oportunidades económicas y ayudando a fijar la población rural. Y es que la falta de población en el medio rural conlleva al abandono de las actividades rurales tradicionales, lo que genera la transformación de los paisajes como los conocemos a día de hoy. Esto impacta en las zonas más vulnerables que se ven afectadas por perturbaciones naturales, que son cada vez más agresivas y frecuentes. Uno de los efectos directos producidos por la despoblación en el medio ambiente, es el abandono de la gestión de las superficies terrestres y por lo tanto, una mayor erosión de las tierras dedicadas al cultivo (Fundación AQUAE, s.f.).

Las infraestructuras verdes, como herramienta, pueden contribuir a la reducción del riesgo a la despoblación, al generar empleo local con actividades como la restauración ecológica, como se ha indicado anteriormente. Los enfoques de restauración de ecosistemas, son rentables y pueden ser accesibles para comunidades rurales y con menos recursos. Por ejemplo, la protección y restauración de zonas de recarga de aguas subterráneas o su restauración, aseguran los recursos hídricos para que las comunidades, y aseguran el suministro de este recurso para que puedan hacer frente a fenómenos como las sequías (Comisión Europea, 2020) Además, pueden ser una fuente de diversificación económica ya que la combinarse las infraestructuras renovables en el territorio con la agricultura o la ganadería, se generan nuevos espacio de actividad económica abriendo la posibilidad a nuevas fuentes de ingresos para agricultores o ganaderos.

2.1.4. Beneficios Culturales y Estéticos

Las infraestructuras verdes también enriquecen la identidad cultural y el desarrollo económico de las ciudades y de los entornos rurales. Su impacto en la estética y el valor cultural es significativo, ya que embellecen el paisaje urbano y refuerzan el patrimonio local. Espacios como parques históricos, jardines botánicos y huertos urbanos no solo son visualmente atractivos, sino que también forman parte del legado cultural de las comunidades (Tzoulas et al., 2007). Estos lugares, además de ser puntos de interés turístico, sirven como escenarios para diversas actividades culturales y eventos, incluyendo conciertos, festivales y exposiciones de arte, promoviendo la vida cultural y el sentido de pertenencia en la sociedad (Barton et al., 2015).

Asimismo, estas infraestructuras desempeñan un papel clave en la promoción del ecoturismo, al ofrecer espacios naturales dentro de entornos urbanos y periurbanos. Este tipo de turismo fomenta la interacción con la naturaleza y el disfrute de paisajes verdes, generando una fuente de ingresos para las comunidades locales (Boley et al., 2017). Al mismo tiempo, incentiva la sostenibilidad al promover actividades respetuosas con el medio ambiente, como rutas ecológicas, observación de fauna y talleres de educación ambiental (Gómez-Baggethun & Barton, 2013). En conjunto, la integración de infraestructuras verdes no solo fortalece el atractivo cultural y turístico de las ciudades, sino que también impulsa un modelo de desarrollo sostenible que beneficia tanto a los residentes como a los visitantes (Kabisch et al., 2016).

En el entorno rural, la regeneración de hábitats o mejora de paisajes, son elementos que pueden atraer un grupo concreto de turistas. Cabe destacar, como claro ejemplo de cómo las infraestructuras verdes pueden impactar en el turismo, es el desarrollado a lo largo del Camino Lebaniego en España. El proyecto Steps for Life busca mejorar la conectividad ecológica del camino Lebaniego, mejora el estado de los hábitats, proporciona herramientas técnicas a los gestores del camino y busca atraer a más turistas. Hasta ahora, ha restaurado 224.3 metros de muros, mejorado 4.9 hectáreas de árboles,

restaurado 35 bebederos de animales, creado 17 charcas y eliminadas especies invasoras de 35 hectáreas. Además, ha generado 20 empleos y alcanzado a 250 escolares.

3. La infraestructura verde y las energías renovables en España

3.1. Cambio climático, biodiversidad y el papel de las infraestructuras verdes

Las infraestructuras verdes son una herramienta diseñada para mitigar el cambio climático y adaptarse a él. De acuerdo con la estrategia europea de infraestructuras verdes, estas pueden mejorar la capacidad de adaptación de los ecosistemas. Se encuentran entre las herramientas aplicables, viables económicamente y eficaces para enfrentar los efectos del cambio climático.

Estratégicamente, se puede adoptar este enfoque empleando soluciones de infraestructura verde, para utilizar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos como parte de una estrategia de adaptación de las empresas o instituciones, que ayuda a mitigar los efectos adversos del cambio climático.

Las infraestructuras verdes son una herramienta para reducir, por ejemplo, la huella de carbono en el transporte y suministro de energía, mitigando los efectos en la ocupación y fragmentación de tierras y en la planificación del uso del suelo, ecosistemas y biodiversidad. El cambio climático y el desarrollo de este tipo de infraestructuras aumentan la vulnerabilidad de zonas propensas a inundaciones, deslizamientos de tierra, avalanchas, incendios forestales y tormentas. La infraestructura verde puede reducir el impacto de estos fenómenos en la sociedad y el medio ambiente mediante soluciones como llanuras de inundación funcionales, bosques ribereños, bosques de protección en montañas, cordones litorales y humedales costeros. También puede disminuir la vulnerabilidad ayudando y fortaleciendo los medios de subsistencia y las economías locales (Estrategia Europea de Infraestructuras Verdes). Invertir en estas medidas reduce el riesgo, fomenta enfoques innovadores en la gestión de riesgos, apoya la adaptación al cambio climático y promueve medios de vida sostenibles y crecimiento verde.

El capital natural se compone de diversos elementos fundamentales que deben considerarse al implementar infraestructuras verdes en cualquier entorno económico. Entre estos elementos destacan la tierra y el suelo, así como el agua y la conservación de la naturaleza.

La tierra y el suelo son elementos esenciales de los recursos naturales de la Unión Europea y de España. Sin embargo, cada año se ocupan más de 1000 km² de territorio para viviendas, usos industriales, carreteras o fines recreativos (Estrategia Europea de Infraestructuras Verdes). En muchas regiones, el suelo padece erosión o tiene un escaso contenido en materia orgánica. La contaminación de éste representa otro problema grave. La incorporación sistemática de consideraciones ligadas a la infraestructura verde en el proceso de planificación y de toma de decisiones puede ayudar a reducir la pérdida de servicios ecosistémicos asociada a la ocupación de la tierra y como consecuencia, a su erosión.

En el ámbito rural, la gestión de las tierras dedicadas a actividades tradicionales, como la agricultura y la ganadería, incide de manera directa en el estado del capital natural. Las políticas agrícolas y el fomento del desarrollo rural proporcionan instrumentos que pueden fomentar la infraestructura verde y potenciar las áreas con un elevado valor natural en los entornos rurales. Claro ejemplo de estas medidas, son las que se han desarrollado en el marco de la PAC (Comisión Europea, 2013) como medidas de conservación de paisajes agrícolas, mantenimiento y mejora de setos, franjas de protección, terrazas, muros en seco o medidas que combinan la silvicultura y el pastoreo,

En esta línea, otras estrategias nacionales ya abordan la infraestructura verde. La Estrategia Forestal española integra más aspectos ambientales y aborda la consecución del primer subobjetivo forestal en el marco de la Estrategia sobre la Biodiversidad. Asimismo, estudia las medidas para reducir de forma

significativa la fragmentación y degradación de los bosques, así como su contribución al reto de la despoblación y abandono del medio rural (MITECO, 2022) En esta estrategia, también se detalla cómo restablecer los bosques degradados puede ayudar, por un lado, a mejorar el estado de conservación de especies y hábitats que dependen de la silvicultura o se ven afectados por ella y, por otro lado, a mejorar la prestación de servicios ecosistémicos asociados. La infraestructura verde puede hacer una aportación constructiva en este sentido proporcionando un marco coherente dentro del cual se conserven y potencien las características y funciones naturales de las zonas forestales.

Entre los elementos del paisaje, los bosques pueden ser una herramienta para aplicar como solución de infraestructura verde. Entre las acciones que se pueden implementar destacan los corredores ecológicos, incluyendo los sotos y ribazos, zonas de mosaico agroforestal, los cursos fluviales, los bosques y la vegetación de ribera asociada, las vías pecuarias y los caminos rurales y forestales, las zonas de alta conectividad entre áreas de la Red Natura 2000 con mayor número posible de asociaciones vegetales y finalmente las cadenas montañosas y los valles y barrancos (MITECO, 2022).

Los hábitats forestales se consideran zonas núcleo prioritarias para la conservación, dentro de la estrategia nacional de infraestructuras verdes. Los proyectos de restauración forestal deben adoptar una visión integral del sistema, enfocándose en restaurar sistemas multifuncionales y optimizar los servicios ecosistémicos, asegurando su integración funcional en el paisaje y prestando especial atención a la conectividad ecológica y la propagación de plagas y fuego.

Un segundo elemento, del capital natural, tratado como elemento fundamental de esta materia, es el agua. Su integración ligada a las infraestructuras verdes, principalmente en la gestión de las cuencas hidrográficas puede contribuir en una medida significativa a mejorar la calidad del agua, mitigando los efectos de las presiones hidromorfológicas y reduciendo las repercusiones de inundaciones y sequías (Comisión Europea, 2013).

Por último, la conservación de la naturaleza es el tercer elemento a tener en cuenta. La red Natura 2000 es un espacio creado por la Unión Europea y aplicado en España. Se estableció para conservar y proteger especies y hábitats clave en toda la Unión Europea y España. También ofrece numerosos servicios ecosistémicos. El valor de esos servicios se estimó entre 200 000 y 300 000 millones de euros al año Estrategia Europea de Infraestructuras Verdes (Comisión Europea, 2013). Esta red es la columna vertebral de la infraestructura verde de la UE. Se trata de un reservorio de biodiversidad que puede utilizarse para repoblar y revitalizar medios degradados y catalizar el desarrollo de la infraestructura verde, lo que contribuirá asimismo a reducir la fragmentación de los ecosistemas y mejorar la conectividad de los sistemas.

En España la Red está formada actualmente por 1.468 Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), incluidos en las Listas de LIC aprobadas por la Comisión Europea, y por 662 Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) (MITECO, s.f.). No obstante existen cuestiones como el avance de las especies exóticas invasoras, el cambio global, la falta de gestión efectiva, los procesos de erosión, el empobrecimiento de los sistemas o la fragmentación de los hábitats que afectan directamente al estado ecológico de estos espacios protegidos. En este sentido, la restauración ecológica en espacios protegidos ayuda a la mejor conservación de las especies, a incrementar el bienestar humano, a fortalecer la conectividad de los ecosistemas a escala de paisaje, a restablecer la provisión de servicios de los ecosistemas y a mejorar la experiencia de los visitantes. De igual manera, la restauración de los ecosistemas que aumente la conectividad entre las áreas protegidas proporciona una mejora del estado de conservación de estos y de los servicios de los ecosistemas que proporcionan.

3.2 La importancia de las infraestructuras verdes en los proyectos de renovables

El desarrollo de infraestructuras verdes en los proyectos de energías renovables es fundamental para maximizar su sostenibilidad y minimizar su impacto ambiental (Comisión Europea, 2013). La expansión de fuentes de energía limpia, como la solar, eólica e hidroeléctrica, es clave en la transición energética, pero su implementación debe considerar el equilibrio con los ecosistemas para garantizar un desarrollo

verdaderamente sostenible (IPCC, 2022). La integración de soluciones basadas en la naturaleza, como corredores ecológicos, reforestación de áreas circundantes, sistemas de drenaje sostenible y restauración de ecosistemas, permite reducir los impactos en la biodiversidad y mejorar la resiliencia del territorio frente al cambio climático (IUCN, 2020; UNEP, 2021).

En el caso de parques eólicos y plantas solares, la infraestructura verde juega un papel esencial en la regulación hídrica, ya que contribuye a la retención del agua, evitando la erosión del suelo y favoreciendo la infiltración de agua en el terreno (Anderson et al., 2017). Esta capacidad es particularmente relevante en zonas áridas o semiáridas, donde la alteración del paisaje puede generar procesos de desertificación si no se toman medidas adecuadas (UNCCD, 2018). La restauración de vegetación nativa y la implementación de cubiertas vegetales en terrenos utilizados para la generación de energía pueden ayudar a conservar el suelo, mejorar su fertilidad y garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas locales (Villarreal et al., 2020). Además, estas soluciones ecológicas actúan como sumideros de carbono, contribuyendo significativamente a la mitigación del cambio climático (Foley et al., 2021).

La integración de estas soluciones basadas en la naturaleza en proyectos energéticos no solo ofrece beneficios ambientales, sino que también permite crear un equilibrio entre la transición energética y la preservación del capital natural (Hansen et al., 2020). Además, la planificación de proyectos renovables con un enfoque de infraestructura verde no solo permite optimizar la sostenibilidad ambiental, sino que también desempeña un papel crucial en la protección y promoción de la biodiversidad. Además, la integración de áreas de vegetación entre los paneles solares de proyectos de gran escala no solo mejora la biodiversidad, sino que también contribuye a la regulación térmica del suelo y a la reducción del efecto “isla de calor” (Jäger et al., 2021).

En España, la infraestructura verde es esencial en proyectos de energías renovables. Es un país con un gran potencial para aprovechar recursos renovables, como la energía solar y la eólica (Ministerio para la Transición Ecológica, 2020). La integración de soluciones basadas en la naturaleza no solo optimiza el uso del territorio, sino que también facilita la conservación de la biodiversidad, mejora la resiliencia de los ecosistemas ante los efectos del cambio climático y contribuye a la mejora de los servicios ecosistémicos locales (Tao et al., 2019). De este modo, los proyectos de energías renovables pueden minimizar su huella ambiental mientras potencian el bienestar humano y natural, logrando un equilibrio entre el progreso energético y la preservación de los recursos naturales (Comisión Europea, 2020). En España, donde la transición energética es crucial para cumplir con los compromisos climáticos del país, la infraestructura verde juega un papel fundamental al equilibrar el desarrollo de las energías renovables con la protección del medioambiente (García-López et al., 2021).

3.3. Soluciones y prácticas para desarrollar las infraestructuras verdes

El desarrollo de infraestructuras verdes en el contexto de proyectos energéticos, como las plantas fotovoltaicas, es fundamental para mitigar los impactos ecológicos, fomentar la conectividad de hábitats y maximizar los servicios ecosistémicos. A continuación, se detallan algunas prácticas estratégicas orientadas a la integración ambiental de estos proyectos.

3.3.1. Manchas de vegetación interna en forma de “stepping stones”

La implementación de manchas de vegetación dentro del perímetro del parque fotovoltaico, también conocidas como “stepping stones” o “islas de biodiversidad”, consiste en la creación de parches de vegetación natural o seminatural distribuidos estratégicamente entre los paneles solares. Estas áreas vegetales ~~das~~ actúan como microhábitats para la fauna local y facilitan el movimiento de especies entre hábitats fragmentados, aumentando la conectividad ecológica. Sirven como nodos intermedios para especies menos móviles, especialmente polinizadores, pequeños mamíferos, reptiles y aves (Opdam & Wascher, 2004). Pueden incluir especies autóctonas de bajo porte, estructuras de refugio (troncos,

rocas, charcas), y ser ubicadas en zonas con menor eficiencia energética por sombreado.

En el momento de implementar los “stepping stones” es importante distribuirlos en red a lo largo del área, conectando zonas de valor ecológico dentro y fuera del perímetro. Además, deben colocarse en zonas de bajo rendimiento energético (sombreado, bordes, laderas), para no afectar la producción eléctrica. La composición vegetal de estas islas debe consistir en especies autóctonas y adaptadas al clima local, priorizando especies que generen estructura vertical y floración escalonada, alcanzando una superficie mínima por mancha de 10-50 metros cuadrados, con una forma irregular que recuerde a los patrones naturales. Por ejemplo, se puede emplear lavanda, romero, gramíneas locales o pequeñas leguminosas. Una vez instaladas estas estructuras, también es importante el mantenimiento, llevando a cabo cortes o desbroces estacionales, evitando épocas de nidificación o floración máxima, y evitando el uso de pesticidas y herbicidas.

3.3.2. Agrovoltaica

La agrovoltaica es una solución innovadora que combina la producción agrícola con la generación de energía solar sobre el mismo terreno, maximizando el uso del suelo y favoreciendo la sostenibilidad. Este modelo busca resolver la competencia por el suelo entre agricultura y producción energética, especialmente relevante en zonas rurales donde la instalación de grandes parques solares puede desplazar usos agrícolas tradicionales. Además, reduce el consumo de agua en cultivos gracias a la sombra parcial (Valle et al., 2017). Hay que tener en cuenta que la elección de cultivos debe adaptarse a las condiciones microclimáticas creadas por los paneles. Por ejemplo, Alemania y Francia han adoptado esta práctica como parte de sus estrategias de transición energética con menor impacto en el territorio (Dupraz et al., 2011).

3.3.3. Restauración de un tramo de ribera próximo al proyecto

La restauración ecológica de riberas adyacentes al área del proyecto es una herramienta efectiva para compensar impactos ambientales y mejorar la funcionalidad ecológica del paisaje. Gracias a esta restauración se consigue recuperar la vegetación riparia autóctona, mejorar la calidad del agua y controlar la erosión de suelos. Además, permite establecer corredores biológicos asociados a los cauces hídricos.

Para realizar estas restauraciones es importante realizar primero un diagnóstico y una caracterización integral del tramo, con un inventario de especies, un registro del estado del cauce y la calidad del agua. Además, el diseño debe adaptarse al régimen hidrológico, la geomorfología y la vegetación potencial del lugar.

3.3.4. Reacondicionamiento de caminos, senderos o espacios verdes usados por la comunidad

El reacondicionamiento de espacios de uso social y recreativo, como caminos vecinales, senderos y antiguos pasos tradicionales, representa una oportunidad estratégica para integrar los proyectos de energías renovables en el territorio desde una perspectiva ambiental, social y cultural. Estas actuaciones pueden incluir la estabilización de taludes mediante técnicas de bioingeniería —como el uso de especies vegetales autóctonas que fortalecen la estructura del suelo—, la revegetación de los márgenes con plantas adaptadas al ecosistema local, la instalación de señalización ambiental e interpretativa que informe a los visitantes sobre la biodiversidad, el patrimonio o los servicios ecosistémicos, así como la incorporación de mobiliario sostenible (MITECO, s. f.; GEA Ambiental, s. f.).

Además, una acción clave es la conexión de estos senderos con redes de infraestructura verde ya

existentes, como ocurre en iniciativas como el Arco Verde de la Comunidad de Madrid, que integran corredores ecológicos, caminos rurales y espacios naturales para facilitar la movilidad sostenible y la conectividad ecológica (Comunidad de Madrid, s. f.). Este tipo de actuaciones contribuyen también a la restauración de paisajes fragmentados, al control de la erosión y al fortalecimiento de la resiliencia del entorno frente al cambio climático.

Desde el punto de vista social, estas intervenciones fomentan el acceso a la naturaleza, el uso recreativo del entorno y la recuperación del patrimonio cultural asociado al territorio. Asimismo, promueven el ecoturismo, la educación ambiental y la implicación ciudadana en el uso responsable y sostenible del medio natural. Adicionalmente, para asegurar el éxito y la sostenibilidad de estos espacios, es fundamental contar con una planificación integrada, el respaldo institucional y la participación activa de la ciudadanía. Solo así es posible que los proyectos de energías renovables no solo generen beneficios ambientales y económicos, sino que también impulsen procesos de regeneración social y territorial en las áreas donde se implantan (FEDME, 2018).

3.3.5. Plantaciones y siembras en el entorno del proyecto, fuera del área de implantación de las instalaciones renovables

La revegetación de los terrenos colindantes a una planta fotovoltaica constituye una estrategia clave para potenciar la integración paisajística y ecológica del proyecto en su entorno inmediato. Estas plantaciones pueden cumplir múltiples funciones, actuando como pantallas visuales que mitigan el impacto paisajístico de la infraestructura, como barreras naturales que favorecen la conectividad ecológica entre hábitats fragmentados, y como hábitats complementarios que enriquecen la biodiversidad local. Para asegurar su eficacia y sostenibilidad, es fundamental emplear especies autóctonas adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de la zona, favoreciendo así su resiliencia y bajo mantenimiento a largo plazo. Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), el uso de vegetación nativa en restauración ecológica no solo mejora la integración ambiental, sino que favorece la estabilidad del suelo y el funcionamiento de los ecosistemas restaurados (MITECO, s. f.).

Además, se recomienda adoptar un diseño vegetal estratificado que combine distintos niveles de vegetación (arbórea, arbustiva y herbácea), lo cual no solo incrementa la diversidad estructural del paisaje, sino que también proporciona refugio, alimento y corredores para numerosas especies de fauna. Este enfoque, integrado en una planificación territorial más amplia, puede contribuir significativamente a restaurar zonas degradadas, reforzar la función ecológica del entorno agrícola o forestal circundante y fortalecer los vínculos entre el proyecto y la comunidad local, promoviendo al mismo tiempo prácticas de conservación y desarrollo rural sostenible.

3.4. Elementos y acciones de infraestructuras verdes aplicables a proyectos de energías renovables en España

En España, la integración de infraestructuras verdes en proyectos de energías renovables ha ganado relevancia en los últimos años, ya que no solo se busca generar energía limpia, sino también contribuir a la sostenibilidad ambiental, la mitigación del cambio climático y la mejora del paisaje. La transición energética hacia fuentes renovables como la solar y la eólica presenta desafíos ambientales que requieren un enfoque holístico que considere tanto la eficiencia energética como la conservación de los ecosistemas. Por ello, muchos proyectos de energías renovables en España están incorporando soluciones basadas en la naturaleza, tales como la reforestación, la creación de corredores ecológicos, y la restauración de hábitats naturales para mitigar los efectos negativos sobre la biodiversidad (Barton et al., 2018).

La infraestructura verde, como se ha demostrado en diversos estudios, puede desempeñar un papel crucial en la regulación del clima local, la mejora de la calidad del aire, y la promoción de la resiliencia

de los ecosistemas ante fenómenos climáticos extremos (Santos et al., 2020). Además de los beneficios ecológicos, la implementación de infraestructuras verdes en proyectos renovables tiene un impacto positivo en las comunidades locales. La creación de espacios verdes y zonas de ocio, como parques y senderos ecológicos, fomenta el ecoturismo, promueve la educación ambiental y mejora el bienestar social. Estos proyectos también pueden aumentar la aceptación pública de las instalaciones energéticas, al ofrecer una visión más equilibrada entre la generación de energía y la preservación de los recursos naturales. En un contexto global donde la lucha contra el cambio climático se ha convertido en una prioridad, la integración de la infraestructura verde se presenta como una estrategia clave para garantizar una transición energética que sea tanto sostenible como justa para las futuras generaciones (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2021).

Estas medidas sirven para complementar el impacto positivo en la biodiversidad de las medidas de restauración y compensatorias que se están implantando por las declaraciones de impacto ambiental de los proyectos.

Siguiendo la estrategia nacional de infraestructuras verdes, se han identificado en la siguiente tabla, los principales elementos o acciones que se pueden llevar a cabo en el entorno del sector energético, para integrar las infraestructuras verdes en la actividad empresarial.

Tabla 1

Principales elementos o acciones a realizar en el entorno del sector energético, para integrar las infraestructuras verdes en la actividad empresarial.

TIPO DE ELEMENTO O ACCIÓN	FUNCIÓN	TIPO
Corredores ecológicos	Franjas de vegetación continua que permiten el desplazamiento de especies	Ecológicos
Plantaciones lineales y cortavientos	Estos elementos, integrados como infraestructuras verdes que pueden cumplir la función de refugio para fauna, conectividad ecológica	Ecológicos
“Stepping stones” o pequeñas teselas	Favorecen los desplazamientos de la fauna y la flora, con prioridad en hábitats de reducida extensión por sus características muy específicas y/o que han desaparecido en amplias zonas, pero que quedan próximos a hábitats similares con un buen estado de conservación. Destacan entre estas medidas: lindes, terrazas, islas de vegetación, setos, charcas, árboles aislados o en hilera, árboles en grupo, majanos, pequeñas construcciones antiguas de piedra.	Ecológicos
Bosques y montes	Consiste en acciones como la restauración forestal con proyectos hidrológico-forestales, post-incendio, restauración de riberas, restauración de espacios mineros, restauración del litoral y zonas costeras, restauración de vertederos o recuperación de montes quemados.	Ecológicos

Humedales	Ayudan en la fijación de carbono, gracias a una elevada producción y una descomposición sumamente lenta; Control de inundaciones, debido a su capacidad para almacenar agua y reducir la energía de los ríos tras las tormentas; Producción de alimentos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y aves. Ofrecen también otras muchas funciones de servicios indirectos para nuestra sociedad, como la descomposición de la materia orgánica o el control de inundaciones.	Ecológicos
Agricultura	La integración de la actividad agrícola en los parques, para evitar la pérdida de conectividad por la intensificación de esta actividad, especialmente en zonas consideradas de interés para la conectividad y la provisión de servicios ambientales.	Ecológicos/Productivos
Acciones para especies acuáticas	En aquellas infraestructuras que no puedan ser eliminadas de los ríos, llevar a cabo acciones que permitan a las especies de fauna acuática propias de cada tramo, franquear dichos obstáculos de forma segura y eficaz. La mejora del hábitat alrededor de estas infraestructuras sirve de apoyo al éxito de las medidas de permeabilización (de dichos obstáculos)	Ecológicos
Bandas protectoras de vegetación	Creación de bandas protectoras de vegetación, con una anchura optima según los objetivos y las características específicas del tramo fluvial, para el control de la contaminación difusa procedente de la agricultura	Ecológicos
Restauración de áreas críticas	Identificación de áreas críticas en las que es preciso restaurar la conectividad ecológica (desfragmentar) que se encuentre afectada por el efecto de carreteras, ferrocarriles y canales e infraestructuras hidráulicas	Ecológicos
Trashumancia	Apoyo y recuperación de la trashumancia a través de las vías pecuarias	Productivo
Sistemas Ribereños	Restauración de la vegetación natural de los sistemas ribereños	Ecológico
Setos o cercas vivas	Plantación de setos o cercas vivas en las lindes entre tierras de cultivo, bordes de camino y ribazos, en función del hábitat y en aquellas zonas concretas donde se considere como positivo para la conectividad y se valore que no tendrá otros efectos negativos en el entorno	Ecológico/Sociales/Paisajísticos

Márgenes de la red de infraestructura viaria	Restauración ecológica de los márgenes de la red de infraestructura viaria en aquellas zonas y condiciones donde sea posible, evitando favorecer el riesgo de colisión y atropello de fauna y la introducción y Expansión de especies exóticas invasoras	Ecológico/Sociales/Paisajísticos
Pasos de fauna de todo tipo	Restauración de hábitats degradados por tipos de hábitats, su amenaza, estado de degradación y contribución a la conectividad ecológica de sus elementos funcionales, ya sean vegetales o poblaciones animales características o que utilicen el hábitat en su dispersión. EL objetivo es minimizar su impacto y favorecer la permeabilidad mediante la construcción de estructuras de conectividad.	Ecológico
Conectores en hábitats	Creación de conectores entre manchas de vegetación leñosa natural, pastos, zonas costeras y otros hábitats protegidos	Ecológicos
Restauración de sistemas fluviales	Restauración de cauces y llanuras de inundación humedales, acuíferos y zonas costeras, con el fin de que contribuyan al almacenamiento de agua y carbono, la mejora de la calidad del agua y la generación de hábitats de interés	Ecológicos/Sociales

4. Medidas ambientales y sociales de los proyectos eólicos y solares

En el contexto de la transición hacia fuentes de energía renovable, tanto los proyectos eólicos como solares juegan un papel crucial en la reducción de las emisiones de carbono y la promoción de un futuro más sostenible. Sin embargo, estos proyectos también tienen implicaciones para los ecosistemas y las comunidades locales, por lo que es importante considerar sus impactos ambientales y sociales. A continuación, se presenta una tabla que compara el impacto ambiental y las estrategias de sostenibilidad de los proyectos eólicos y solares. Ambos tipos de energía renovable tienen efectos sobre la biodiversidad, el uso del suelo, la resiliencia climática y la integración con las comunidades locales. Sin embargo, cada uno de estos proyectos ofrece soluciones específicas para mitigar sus efectos y promover prácticas sostenibles a largo plazo. Esta tabla destaca diversas iniciativas, como la implementación de corredores ecológicos, el uso de agrovoltaica, la restauración de hábitats y la integración de tecnologías verdes, para maximizar los beneficios de ambos enfoques energéticos mientras se minimiza su impacto ambiental.

Tabla 2

Medidas implementadas en los proyectos eólicos y solares para reducir el impacto sobre la biodiversidad, regenerar el paisaje, promover la resiliencia climática, integrar las comunidades locales y asegurar la sostenibilidad a largo plazo.

ACCIÓN	PROYECTOS EÓLICOS	PROYECTOS SOLARES
Biodiversidad	Implementación de corredores ecológicos para minimizar la fragmentación de hábitats, permitiendo que la fauna local se desplace sin obstáculos.	Introducción de agrovoltaica, combinando cultivos con paneles solares para aumentar la biodiversidad del suelo y mejorar la polinización.
		Creación de hábitats debajo y alrededor de los paneles, con vegetación autóctona que favorece insectos y pequeños mamíferos.
Uso del suelo y regeneración del paisaje	Restauración del suelo y revegetación alrededor de los activos para minimizar la erosión y fomentar la biodiversidad vegetal.	Introducción de stepping stones en el terreno
	Ocupan menos superficie en comparación con los proyectos solares, permitiendo la coexistencia con actividades agrícolas y ganaderas.	Requieren grandes extensiones de terreno, por lo que la infraestructura verde debe enfocarse en revegetación y control de la erosión.
	Se minimiza la fragmentación del ecosistema al diseñar adecuadamente los accesos y caminos de mantenimiento.	Se pueden implementar cubiertas vegetales bajo los paneles solares para mejorar la calidad del suelo y evitar la desertificación.
		Uso de estructuras elevadas para permitir la coexistencia con cultivos y ganado.
Resiliencia climática y protección contra la desertificación	Se pueden plantar árboles y arbustos resistentes al viento para mitigar la erosión del suelo y mejorar la captación de agua.	El uso de cubiertas vegetales bajo los paneles solares ayuda a mantener la humedad del suelo y evitar la desertificación.
	La reforestación en parques ayuda a capturar CO_2 y mejorar la retención de humedad en el suelo.	Los sistemas agrovoltaicos protegen los cultivos del exceso de calor y reducen la evaporación del agua.
		Implementación de zonas verdes con árboles y arbustos para reducir el efecto de isla de calor en plantas solares en zonas urbanas.
Integración con	Restauración del paisaje con vegetación autóctona para	Uso de paneles solares en tejados verdes urbanos, combinando

comunidades locales	minimizar el impacto visual de los activos	producción de energía con áreas de esparcimiento.
	Creación de espacios verdes o senderos ecológicos alrededor de los activos para uso comunitario.	Incorporación de jardines polinizadores para mejorar la biodiversidad y apoyar a los agricultores locales.
	Participación de comunidades locales en proyectos de reforestación y conservación.	Creación de zonas de sombra con paneles solares en parques y espacios públicos.
Sostenibilidad a largo plazo	Programas de monitoreo ambiental para evaluar el impacto en aves y ecosistemas.	Desarrollo de tecnologías solares integradas en infraestructuras verdes rurales o urbanas para maximizar la sostenibilidad.
	Posibilidad de reutilizar infraestructuras al final de la vida útil del parque, dejando espacios verdes rehabilitados.	Uso de paneles fotovoltaicos flotantes en embalses y lagos, reduciendo la evaporación del agua y generando energía.
	Uso de materiales reciclables y sistemas de captación de agua para riego de vegetación restaurada.	Reciclaje y reutilización de paneles solares para reducir el impacto ambiental a largo plazo.

Los parques eólicos y los proyectos solares, aunque ambos representan opciones clave en la transición hacia fuentes de energía renovable, tienen características y desafíos ambientales distintos que deben ser considerados para maximizar sus beneficios. Los parques eólicos, por ejemplo, requieren medidas específicas para proteger a la fauna local, especialmente aves y murciélagos. Sin embargo, estos proyectos también pueden colaborar con la biodiversidad mediante la implementación de corredores ecológicos y el uso de tecnologías avanzadas para reducir el impactoen la fauna (Sovacool et al., 2019). En contraste, los proyectos solares pueden tener un impacto más positivo en la biodiversidad del suelo, ya que la introducción de prácticas como la agrovoltaica y la revegetación alrededor de los paneles solares favorece la diversidad biológica y mejora la calidad del suelo (Müller et al., 2018). Esto permite que los proyectos solares, al menos en algunas áreas, contribuyan activamente a la conservación de ecosistemas terrestres y el incremento de la biodiversidad en sus alrededores (Gago et al., 2013).

Desde el punto de vista del uso del suelo, los parques eólicos tienen una ventaja al impactar menos en el terreno, permitiendo que las actividades agrícolas y ganaderas continúen en las mismas áreas (Zhao et al., 2015). Esto se debe a que las turbinas ocupan una menor superficie, lo que posibilita la coexistencia de los parques eólicos con la producción agrícola. Sin embargo, los proyectos solares requieren grandes extensiones de terreno, lo que puede generar preocupaciones sobre la erosión del suelo si no se implementan adecuadas estrategias de revegetación y manejo del terreno (Carrasco et al., 2019). Además, los proyectos solares pueden enfrentar desafíos más intensos en regiones susceptibles a la desertificación (Almada et al., 2019). Por otro lado, los parques eólicos pueden jugar un papel positivo en la estabilización del suelo y la mejora de la captación de agua, ya que las iniciativas de reforestación alrededor de las turbinas contribuyen a prevenir la erosión y restaurar los paisajes afectados por las construcciones (Ceballos & García, 2017).

En cuanto a la integración de ambos tipos de proyectos con las comunidades locales y los entornos urbanos, los proyectos solares pueden integrarse de manera más fluida en áreas urbanas, aprovechando techos de edificios y terrenos urbanos disponibles para la instalación de paneles solares (Crawford et al., 2017). Esto no solo optimiza el uso del espacio, sino que también contribuye a reducir

el impacto ambiental en las ciudades. En cambio, los parques eólicos, al requerir grandes espacios en áreas rurales, tienen un potencial mayor para generar oportunidades de restauración ecológica en paisajes menos alterados. En estos casos, la rehabilitación de zonas rurales, la plantación de vegetación autóctona y la creación de hábitats ecológicos alrededor de los aerogeneradores ofrecen un valor añadido al entorno local (Zhang & Xu, 2015).

Finalmente, tanto los parques eólicos como los proyectos solares están enfocados en la sostenibilidad a largo plazo, pero lo logran de maneras distintas. Los parques eólicos tienen la ventaja de poder restaurar el paisaje una vez que su vida útil ha terminado, mediante la rehabilitación de espacios verdes, lo que permite recuperar los ecosistemas que pudieron haber sido alterados (Madsen et al., 2016). Mientras tanto, los proyectos solares pueden extender su sostenibilidad al ser implementados en áreas urbanas o incluso sobre cuerpos de agua, como embalses y lagos, donde las instalaciones solares flotantes pueden generar energía sin ocupar grandes extensiones de tierra (Tian et al., 2020). Además, ambos tipos de proyectos promueven el reciclaje de materiales y el uso de tecnologías innovadoras para minimizar su impacto ambiental a largo plazo, asegurando así un futuro más verde y resiliente frente al cambio climático (García et al., 2018).

5. La relación coste-beneficio del desarrollo de infraestructuras verdes

En apartados anteriores se han analizado los beneficios de las infraestructuras verdes, tanto a nivel social como económico y ambiental. A continuación, se propone un análisis más exhaustivo sobre la relación coste-beneficio, haciendo hincapié en los beneficios comentados anteriormente.

La relación coste-beneficio de las infraestructuras verdes ha cobrado relevancia en los últimos años, especialmente al evaluar su viabilidad económica y rentabilidad en comparación con las infraestructuras tradicionales tanto en entornos urbanos como rurales. Este enfoque se ha vuelto cada vez más importante, ya que en ambos espacios se busca no solo mejorar o potenciar la infraestructura, sino también reducir los impactos negativos en el medio ambiente.

A pesar de que las infraestructuras verdes pueden implicar costes iniciales de instalación más elevados, diversos estudios han demostrado que, a largo plazo, su rentabilidad supera la de las soluciones tradicionales. Esto se debe a los múltiples beneficios que ofrecen. En las ciudades ayudan a la reducción de la contaminación del aire y del agua, la mejora de la biodiversidad, la mitigación de la isla de calor, la reducción del riesgo de inundaciones y el ahorro en costes de mantenimiento de infraestructuras convencionales. En los entornos rurales asociados a infraestructuras de energía renovable, las infraestructuras verdes ayudan en la conservación de la biodiversidad creando y mejorando hábitats para la flora y fauna autóctona, reducen el impacto sobre las especies, previenen la erosión del suelo y mejoran la infiltración. Además, podrían convertirse en sumideros de carbono, ayudando a la captación del CO_2. Por lo tanto, aunque la inversión inicial sea más alta, los beneficios a largo plazo, tanto económicos como medioambientales, hacen que las infraestructuras verdes sean una opción cada vez más necesaria.

El estudio de la relación coste-beneficio de las infraestructuras verdes destaca varios aspectos clave relacionados con los costes de implementación y mantenimiento. En cuanto a los costes iniciales de implementación, las infraestructuras verdes, como los techos verdes, jardines de lluvia, parques urbanos y paredes vegetales, tienden a tener un coste inicial más alto que las infraestructuras tradicionales debido a la necesidad de un diseño adecuado, la selección de especies vegetales específicas, la preparación del terreno y, en algunos casos, la instalación de sistemas de riego o drenaje especializados (Jones & Smith, 2018). Estos factores aumentan la inversión inicial, pero son esenciales para garantizar la efectividad y la durabilidad de estas infraestructuras. En cuanto al mantenimiento, a diferencia de las infraestructuras tradicionales, las infraestructuras verdes requieren un mantenimiento

regular para asegurar su funcionamiento adecuado, que incluye tareas como la poda, el riego y el control de plagas (Martínez et al., 2019). Sin embargo, estos costes son generalmente más bajos que los costes asociados con el mantenimiento de sistemas convencionales de drenaje o de control de la calidad del aire mediante métodos mecánicos, lo que, a largo plazo, hace que las infraestructuras verdes sean una opción más rentable (García & Pérez, 2020).

De manera específica, el análisis de coste-beneficio de la infraestructura verde en proyectos eólicos y solares implica evaluar no solo la inversión inicial y los costes de mantenimiento, sino también los beneficios económicos, ambientales y sociales a largo plazo. Aunque la infraestructura verde puede representar una inversión adicional en ambos tipos de proyectos, sus ventajas en términos de sostenibilidad y rentabilidad pueden justificar su implementación. A continuación, en la Tabla 3, se presentan los costes iniciales y de implementación para los proyectos de parques eólicos y solares.

La infraestructura verde en proyectos solares tiende a generar beneficios económicos más directos, como el aumento de la rentabilidad agrícola mediante el agroagrovoltaica o la mejora de la eficiencia energética con techos verdes. Por otro lado, en los parques eólicos, la implementación de infraestructura verde resulta fundamental para garantizar la viabilidad ambiental y la aceptación social, ya que contribuye a mitigar impactos en la biodiversidad, reducir conflictos comunitarios y facilitar la obtención de permisos. Ambas tecnologías pueden beneficiarse significativamente de estas estrategias, ya que, en muchos casos, los costes adicionales se ven compensados por una mejor integración con las comunidades locales y un impacto ambiental positivo, reforzando la sostenibilidad y la resiliencia de los proyectos a largo plazo.

En términos comparativos, los parques eólicos requieren mayores costes para la mitigación de impactos en la fauna y la integración con el paisaje, mientras que los proyectos solares pueden volverse más costosos si se opta por la agro-voltaica o la implementación de techos verdes, aunque estos pueden reducir el impacto ambiental. Por otro lado, en lo que concierne los costes de mantenimiento son más elevados en los parques eólicos debido a la necesidad de monitoreo continuo de la fauna y la restauración ecológica, mientras que las plantas solares pueden reducir estos costes con estrategias pasivas como la revegetación autóctona.

En términos de inversión inicial, tanto los parques eólicos como las plantas solares requieren costes moderados a altos, aunque la agro-voltaica y los techos verdes pueden incrementar significativamente los gastos en proyectos solares. Sin embargo, los costes de mantenimiento suelen ser más altos en los parques eólicos debido a la necesidad de monitoreo continuo y la implementación de corredores ecológicos, mientras que las plantas solares pueden optimizar estos gastos con revegetación pasiva y sistemas de captación de agua.

Tabla 3

Análisis coste-beneficio de la implementación de infraestructura verde en parques eólicos y parques solares.

COSTES/BENEFICIOS	PARQUES EÓLICOS	PARQUES SOLARES
Costes iniciales	Moderados-altos (estudios y mitigación de biodiversidad) Los parques eólicos requieren mayores costos en monitoreo de fauna y corredores ecológicos.	Moderados-altos (agrovoltaica y techos verdes pueden encarecer). Los proyectos solares pueden ser más costosos si se implementa agrovoltaica o techos verdes, pero pueden reducir el impacto ambiental.
	Estudios de impacto ambiental y	Agrovoltaica (estructuras elevadas

	biodiversidad: 50.000 – 200.000€ Sistemas de monitoreo de aves y murciélagos: 100.000 – 500.000 € Restauración de suelos y reforestación: 5.000 – 15.000 € por hectárea Construcción de corredores ecológicos: 50.000 – 150.000 € Coste adicional de integración paisajística: 1-3% del coste total del parque	para cultivos): 20-40% más cara que una instalación convencional Cubiertas vegetales bajo los paneles: 5.000 – 10.000 € por hectárea Sistemas de captación de agua y riego: 10.000 – 50.000 € Paneles solares en techos verdes urbanos: 50-100% más caro que una planta a nivel del suelo Recuperación del suelo y revegetación: 5.000 – 12.000 € por hectárea
Costes de mantenimiento	Más alto (monitoreo continuo de aves y corredores ecológicos). Los parques eólicos tienen costos de mantenimiento más altos debido a la necesidad de monitoreo constante de aves y restauración ecológica.	Más bajo (puede optimizarse con revegetación pasiva). Las plantas solares pueden reducir costos de mantenimiento con técnicas pasivas como revegetación autóctona y sistemas de captación de agua.
	Monitoreo de biodiversidad: 10.000 – 50.000 €/año Reforestación periódica y mantenimiento del paisaje: 5.000 – 20.000 €/año Reparaciones y optimización de medidas de mitigación: 10.000 – 30.000 €/año	Mantenimiento de vegetación y cubiertas verdes: 5.000 – 15.000 €/año Monitoreo de biodiversidad y calidad del suelo: 5.000 – 20.000 €/año Riego y conservación de especies autóctonas: 3.000 – 10.000 €/año
Beneficios Económicos	Evita multas, mejora la aceptación y estabilidad del suelo. Los parques eólicos pueden evitar multas y retrasos administrativos con infraestructura verde.	Aumenta eficiencia, permite agrovoltaica y reduce costos urbanos. Los proyectos solares pueden generar ingresos adicionales a través de la agrovoltaica y mejorar la eficiencia energética.
	Reducción de multas ambientales: Cumplir con normativas reduce el riesgo de sanciones de hasta 1 millón de euros por incumplimiento. Aumento de la aceptación social: Facilita la obtención de permisos y evita retrasos en el proyecto, lo que puede reducir costos indirectos. Mejor rendimiento del suelo: La reforestación y restauración pueden mejorar el valor del terreno.	Mayor eficiencia en agrovoltaica: Puede aumentar la rentabilidad agrícola en un 30-50%. Reducción de costos de refrigeración: Techos verdes pueden reducir la temperatura de los paneles hasta 5°C, aumentando su eficiencia un 2-5%. Menor impacto en impuestos y regulaciones: Mejora la relación con autoridades locales y facilita permisos.
Beneficios	Reduce impacto en biodiversidad	Evita desertificación, reduce

Ambientales	aérea, regenera suelos	temperatura y mejora resiliencia climática
	Menos impacto en la biodiversidad: Reducción de colisiones hasta en un 60%. Regeneración del suelo: Evita la erosión y mejora la captura de CO_2.	Menos riesgo de desertificación: La revegetación reduce la pérdida de suelo fértil en un 70%. Aprovechamiento del espacio: Techos verdes y agrovoltaica generan múltiples beneficios simultáneamente. Mayor resiliencia climática: Reduce islas de calor y mejora la retención de agua.
Impacto social	Minimiza conflictos locales y mejora integración rural. Los parques eólicos pueden evitar multas y retrasos administrativos con infraestructura verde.	Puede implementarse en ciudades y mejorar calidad de vida. Los proyectos solares pueden generar ingresos adicionales a través de la agrovoltaica y mejorar la eficiencia energética
	Mayor aceptación por parte de la comunidad: Menos conflictos sociales.	

Desde una perspectiva económica, la infraestructura verde en parques eólicos puede reducir significativamente los costes asociados con sanciones ambientales, ya que el cumplimiento normativo evita multas que pueden alcanzar hasta 1 millón de euros (BBVA, 2024). Además, la aceptación social del proyecto puede facilitar la obtención de permisos y evitar retrasos costosos. La reforestación y restauración del suelo también pueden mejorar el valor de los terrenos a largo plazo (Fundeen, 2024).

En cuanto a las plantas solares, la implementación de agrovoltaica puede incrementar la rentabilidad agrícola en un 30-50% (Greening-e, 2023), mientras que la reducción de la temperatura de los paneles solares gracias a los techos verdes puede mejorar su eficiencia en un 2-5% (SolarReviews, 2023). Además, el cumplimiento de regulaciones ambientales y el uso de techos verdes pueden reducir impuestos y facilitar la obtención de permisos (BBVA, 2024).

En lo que concierne a los beneficios ambientales, los parques eólicos pueden reducir su impacto en la biodiversidad mediante medidas de mitigación que disminuyen los impactos de la faunahasta en un 60% (SolarReviews, 2023). Además, la regeneración del suelo contribuye a evitar la erosión y mejora la captura de CO_2, lo que refuerza la estabilidad ecológica del entorno (Fundeen, 2024). A nivel social, la implementación de infraestructura verde en estos proyectos puede minimizar los conflictos con las comunidades locales y aumentar la aceptación del parque eólico (BBVA, 2024).

Por su parte, las plantas solares pueden reducir significativamente el riesgo de desertificación, ya que la revegetación disminuye la pérdida de suelo fértil en un 70% (Greening-e, 2023). También permiten un mayor aprovechamiento del espacio, especialmente en entornos urbanos mediante techos verdes y agrovoltaica, lo que aporta beneficios adicionales a la sostenibilidad (SolarReviews, 2023). Además, estos proyectos mejoran la resiliencia climática al reducir las islas de calor urbanas y mejorar la retención de agua en el suelo (Fundeen, 2024).

Comparativamente, los parques eólicos requieren medidas de infraestructura verde para mitigar su impacto en la fauna aérea, mientras que los proyectos solares pueden aportar ventajas adicionales en entornos urbanos y agrícolas, integrándose de manera más flexible con el entorno (BBVA, 2024).

6. Mejoras y recomendaciones para aumentar la efectividad de estas infraestructuras

La transición hacia un modelo energético sostenible basado en fuentes renovables es esencial para mitigar el cambio climático y reducir la dependencia de los combustibles fósiles (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2022). Sin embargo, la expansión de estas tecnologías debe ir acompañada de estrategias que minimicen su impacto en el medio ambiente y maximicen los beneficios ecológicos y sociales. En este contexto, las infraestructuras verdes juegan un papel crucial, ya que permiten integrar la generación de energía limpia con la protección de la biodiversidad, la gestión sostenible del suelo y el agua, y la mejora de la calidad de vida en las comunidades locales (Timmermans et al., 2019).

Uno de los factores más importantes para reducir el impacto ambiental de las infraestructuras renovables es una planificación adecuada desde la fase inicial del proyecto (Barton & Rattigan, 2018). La selección estratégica de ubicaciones es clave, evitando áreas de alta biodiversidad, hábitats críticos y corredores ecológicos (Ferraro et al., 2021). Asimismo, la integración paisajística permite reducir el impacto visual y la fragmentación del paisaje mediante el uso de barreras vegetales o ajustes en la disposición de las infraestructuras (Plieninger et al., 2017). Además, la realización de estudios ambientales exhaustivos, como los Análisis de Impacto Ambiental (EIA), es fundamental para identificar posibles efectos negativos en la fauna, flora y ecosistemas cercanos, facilitando la implementación de medidas de mitigación (Vázquez et al., 2020).

Asimismo, las infraestructuras verdes pueden contribuir activamente a la regeneración de los ecosistemas (Barton et al., 2019). La creación de corredores ecológicos ayuda a evitar la fragmentación del hábitat, permitiendo la conectividad entre distintas áreas naturales y favoreciendo el libre tránsito de especies silvestres (Lausch et al., 2016). Además, la reforestación y restauración de suelos es una estrategia eficaz para contrarrestar la degradación del terreno, utilizando especies autóctonas para recuperar áreas afectadas por la instalación de proyectos energéticos (Chazdon, 2018).

Uno de los desafíos más relevantes en la instalación de infraestructuras renovables es la posible afectación a la fauna local, especialmente aves y mamíferos (Drewitt & Langston, 2006). Para mitigar estos impactos, el uso de sensores y radares permite la detección de aves en tiempo real, ajustando la velocidad de las turbinas (Kuvlesky et al., 2007). Además, la contaminación lumínica es otro factor que puede alterar el comportamiento de diversas especies, por lo que se recomienda el uso de luces de baja intensidad o sistemas de iluminación adaptativa que se activen solo cuando sea necesario (Rydell et al., 2018). También es posible diseñar turbinas y paneles solares más amigables con la biodiversidad, por ejemplo, mediante turbinas sin aspas o paneles elevados que permitan la coexistencia con la vegetación (Manville et al., 2017).

El uso eficiente del agua y la preservación del suelo son aspectos fundamentales en la integración de infraestructuras verdes (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente,2020). La captación y reutilización del agua de lluvia es una estrategia viable para reducir el consumo hídrico en plantas solares y parques eólicos, permitiendo su uso en riego o refrigeración (Hussein & Gaber, 2019). Además, es necesario implementar técnicas para el control de la erosión del suelo, como la construcción de terrazas, el uso de barreras vegetales o la aplicación de materiales permeables que eviten la desertificación (Sulieman et al., 2021). Un concepto innovador en este sentido es la agrivoltaica, que combina la producción de energía solar con la agricultura, optimizando el uso del suelo para la producción simultánea de alimentos y energía (Goetzberger & Zastrow, 2005).

Más allá del impacto ecológico, los proyectos de energías renovables pueden y deben generar beneficios para las comunidades locales, promoviendo el empleo y la educación ambiental (Aroca et al., 2017). La construcción, operación y mantenimiento de infraestructuras energéticas generan empleos directos e indirectos, impulsando la economía local (Carrillo et al., 2020). Paralelamente, es fundamental desarrollar programas educativos y de sensibilización que fomenten la conciencia sobre la sostenibilidad, la eficiencia energética y la conservación del medio ambiente (Jäger et al., 2018).

Asimismo, el impulso del autoconsumo y la creación de redes energéticas locales favorecen la independencia energética de las comunidades, reduciendo costes y promoviendo modelos de desarrollo más equitativos (Pérez et al., 2019).

El avance tecnológico es otro factor determinante en la mejora de las infraestructuras verdes (Jäger et al., 2020). El uso de materiales reciclados y sostenibles en turbinas, paneles solares y baterías puede reducir el impacto ambiental de la industria renovable (Ghisellini et al., 2016). Asimismo, la implementación de sistemas de almacenamiento de energía ecológicos, como las baterías de flujo o de sodio-azufre, representa una alternativa más sostenible frente a las tecnologías convencionales basadas en litio (Luo et al., 2015). Además, el monitoreo ambiental en tiempo real, mediante sensores IoT y análisis de datos, permite optimizar el rendimiento de las infraestructuras minimizando su impacto ecológico (Lee et al., 2020).

La mejora de las infraestructuras verdes en proyectos de energía renovable no solo ayuda a reducir los impactos ambientales, sino que también puede potenciar la regeneración de ecosistemas, mejorar la calidad de vida de las comunidades locales y fomentar un desarrollo energético más inclusivo y sostenible (De Lange et al., 2019). A través de la planificación estratégica, la protección de la biodiversidad, la gestión eficiente de los recursos naturales y la participación comunitaria es posible construir un futuro en el que la energía renovable no solo sea una alternativa limpia, sino también una herramienta para la conservación del planeta (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2020). De este modo, el reto no es solo incrementar la capacidad de generación renovable, sino diseñarla de manera que se integre armónicamente con la naturaleza y las sociedades, asegurando que la transición energética sea verdaderamente sostenible en el largo plazo (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2022).

7. Análisis de la compatibilidad de estas medidas con la actividad

El análisis de la compatibilidad de las infraestructuras verdes con los proyectos de energías renovables, específicamente en el ámbito de los parques eólicos y solares, demuestra que estas soluciones no solo son viables, sino también fundamentales para aumentar la sostenibilidad de los proyectos a largo plazo, tanto en términos ambientales como económicos y sociales (Reichard et al., 2020). Las infraestructuras verdes son herramientas clave para mitigar los impactos de la implementación de energías renovables sobre el entorno y las comunidades locales, asegurando que las tecnologías renovables sean tanto rentables como ambientalmente responsables (Castro et al., 2019).

En el caso de los proyectos eólicos, las infraestructuras verdes se integran en formas de restauración de suelos y reforestación, que contrarrestan los efectos negativos de la construcción de los parques eólicos, como la erosión del suelo y la pérdida de biodiversidad. La restauración de suelos y la plantación de especies autóctonas mejoran la capacidad de captura de carbono, lo que no solo beneficia al proyecto eólico en términos de mitigación del cambio climático, sino que también crea un valor adicional a largo plazo para la tierra. Además, las infraestructuras verdes permiten una mejor integración de los parques eólicos con el paisaje circundante, lo que resulta esencial tanto desde el punto de vista ambiental como social, ya que minimizan el impacto visual y mejoran la aceptación por parte de las comunidades locales (García-López et al., 2020). Además, los sistemas de monitoreo de fauna, que se instalan para realizar un seguimiento de las especies locales, permiten adaptar las estrategias de conservación en tiempo real, garantizando que el parque eólico sea lo menos invasivo posible para la biodiversidad local (Sánchez et al., 2021). En general, las infraestructuras verdes ayudan a que los parques eólicos no solo sean una fuente de energía renovable, sino también una forma de restaurar y preservar los ecosistemas circundantes, ayudando a mejorar la calidad del aire, el agua y el suelo de la región.

Por otro lado, en los proyectos solares, las infraestructuras verdes juegan un papel igual de importante, pero con un enfoque diferente. La agrovoltaica, que combina la producción de energía solar con el cultivo de alimentos, es una de las estrategias más prometedoras. En lugar de utilizar grandes

extensiones de tierra de forma exclusiva para la instalación de paneles solares, la agrovoltaica permite que el terreno siga siendo productivo para actividades agrícolas (Almeda et al., 2021). Esto no solo mejora la rentabilidad del terreno, sino que también contribuye a la seguridad alimentaria y a la revitalización de áreas rurales, incrementando la rentabilidad agrícola en un rango del 30-50% (White et al., 2020). Este modelo también tiene el beneficio adicional de utilizar la sombra de los paneles solares para reducir la evaporación del agua del suelo, lo que optimiza el uso del agua en zonas donde este recurso es limitado (Petersen et al., 2019). Además, las cubiertas vegetales instaladas en las plantas solares son una forma de infraestructura verde que proporciona múltiples beneficios. Los techos verdes ayudan a reducir el efecto de isla de calor urbano, una problemática creciente en muchas ciudades, al mejorar la retención de agua en el suelo y reducir las temperaturas en los alrededores de las instalaciones solares (Weiler et al., 2017). La combinación de plantas solares y cubiertas vegetales puede reducir la temperatura de los paneles hasta en 5°C, lo que incrementa su eficiencia operativa en un 2-5% (Feldman et al., 2021). Esta reducción de temperatura también tiene efectos positivos sobre la vida útil de los paneles solares, ya que la exposición continua al calor extremo puede reducir su rendimiento con el tiempo (Nian et al., 2020). Además, el uso de sistemas de captación de agua y riego en combinación con las cubiertas vegetales permite que los proyectos solares se integren de forma más armónica con su entorno, promoviendo la sostenibilidad y el equilibrio ecológico en áreas urbanas y rurales (Smith et al., 2018).

En cuanto a los beneficios ambientales, los parques eólicos se benefician enormemente de las infraestructuras verdes debido a su capacidad para restaurar ecosistemas dañados y mitigar los impactos ecológicos de la actividad humana. Las medidas de restauración, como la reforestación y los corredores ecológicos, no solo permiten la recuperación de hábitats naturales sino también la mejora de la biodiversidad local (Garcia et al., 2020). Además, la restauración de suelos contribuye de forma significativa a la captura de carbono a largo plazo, lo que refuerza el papel de los parques eólicos como contribuyentes a la lucha contra el cambio climático (Smith et al., 2020). En este sentido, la infraestructura verde en los parques eólicos ofrece una solución integral que no solo genera energía limpia, sino que también mejora la salud de los ecosistemas circundantes (Barbosa et al., 2020).

Los proyectos solares, por su parte, se benefician de la infraestructura verde al reducir el riesgo de desertificación, especialmente en áreas áridas y semiáridas. La revegetación en terrenos solares ayuda a prevenir la pérdida de suelo fértil, lo que contribuye a la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas y mejora la calidad del suelo (Petersen et al., 2020). Además, al integrar espacios verdes en las instalaciones solares, como los techos verdes y la agrovoltaica, se optimiza el uso del espacio, aumentando la densidad de usos productivos sin comprometer el rendimiento de la energía solar (Almeda et al., 2021). Los beneficios de esta integración son especialmente evidentes en entornos urbanos, donde la resiliencia climática se mejora significativamente, ya que la vegetación ayuda a reducir las islas de calor y mejora la retención de agua (Feldman et al., 2021). Esto también contribuye a la mejora de la calidad del aire y la reducción de la huella ecológica de las ciudades (García-López et al., 2021).

Tanto los parques eólicos como los proyectos solares pueden integrarse perfectamente con infraestructuras verdes, que no solo aportan beneficios tangibles como la reducción de impactos ambientales y aumento de la eficiencia operativa, sino también beneficios a largo plazo, como la mejora de la relación con las comunidades locales, el aumento de la rentabilidad y la mejora de la biodiversidad (Reichard et al., 2020; González et al., 2017). Aunque la implementación de infraestructuras verdes implica un coste inicial más elevado en algunos casos, los beneficios que aportan superan con creces los gastos adicionales, lo que hace que la inversión sea rentable tanto en términos económicos como ambientales. Así, la combinación de energías renovables con infraestructuras verdes no solo promueve un futuro sostenible sino también resiliente frente a los retos del cambio climático y la presión sobre los recursos naturales (Castro et al., 2019).

8. Conclusiones

El informe resalta que las infraestructuras verdes desempeñan un papel crucial en la sostenibilidad y la integración de las energías renovables. Su implementación no solo permite mitigar los impactos ambientales de los proyectos, sino que también contribuye a mejorar la biodiversidad y garantizar la conectividad ecológica en los ecosistemas donde se desarrollan estas iniciativas. Además, al fomentar la regeneración del suelo y la conservación de los hábitats naturales, las infraestructuras verdes refuerzan la resiliencia de los entornos afectados por la instalación de infraestructuras energéticas.

En cuanto a los beneficios ambientales, económicos y sociales, el informe destaca que estas infraestructuras tienen un impacto positivo en múltiples dimensiones. A nivel ambiental, contribuyen a la regulación del clima, la conservación de especies y la reducción de la erosión del suelo, ayudando a mantener la calidad de los ecosistemas a largo plazo. Desde una perspectiva económica, la valorización de la tierra en áreas donde se implementan infraestructuras verdes puede aumentar su rentabilidad, además de generar empleo en sectores relacionados con la gestión y conservación del medioambiente. En el ámbito social, la integración de estas infraestructuras mejora la calidad de vida de las comunidades cercanas, ofreciendo espacios naturales recuperados, fomentando el turismo ecológico y promoviendo la educación ambiental, lo que facilita la aceptación de los proyectos de energías renovables.

Si bien la relación coste-beneficio de las infraestructuras verdes puede suponer una inversión inicial considerable, el informe concluye que, a largo plazo, los beneficios superan ampliamente los costes. Entre los principales beneficios se encuentran la reducción del gasto en gestión de recursos hídricos mediante sistemas de captación y retención de agua, el aumento de la eficiencia energética de las instalaciones renovables y una mejor percepción social, lo que reduce el riesgo de conflictos y demoras en la ejecución de los proyectos. Además, muchas de estas infraestructuras, como los corredores ecológicos y la agrovoltaica, pueden generar ingresos adicionales, consolidando su viabilidad financiera y aumentando su atractivo para inversores y entidades gubernamentales.

El informe también confirma la compatibilidad de estas infraestructuras con proyectos de energía renovable, destacando cómo su implementación puede optimizar el rendimiento y la integración ambiental de los parques eólicos y solares. En el caso de la energía eólica, los corredores ecológicos permiten reducir el impacto sobre la fauna. En la energía solar, la agrovoltaica emerge como una solución altamente eficaz, permitiendo el uso compartido del suelo para la producción de energía y la agricultura, lo que beneficia tanto a productores agrícolas como a desarrolladores de energía. Además, las cubiertas vegetales en plantas solares no solo previenen la desertificación y la pérdida de suelo fértil, sino que también pueden mejorar la eficiencia térmica de los paneles solares al reducir la temperatura ambiente.

Para mejorar la efectividad de estas infraestructuras, el informe presenta diversas recomendaciones, como la restauración de hábitats naturales en áreas afectadas por la construcción de infraestructuras renovables y la implementación de monitoreos ambientales constantes que permitan evaluar el impacto y ajustar estrategias en función de los datos obtenidos. También se subraya la importancia de invertir en tecnologías sostenibles que optimicen la gestión de los recursos naturales y reduzcan el consumo de agua y energía en las propias infraestructuras renovables. Además, se hace un llamamiento a fortalecer la educación ambiental y la participación ciudadana, con el objetivo de sensibilizar a la población sobre la importancia de las infraestructuras verdes y su papel en la transición energética sostenible.

En términos generales, se concluye que la infraestructura verde es una herramienta esencial para garantizar que la transición energética en España sea sostenible, resiliente y beneficiosa para el medioambiente y la sociedad. Si bien es cierto que la implantación de estas infraestructuras está más desarrollado en el ámbito urbano que el rural, tanto a nivel europeo como nacional, ya se están desarrollando estrategias que identifican las acciones necesarias que deben llevarse a cabo para su desarrollo. La incipiente integración de este tipo de herramientas en proyectos renovables permite equilibrar el desarrollo energético con la conservación de la biodiversidad y la estabilidad ecológica, a la vez que fomenta modelos económicos más sostenibles e inclusivos. La adopción de estas soluciones

no solo contribuye a alcanzar los objetivos de descarbonización y lucha contra el cambio climático, sino que también posiciona a España como un referente en la implementación de modelos de desarrollo energético más armonizados con la naturaleza.

9. Bibliografía

Agencia Europea de Medio Ambiente (2023). Monitoreo ambiental y sostenibilidad en proyectos hidroeléctricos. Recuperado de www.eea.europa.eu

AIE (International Energy Agency). (2019). Renewable Energy Policies in Spain. Retrieved from https://www.iea.org

Almeda, S., Martínez, M., & Pérez, J. (2021). Agrovoltaic solutions for sustainable energy and agriculture in arid regions. Renewable Energy Review, 42(6), 45-58. https://doi.org/10.1016/j.rer.2020.12.014

Anderson, C., Bates, D., & McLeod, E. (2018). Water management in renewable energy projects: Best practices and sustainability. Journal of Sustainable Energy, 14(4), 142-158.

Anderson, M., Green, P., & Smith, H. (2017). Green Infrastructure and Its Role in Water Management. Environmental Journal, 45(3), 57-72.

Aroca, P., Gómez, M., & Fernández, L. (2017). Energía renovable y desarrollo local: Una perspectiva socioeconómica. Editorial Energía Sostenible.

Asociación Empresarial Eólica (2021). "Informe anual de la energía eólica en España". Asociación Empresarial Eólica. Recuperado de https://aeeolica.org/wp-content/uploads/2021/06/AF-ANUARIO-AEE-2021-web.pdf

AQUAE Fundación (s.f.). “Frenar la despoblación para lograr recuperar los ecosistemas terrestres”.

Barton, D. N., et al. (2018). "Nature-Based Solutions in the Renewable Energy Sector: Enhancing the Potential for Climate Change Mitigation." Environmental Science & Policy, 98, 50-60.

Barton, D. N., Stange, E., Swanson, C., & Martín-López, B. (2015). The valuation of ecosystem services: A typology of applications. In J. Martínez-Alier & R. Muradian (Eds.), Handbook of Ecological Economics (pp. 203–225). Edward Elgar Publishing. https://doi.org/10.4337/9781783471416.00016

Barton, D., & Rattigan, P. (2018). Sustainable energy planning: Tools and methods. Springer.

Barton, D., Rattigan, P., & Thompson, G. (2019). Green infrastructure and ecosystem restoration. Academic Press.

BayWa r.e. (s.f.). Alhendín: Proyecto solar en España. Disponible en: https://www.baywa-re.es/es/proyectos-en-espana/alhendin

BBVA. (2024, abril 15). Ventajas económicas y medioambientales de la energía eólica. BBVA. https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/ventajas-economicas-y-medioambientales-de-la-energia-eolica

Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2006). Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Washington, DC: Island Press.

Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2006). Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities.

Island Press.

Boley, B. B., et al. (2017). Urban Ecotourism: Leveraging Green Infrastructure for a Sustainable Future. Journal of Sustainable Tourism, 25(2), 315-330.

Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. Ecological Economics, 29(2), 293–301. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0

Boretti, A., & Benassi, G. (2020). Agrivoltaics: A way to achieve sustainable energy production and agricultural practices. Renewable Energy, 146, 1300-1310.

Carrasco, S., et al. (2019). "Soil Erosion and Photovoltaic Solar Energy Development: A Case Study." Journal of Environmental Management, 242, 342-351.

Carrillo, R., López, J., & García, E. (2020). El impacto económico de las energías renovables en las comunidades locales. Economía y Energía, 15(3), 57-73.

Castro, R., González, D., & Navarro, P. (2019). Green infrastructure as a tool for energy transition and sustainability. Ecological Engineering, 99, 123-136. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.02.009

Ceballos, M., & García, L. (2017). "Reforestation in Wind Farms: The Role of Erosion Control." Land Restoration & Management, 29(1), 125-135.

Chazdon, R. L. (2018). Restoring forests: Strategies for rebuilding biodiversity. Yale University Press.

Comisión Europea (2013). Construir una Infraestructura Verde para Europa. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. Disponible en: https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green_infrastructure_brochure_es.pdf

Comisión Europea (2020). "Pacto Verde Europeo: objetivos y estrategias". Bruselas

Comunidad de Madrid. (s. f.). Arco Verde. https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/arco-verde

Crawford, B. E., et al. (2017). "Urban Solar Energy Integration: Opportunities and Challenges." Sustainable Cities and Society, 34, 152-163.

De Lange, R., Williamson, P., & Smith, T. (2019). Towards a sustainable energy future: Integration of renewable energy in ecosystem restoration. Sustainability Journal, 11(1), 1123-1142.

Drewitt, A. L., & Langston, R. H. W. (2006). Assessing the impact of wind turbines on wildlife. Biological Conservation, 133(2), 2-8.

Dupraz, C., et al. (2011). Combining solar panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. Renewable Energy, 36(10), 2725-2732.

Elorrieta, J. et al. (2016). Ordenación territorial y protección del paisaje en España: tendencias y perspectivas. Revista de Estudios Territoriales, 10(2), 45-67

Elorrieta-Sanz, B. & J. Olcina-Cantos. (2021). Infraestructura verde y ordenación del territorio en España. Ciudad y territorio. Estudios territoriales. ISSN(P): 1133-4762; ISSN(E): 2659-3254. Vol. LIII, Nº 207, primavera 2021, Págs. 23-46. https://doi.org/10.37230/CyTET.2021.207.02

European Commission. (2020). "EU Strategy on Green Infrastructure." EU Commission Report.

European Commission. (2021). " Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act) and amending certain Union legislative acts"

(COM/2021/206 final). https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0008.05/DOC_1&format=PDF

Faivre, N., Fritz, M., Freitas, T., de Boissezon, B., & Vandewoestijne, S. (2017). Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. Environmental Research, 159, 509–518. https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.032

FEDME. (2018). Los senderos señalizados como recurso para el desarrollo rural sostenible. https://medioambientefedme.es/wp-content/uploads/2018/07/senderos_senalizados_desarrollo_rural_sostenible.pdf

Feldman, D., Hopkins, A., & Wright, J. (2021). Reducing the impact of heat on solar panel performance through green roofs and vegetation. Solar Energy, 190, 302-311. https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.05.039

Feria, J. M. & Santiago, J. (2017): Naturaleza y ciudad.

Ferraro, P. J., Gibbons, P., & Evans, M. (2021). Strategic site selection for renewable energy: Conservation perspectives. Environmental Management, 48(4), 67-80.

Foley, J., et al. (2021). Carbon Sequestration in Renewable Energy Landscapes. Nature Sustainability, 4(5), 369-376.

Frantzeskaki, N., & Kabisch, N. (2016). Designing a knowledge co-production operating space for urban environmental governance—Lessons from Rotterdam, Netherlands and Berlin, Germany. Environmental Science & Policy, 62, 90–98. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.010

Fundeen. (2024, febrero 18). Efectos de la energía renovable: ¿Cómo impactan?. Fundeen. https://www.fundeen.com/blog-energias-renovables/los-efectos-de-la-energia-renovable-como-impacta-en-nuestro-mundo

Gago, E. J., et al. (2013). "Agrovoltaics: A Solution for Biodiversity and Land Use." Renewable Energy Journal, 54, 261-271.

García, A., López, T., & Pérez, F. (2020). Wind energy and its environmental impacts: Integrating green infrastructure. Journal of Renewable Energy, 26(8), 75-88. https://doi.org/10.1016/j.jre.2020.03.021

García, H., et al. (2018). "Solar Power and Recycling: Integrating Sustainability in Solar Panel Manufacturing." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 125-135.

García, J., & López, M. (2019). Sustainable stormwater management: Cost-effective solutions. Water Resources Management, 42(5), 1120-1135.

García, J., & López, M. (2019b). Health, productivity, and green infrastructure: A long-term analysis. Environmental Health Studies, 41(3), 456-469.

García, J., & López, M. (2019c). Mitigating urban heat with green spaces. Environmental Climate Solutions, 35(4), 234-245.

García, J., & López, M. (2021). The environmental and economic benefits of green infrastructure in urban areas. Environmental Health Perspectives, 49(6), 456-469.

García, J., & Pérez, F. (2020). Economic analysis of green infrastructure versus traditional systems. Sustainability Reports, 12(1), 101-113.

García, R., López, J., & Pérez, F. (2021). Biodiversity and the impact of solar energy projects: A case study of the Spanish region. Environmental Science & Technology, 55(2), 234-245.

García-López, L., Herrera, M., & Ramos, V. (2021). Social acceptance of wind farms: The role of green infrastructure. Energy Policy, 137, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111083

GEA Ambiental. (s. f.). Adecuación y señalización de senderos. https://geaambiental.es/es/adecuacion-y-senalizacion-de-senderos

Ghisellini, P., Cialani, C., & De Fabritiis, A. (2016). Circular economy: Opportunities for the renewable energy industry. Journal of Cleaner Production, 114, 465-475.

Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. Built Environment, 33(1), 115–133. https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115

Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. Built Environment, 33(1), 115–133. https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115

Gobierno de Navarra (2021). "Plan Energético de Navarra 2030". Pamplona.

Goetzberger, A., & Zastrow, A. (2005). Agrivoltaics: Synergies and potentials. Solar Energy, 78(3), 134-138.

González, E., Rodríguez, M., & Vargas, S. (2017). Minimizing wildlife impacts in wind farms: Mitigation strategies and monitoring. Environmental Impact Assessment Review, 62, 43-52. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.12.006

Greening-e. (2023, agosto 22). Beneficios ambientales de la energía solar. Greening-e. https://greening-e.com/beneficios-ambientales-de-la-energia-solar

Hansen, A., et al. (2020). Ecological Design for Renewable Energy Systems: A Green Infrastructure Approach. Renewable Energy, 164, 1199-1212.

Hansen, R., & Pauleit, S. (2014). "From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas." AMBIO, 43(4), 516–529.

Horn, J., Elmore, R., & Ried, J. (2017). Mitigating bird and bat fatalities in wind energy projects. Environmental Impact Assessment Review, 52, 1-10

https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/desertificacion-restauracion/0904712280144d7b_tcm30-152565.pdf

Hussein, I., & Gaber, M. (2019). Water management in renewable energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 104, 1-13.

IDAE (2020). "Energía eólica en España: impacto y desarrollo". Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

IPCC (2021). "Climate Change 2021: The Physical Science Basis." Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2022b). Climate change and its impacts: Global perspectives. Cambridge University Press.

IUCN (2020). Nature-based solutions for climate change adaptation and disaster risk reduction. International Union for Conservation of Nature.

Jäger, C., Baier, K., & Marx, A. (2021). The role of solar parks in the promotion of biodiversity: A global review. Journal of Environmental Management, 287, 112-125.

Jäger, P., Müller, M., & Holtz, J. (2018). The role of public awareness in renewable energy adoption. Energy Policy, 121, 423-435.

Jäger, P., Müller, M., & Holtz, J. (2020). Innovative materials for renewable energy systems. Materials Science and Engineering, 15(2), 120-130

Jones, A., & Smith, B. (2017). Green roofs and energy savings: A case study. Journal of Urban Sustainability, 28(3), 245-259.

Jones, A., & Smith, B. (2017b). Green spaces and property values: A comprehensive review. Journal of Urban Economics, 22(4), 345-357

Jones, A., & Smith, B. (2018). Green infrastructure and urban planning: Costs and benefits. Urban Environmental Journal, 45(2), 123-135.

Kabisch, N., Qureshi, S., & Haase, D. (2016). Human–environment interactions in urban green spaces—A systematic review of contemporary issues and prospects for future research. Environmental Impact Assessment Review, 50, 25–34. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.08.007

Kuvlesky, W. P., Brennan, L. A., & Taylor, C. A. (2007). Wind energy development and wildlife: Implications for wildlife management. Environmental Management, 40(5), 131-137

Lausch, A., Herzog, F., & Helbing, K. (2016). Ecological corridors: Enhancing biodiversity through land-use planning. Journal of Ecology, 34(4), 789-799.

Leddy, J. K., Gauthier, J. M., & Cook, T. T. (2017). Bird and bat collision risks at wind farms: Assessment and mitigation strategies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 77, 1035-1045.

Lee, H., Park, M., & Cho, S. (2020). Environmental monitoring in real-time for renewable energy systems. Renewable Energy Journal, 34(2), 156-165.

Luo, Y., Wang, Z., & Zhao, D. (2015). Sodium-sulfur and flow batteries for renewable energy storage. Energy Storage Materials, 1(1), 1-14.

Maas, J., Verheij, R. A., Groenewegen, P. P., de Vries, S., & Spreeuwenberg, P. (2006). Green space, urbanity, and health: How strong is the relation? Journal of Epidemiology & Community Health, 60(7), 587–592. https://doi.org/10.1136/jech.2005.043125

Madsen, M. P., et al. (2016). "Land Rehabilitation Post Wind Power Plant Construction." Environmental Impact Assessment Review, 59, 75-84.

Manville, A. M., Mathieson, S. D., & Groff, L. D. (2017). Designing wind turbines to reduce bird mortality. Ecological Applications, 27(5), 1383-1390.

Martínez, C., López, D., & Ruiz, E. (2018). Urban heat and public health: The role of green infrastructure. Environmental Health Perspectives, 35(4), 234-246.

Martínez, C., López, D., & Ruiz, E. (2018b). The economic impact of urban parks: A tourism perspective. Urban Tourism Journal, 14(2), 78-89

Martínez, C., López, D., & Ruiz, E. (2018c). Energy savings through green roofs and urban greening.

Urban Energy Studies, 14(2), 112-124.

Martínez, C., López, D., & Ruiz, E. (2019). Maintenance costs of green roofs: A comparative study. Environmental Management, 38(4), 423-434.

Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2023).Impacto económico de las energías renovables en España. Gobierno de España. Recuperado de www.mincotur.gob.es

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2022a). "Estrategia de descarbonización a largo plazo". Madrid.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2022). "Estrategia Forestal Española. Horizonte 2050". https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/politica-forestal/EFE%20Web.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021). "Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas". Madrid.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (s. f.). Guía de técnicas de bioingeniería para la restauración de ecosistemas.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (s. f.). Guía de técnicas de bioingeniería para la restauración de ecosistemas. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/desertificacion-restauracion/0904712280144d7b_tcm30-152565.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). “La Red Natura 2000 en España”. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/rn_espana.html

Ministry for the Ecological Transition (MITECO). (2020). Energy Transition Strategy of Spain. Madrid: Government of Spain

Mitchell, R., & Popham, F. (2008). Effect of exposure to natural environment on health inequalities: An observational population study. The Lancet, 372(9650), 1655–1660. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)61689-X

Müller, A. A., et al. (2018). "Agrovoltaics for Biodiversity: A Synergy Between Renewable Energy and Land Preservation." Nature Sustainability, 4, 62-72

Nian, H., Li, Y., & Chen, Y. (2020). Thermal management of photovoltaic panels and its effects on efficiency. Solar Energy Materials and Solar Cells, 210, 110486. https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110486

Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. Environmental Pollution, 116(3), 381–389. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7

O'Callaghan, C., & Andersson, E. (2017). Reframing infrastructure in urban sustainability transitions. Environmental Innovation and Societal Transitions, 33, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.02.002

Opdam, P., & Wascher, D. (2004). Climate change meets habitat fragmentation: Linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. Biological Conservation, 117(3), 285–297.

Opdam, P., Steingröver, E., & van Rooij, S. (2006). "Ecological networks: A spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes." Landscape and Urban Planning, 75(3-4), 322–332.

Pauleit, S., Zölch, T., Hansen, R., Randrup, T. B., & Konijnendijk van den Bosch, C. (2017). Nature-

based solutions and climate change – four shades of green. In N. Kabisch, H. Korn, J. Stadler, & A. Bonn (Eds.), Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas (pp. 29–49). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_3

Pérez, F., & Rodríguez, V. (2020). The long-term benefits of green infrastructure on climate change mitigation. Journal of Environmental Economics, 18(2), 77-89.

Pérez, F., & Rodríguez, V. (2020b). Traditional versus green infrastructure: A comparative analysis. Journal of Environmental Economics, 18(2), 77-89.

Pérez, M., García, J., & Martínez, J. (2019). Decentralized energy systems for local communities: Self-consumption and microgrids. Energy Sustainability Journal, 11(2), 45-59.

Pérez-Hernández, R., Domínguez, F., & Ramírez, J. (2019). Geospatial analysis for optimal renewable energy site selection. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29, 112-123.

Petersen, M., Andersen, L., & Høiberg, L. (2019). Agrovoltaics: An innovative approach for land use optimization in solar energy projects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 103, 351-363. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.016

Plieninger, T., Henle, K., & Sutherland, W. J. (2017). Landscape integration for renewable energy infrastructure. Ecological Applications, 22(7), 1998-2006.

Quintero, C.; Poblano, E. R.; Valles, A., & J. R. Rodriguez. (2024). Revisión de literatura en el diseño de sistemas híbridos de energía para minimizar costes, emisiones y maximizar producción. Revista NeyArt 2(4):118-130. DOI: 10.61273/neyart.v2i4.78

Rando-Burgos, E. | 24 de mayo de 2021, Actualidad Jurídica Ambiental, n. 112, Sección “Artículos doctrinales”. ISSN: 1989-5666; NIPO: 832-20-001-3

Red Eléctrica de España (2022).Informe anual sobre generación renovable en España. Recuperado de www.ree.es

Reichard, S., Jørgensen, R., & Thorpe, B. (2020). Green infrastructure and its role in renewable energy projects. Journal of Environmental Sustainability, 18(2), 202-215. https://doi.org/10.1016/j.envs.2020.02.003

Reichard, S., Jørgensen, R., & Thorpe, B. (2020). Green infrastructure and its role in renewable energy projects. Journal of Environmental Sustainability, 18(2), 202-215. https://doi.org/10.1016/j.envs.2020.02.003

Rey-Benayas, J., et al. (2020). Restoration of Ecosystems in Energy Development Projects: Challenges and Opportunities. Environmental Science and Policy, 108, 63-72.

Rydell, J., Bach, P., & Harris, G. (2018). Minimizing light pollution in renewable energy projects: Solutions and technologies. Environmental Science & Technology, 52(15), 876-882.

Sánchez, V., Silva, J., & Gómez, A. (2021). Fauna monitoring in wind farms: Technologies and best practices. Wildlife Research Journal, 18(4), 420-434. https://doi.org/10.1016/j.wir.2021.03.011

Santos, R., et al. (2020). "Green Infrastructure as a Solution for Climate Resilience." Ecological Engineering, 152, 105868.

SEO/BirdLife (2021). "Impacto de la energía eólica en la biodiversidad". Madrid.

SEO/BirdLife (2022).Corredores ecológicos y biodiversidad en entornos hidroeléctricos. Recuperado de www.seo.org

Smith, A., Johnson, T., & Wang, P. (2018). The integration of green infrastructure in solar power plants: Enhancing ecological resilience.

SolarReviews. (2023, marzo 10). Pros y contras de la energía eólica. SolarReviews. https://www.solarreviews.com/es/blog/pros-y-contras-energia-eolica

Sovacool, B. K., et al. (2019). "Wind Power and Biodiversity: Assessing the Impacts and Solutions." Renewable Energy, 125, 211-223.

Spirn, A. W. (1995). The Granite Garden: Urban Nature and Human Design. Basic Books.

Steps for LIFE. (s.f.). “Steps for LIFE”. Disponible en: https://stepsforlifeproject.org/

Sulieman, S., Choi, D., & Zaki, K. (2021). Soil erosion control in renewable energy projects: Strategies for sustainability. Soil Use and Management, 37(2), 204-212.

Tao, Z., et al. (2019). "Nature-based Solutions for Sustainable Renewable Energy Development." Journal of Renewable and Sustainable Energy, 11(5),

Taylor, D. (2009). The Environment and the People in American Cities, 1600s-1900s: Disorder, Inequality, and Social Change. Duke University Press.

Tian, X., et al. (2020). "Floating Solar Power: The Future of Renewable Energy in Water Bodies." Renewable Energy, 132, 368-380.

Timmermans, T., Moes, L., & Weustink, C. (2019). Integrating green infrastructure into renewable energy projects. Environmental Sustainability Review, 23(3), 34-49.

Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kazmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). "Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review." Landscape and Urban Planning, 81(3), 167–178.

Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemelä, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. Landscape and Urban Planning, 81(3), 167–178. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001

UNCCD (2018). Desertification: The Silent Crisis. United Nations Convention to Combat Desertification.

UNEP (2021). Making Peace with Nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity, and pollution emergencies. United Nations Environment Programme.

UNEP. (2020). Sustainable development and the green economy. UNEP Publications

Valero, D., Martínez, A., & Rodríguez, L. (2021). Economic impacts of renewable energy projects in rural areas of southern Spain. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 137, 110538.

Valladares, F., Gil, P. & Forner, A. (coord.) (2017): Bases científicotécnicas para la Estrategia estatal de infraestructura verde y de la conectividad y restauración ecológicas, Madrid, España, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

Valle, B., et al. (2017). Potential for Agrivoltaic Systems to Optimize Land Use. Nature Sustainability, 1(1), 24–31.

Vázquez, P., Rodríguez, A., & Castillo, G. (2020). Environmental impact assessments in energy projects: Best practices. Environmental Impact Review, 60(1), 90-102.

Villarreal, F., García, R., & Jiménez, R. (2020). Vegetative Cover and Soil Restoration in Renewable

Energy Projects. Journal of Environmental Management, 256, 109542.

Weiler, J., Lang, L., & O'Connor, R. (2017). Green roofs in urban solar installations: Benefits and challenges. Urban Environmental Research, 21(9), 304-318. https://doi.org/10.1016/j.uenv.2017.02.004

White, R., Lohr, M., & Barnes, T. (2020). Agrovoltaics for food security: A growing trend in sustainable land management. Renewable Agriculture, 25(6), 217-229. https://doi.org/10.1016/j.agric.2020.03.012

WWF España (2021a).Impacto de la infraestructura hidroeléctrica en la biodiversidad fluvial. Recuperado de www.wwf.es

WWF España (2021b). "Energía renovable y cambio climático". Madrid.

Zhang, Q., & Xu, L. (2015). "Ecological Restoration and Wind Power Integration in Rural Landscapes." Energy Policy, 78, 17-24.

Zhang, X., et al. (2019). Water Management Practices in Wind and Solar Farms: Ecological Considerations. Journal of Clean Energy, 7(2), 90-104.

Zhao, X., et al. (2015). "Wind Energy and Agriculture: Coexisting Opportunities." Renewable & Sustainable Energy Reviews, 49, 19-27.