

¿Hay margen de mejora en la conectividad del suministro energético en los nuevos desarrollos urbanísticos?

Respuesta rápida

Visión estratégica, planificación y mantenimiento

Planificar el desarrollo energético e integrarlo en el diseño urbano permite crear barrios más eficientes que aprovechan los recursos energéticos próximos e incluso generan energía. La comunidad experta recomienda:

- **Fortalecer la gobernanza** local, apoyada en herramientas de planificación, permite adaptar las soluciones energéticas a las características territoriales y fomentar opciones energéticas diversas y sinergias entre ellas y a nivel sectorial (industrial, energético, transporte). El intercambio de experiencias es también clave.
- **Integrar las áreas y sectores involucrados y coordinar competencias.** Coordinar electricidad, climatización y movilidad desde la planificación es clave para diseñar sistemas energéticos más diversificados, flexibles y eficientes. Requiere planificar y desplegar tecnologías de conversión entre vectores, cogeneración y almacenamiento eléctrico y térmico. Institucionalmente es necesario establecer mecanismos de cooperación y estrategias transversales que integren las áreas involucradas (transición – urbanismo y vivienda – industria – energía).
- **Reforzar las infraestructuras eléctricas** de transporte y distribución para favorecer la conexión de fuentes renovables y fomentar la electrificación de los usos de la energía, lo que exige planificación estratégica e inversiones a largo plazo.
- **Generar incentivos y certidumbre regulatoria para el** autoconsumo (individual y colectivo) y opciones de consumo de energía distribuida es relevante. La planificación vinculante o instrumentos económicos pueden marcar el avance regulatorio y proporcionar seguridad jurídica para atraer inversiones y asegurar el compromiso de los usuarios a largo plazo.
- **Agilizar los trámites administrativos** para adaptar los plazos y fases del desarrollo energético al desarrollo urbanístico y favorecer así la descarbonización y el acceso a la vivienda.
- **Reducir la demanda de energía** a través de medidas que promuevan un cambio en los hábitos de consumo de energía de los usuarios es una forma directa, rápida y económica de mejorar la resiliencia del sistema eléctrico sin menoscabo de unas condiciones de confort adecuadas.
- **Diseñar edificios que consuman menos y generen energía,** preferentemente integrando soluciones estéticas y funcionales. Por ejemplo, se pueden incorporar soluciones pasivas y de aislamiento, o de generación distribuida. También incorporar estos elementos en el entorno urbano.
- **Planificar el mantenimiento** desde el diseño permite mejorar la eficiencia, reducir costes y facilitar la adaptación tecnológica. Estas soluciones abarcan desde el desarrollo urbanístico, como las galerías registrables, a la digitalización de las redes. Esta última incluye mejoras estructurales necesarias para la adaptación tecnológica y de nuevas soluciones avanzadas.
- **Impulsar soluciones inclusivas** para integrar las necesidades de demanda, descarbonización y participación en la transición energética de los grupos más vulnerables. Igualmente, es necesario atender las particularidades de entornos rurales y comunidades vulnerables suburbanas.

Fomento de la flexibilidad del sistema energético

Con la penetración de las renovables, la flexibilidad del sistema energético es clave para equilibrar la oferta y la demanda de energía sin necesidad de grandes inversiones en infraestructura. La comunidad científica recomienda un abordaje que incluya múltiples niveles tecnológicos y organizativos.

- **Promover la respuesta de la demanda** como enfoque para ajustar los patrones de consumo de los usuarios a las franjas horarias con mayor abundancia de renovables. También para que adopten nuevas funciones, como almacenar o producir energía.
- **Invertir en innovación, modernización y digitalización** del sistema energético, mediante redes inteligentes, ciberseguridad y gestión avanzada de datos, ya que es clave para integrar recursos distribuidos, nuevos actores y modelos energéticos emergentes.
- **Facilitar el acceso comprensible y en tiempo real a los datos de consumo** permite al usuario tomar decisiones informadas y participar activamente en la transición energética.
- **Impulsar la creación de mercados de flexibilidad** a nivel local y en las redes de distribución que integren a los nuevos actores para una mejor gestión de la demanda. Se puede facilitar mediante sandboxes regulatorios que faciliten la expansión y escalamiento de soluciones innovadoras.

El futuro de la climatización

Planificar la climatización teniendo en cuenta el previsible aumento de la demanda de refrigeración.

- **Priorizar alternativas para descarbonizar la climatización** como los sistemas eléctricos o las redes de calefacción y refrigeración urbanas. La Agencia Internacional de la Energía recomienda prohibir las calderas de cualquier combustible fósil en nuevos edificios como parte del escenario *Net Zero 2050*.
- **Elegir la mejor alternativa depende del contexto,** el clima, los recursos disponibles y la interconexión de actores. Las bombas de calor ofrecen una solución rápida y eficiente, mientras que las redes de calefacción y refrigeración urbanas pueden ser ventajosas en zonas densamente pobladas, donde podrían rebajar los picos de demanda eléctrica si se supera la barrera de la inversión. Ambas alternativas requieren superar la resistencia al cambio de los usuarios y su implementación implica la movilización de la inversión necesaria.

Integrar el vehículo eléctrico

Planificar los nuevos desarrollos urbanos teniendo en cuenta el aumento de la demanda eléctrica por el previsible crecimiento del vehículo eléctrico, así como su función de almacenamiento e inyección de energía a la red. Es necesario garantizar el derecho a cargar en los edificios o en el entorno, potenciar la carga inteligente y la seguridad de las instalaciones.

Personal experto consultado (por orden alfabético)

Aguado Alonso, Mónica. Directora del Departamento de Integración, Almacenamiento e hidrógeno en el Centro Nacional de Energías Renovables (CENER). Profesora titular del departamento de ingeniería eléctrica de la Universidad Pública de Navarra (UPNA).

Ferrer Tevar, José Antonio. Investigador, Eficiencia Energética en Edificación, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

Jiménez Navarro, Juan Pablo. Grupo de investigación en sistemas energéticos (RESUMA), Profesor, Universidad de Málaga. Consultor energético para organizaciones intergubernamentales.

Leiva Villaplana, José Ángel. Investigador postdoctoral, DTU Engineering Technology, Technical University of Denmark, Dinamarca.

Manjón Rodríguez, María José. Investigadora en Pobreza Energética. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Pontificia Comillas, Madrid.

Martín Gómez, César. Catedrático, Departamento de Construcción, Instalaciones y Estructuras, Universidad de Navarra.

Martínez Gordón, Rafael. Analista de energía limpias, Agencia Internacional de la Energía (IEA). Francia.

Olivieri, Lorenzo. Profesor titular, Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid.

Vicente Quiles, Pedro. Catedrático de Universidad de la Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH). Presidente del Comité Técnico de la Asociación Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR).

Zubia Olaskoaga, Itziar. Profesora Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Grupo de investigación "Sistemas Inteligentes y Energía".

EQUIPO C (por orden alfabético)

Este informe ha sido liderado por:

Maite Iriondo de Hond. Técnica de evidencia científica y tecnológica.

Sofía Otero. Técnica de evidencia científica y tecnológica.

Jose L. Roscales. Técnico de evidencia científica y tecnológica.

El equipo de trabajo está compuesto por:

Coordinación

Ana Elorza. Coordinadora de la Oficina C en la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.

Pedro Peña. Letrado de las Cortes Generales. Director de Estudios, Análisis y Publicaciones.

Equipo técnico

Bárbara Cosculluela. Letrada de las Cortes Generales. Jefa del Departamento de Asuntos Europeos.

Cristina Fernández-García. Técnica de conexión con la comunidad científica y la sociedad.

Método de elaboración

Las Notas C son documentos breves elaborados por la Oficina C sobre temas encargados directamente por la Mesa del Congreso, a petición de las comisiones parlamentarias. Su finalidad es ofrecer una síntesis ágil, rigurosa y accesible de la evidencia científica y tecnológica disponible en torno a una pregunta concreta de interés legislativo. Además, identifican consensos, disensos, incógnitas y debates en curso.

La elaboración de las Notas C se basa en la consulta a personas expertas mediante grupos de discusión y entrevistas, apoyada en bibliografía especializada. El documento es revisado posteriormente por el personal experto consultado.

Para la redacción de la presente Nota C, se ha consultado un total de 115 documentos y entrevistado a 10 personas expertas. El personal experto es un grupo multidisciplinar: el 80 % pertenece al ámbito de la ingeniería y la energía, mientras que el 20 % corresponde a las ciencias sociales. El 80 % de las personas expertas trabajan en instituciones españolas, mientras que el 20 % lo hace en al menos una institución extranjera.

La Oficina C es responsable del contenido de la nota y actúa como supervisora editorial del documento.

Introducción

La conectividad energética en los desarrollos urbanísticos tiene un impacto social y ambiental directo y es relevante para la transición energética¹. Se estima que los edificios generan el 8 % de las emisiones de gases de efecto invernadero en España (sin tener en cuenta las derivadas de la producción de la electricidad que utilizan entre el 12 % y el 19 % de las emisiones del sector energía)² y consumen el 32 % de la energía final³. De este consumo final se estima que el 60 % se destina a climatización (calefacción y refrigeración) y agua caliente⁴. En el marco de los objetivos climáticos de descarbonización⁵⁻⁸, la Unión Europea (UE) apuesta por la electrificación directa de los usos finales de la energía y reducir la dependencia de combustibles fósiles en favor de las energías renovables⁹. El horizonte es orientar los desarrollos urbanísticos hacia un entorno de cero emisiones para 2050⁶. La red energética urbana, eléctrica y térmica, es una infraestructura necesaria para alcanzar el objetivo de que los edificios de nueva construcción sean de cero emisiones para 2030¹⁰. También es esencial para el desarrollo de barrios interconectados con fuentes renovables o nuevas **redes urbanas de calor y refrigeración**, entre otros aspectos clave¹¹.



Ilustración. Suministro energético en los nuevos desarrollos urbanísticos. La conectividad energética requiere una visión sistémica que incluya aspectos técnicos, sociales, económicos y comunitarios.

Mejorar el suministro energético en los nuevos desarrollos urbanos exige una visión sistémica¹² para integrar los múltiples aspectos¹¹ que de lo contrario pueden actuar como barreras¹³. La conectividad no es solo un asunto técnico, sino que incorpora una visión socioeconómica y comunitaria que, más allá del confort y la funcionalidad, condiciona la viabilidad de los desarrollos urbanísticos^{12,14}. Se integran así aspectos como los hábitos de consumo de energía y la aceptación social¹⁵, la asequibilidad, la pobreza energética o la seguridad^{12,16}.

A nivel de la red, el enfoque sistémico requiere la integración efectiva entre generación, distribución y consumo o gestión de la demanda energética, así como el acoplamiento entre el sector eléctrico, térmico y de movilidad, en particular desde la entrada del vehículo eléctrico¹². Así, la red eléctrica sufre un cambio de paradigma: pasa de un modelo unidireccional a otro de flujos bidireccionales de energía e información entre consumidores y productores, lo que aumenta la complejidad del sistema e incorpora nuevos actores. En este nuevo modelo, la flexibilidad de la red y de la demanda, las opciones de almacenamiento energético, la

¹ **Redes urbanas de calefacción y refrigeración:** Producción centralizada de calor y frío usando energías renovables (biomasa, geotermia, energía solar etc.) o residuales que se distribuye por tuberías subterráneas a múltiples edificios. En este documento utilizamos indistintamente este término o redes de distrito de calor y frío.

eficiencia y con ellas el diseño inteligente, se convierten en aspectos clave^{12,17}. Se incorpora también una visión social y comunitaria que requiere adecuar servicios, diseños e infraestructuras^{14,17}, ya que aparecen nuevos modelos de consumo colectivo (**comunidades energéticas**, redes de distrito, etc.) que se alejan de los sistemas individuales que predominan en la actualidad¹⁷⁻¹⁹. Por ejemplo, en España, más del 60 % del calor procede de calderas descentralizadas basadas en combustibles fósiles²⁰.

Existen otras singularidades a nivel nacional que definen desafíos y oportunidades propios. Por un lado, el diseño debe considerar que, al contrario que en Europa donde existe mayor presencia de casas unifamiliares, en España abundan los grandes bloques con garajes comunitarios. Además, a nivel climático, las condiciones favorecen la producción de renovables (sol, viento), pero también varían las necesidades de climatización según la época del año o región²¹. En las tres próximas décadas se prevé a nivel global un aumento en los edificios de la demanda de electrodomésticos, iluminación y refrigeración; en el caso español sobre todo de esta última²², mientras disminuyen calefacción y cocinas¹.

También, la condición de isla energética de España, derivada de su escasa interconexión con el resto de Europa, limita su autosuficiencia y seguridad energética²³. Esta vulnerabilidad exige una respuesta estratégica a nivel comunitario, dado que también compromete la resiliencia europea ante crisis energéticas, dificulta el aprovechamiento de la potencia renovable española en Europa y la consecución de los objetivos de descarbonización.

Las medidas presentadas en este documento favorecen la conectividad y sirven para fortalecer la seguridad energética, especialmente en nuevos desarrollos urbanísticos y comunidades energéticas²⁴ (generación distribuida renovable, autoconsumo colectivo y reducción de la demanda^{25,26} o sistemas y edificios eficientes^{25,27}, por ejemplo).

Mejoras en la conectividad del suministro energético

Visión estratégica, planificación y mantenimiento

La planificación es un habilitador indispensable para mejorar la conectividad del suministro, ya que permite integrar el sistema energético desde el diseño del desarrollo urbano^{14,28}. La integración de la generación distribuida de energía es un aspecto clave para la creación de nuevos barrios o distritos más eficientes, como las llamadas **comunidades energéticas** o los **distritos de energía positiva**, que potencian la conectividad y favorecen los objetivos climáticos^{29,30}. Para alcanzar el principio general de utilizar la **energía de proximidad** es necesario actuar a múltiples niveles.

Fortalecer la gobernanza

Las soluciones comunitarias requieren adaptar la conectividad a las características locales para lo cual los gobiernos municipales y regionales son fundamentales¹⁷. La planificación basada en el **mapeo energético** permite, apoyada por una unidad de coordinación o partenariado público-privado, elaborar planes para detectar sinergias y aplicar políticas o incentivos (de generación y consumo) a medida según la zona y las opciones de generación, distribución y consumo que están presentes^{17,31,32}. Este tipo de planificación desbloquea un amplio espectro de oportunidades: el uso del calor sobrante y residual de instalaciones industriales (centrales térmicas) o del sector servicios (grandes superficies comerciales, centros de datos), o distribuir el excedente de producción fotovoltaica de los edificios locales, entre otros.

La Directiva de Eficiencia Energética señala que los Estados miembros velarán por que las autoridades regionales y locales elaboren planes de calefacción y refrigeración, al menos en los municipios que superen los 45 000 habitantes⁷. El éxito de estas medidas está condicionado, por tanto, a las capacidades y

· **Comunidades energéticas:** En este documento nos referimos a grupos heterogéneos que pueden incluir vecinos, PYMES o industria y ayuntamientos que se organizan para producir, compartir y gestionar energía, sobre todo renovable, y así fomentan aspectos como la eficiencia, la flexibilidad y la reducción de emisiones.

· **Energía de proximidad:** Modelo en el que la energía se genera, gestiona y consume cerca de donde se necesita, mediante recursos distribuidos y locales (solar en cubiertas, eólica, bombas de calor, almacenamiento, redes de calor/frío, etc.). Su objetivo es reducir pérdidas, mejorar la resiliencia y beneficiar a la comunidad (costes, calidad del suministro, clima).

· **Distritos de energía positiva:** Aquellos que generan más energía de la que consumen.

· **Mapeo energético:** Se refiere al conjunto de mapas temáticos que representan, en un territorio, la demanda (calor/frío/electricidad) y la oferta/potenciales (renovables locales, calor residual, redes existentes) para identificar oportunidades de proyectos colectivos (p. ej., comunidades energéticas, redes de distrito o barrios de energía positiva) y priorizar inversiones de manera costo-eficiente. Se usan principalmente por ayuntamientos, planificadores y operadores para conectar fuentes y necesidades y decidir dónde y cómo actuar primero.

herramientas locales. Así, para aprovechar todo el potencial y mejorar la toma de decisiones informada³³⁻³⁵, resulta conveniente la formación de gestores municipales y el desarrollo de plataformas transversales que permitan a las administraciones locales intercambiar experiencias, lecciones aprendidas y mejores prácticas. Herramientas como las Oficinas de Transformación Comunitaria³⁶ pueden ser muy relevantes para fortalecer las capacidades locales del tándem planificación-gobernanza³⁷. Igualmente, asegurar la disponibilidad de guías de planificación^{30,35}, de opciones tecnológicas, de acceso³⁸ y de justicia social³⁹ disponibles así como fomentar el intercambio de políticas⁴⁰ y conocimiento³⁵, favorece su desarrollo. En España, el Instituto de la Diversificación y Ahorro de la Energía ofrece guías de este tipo⁴¹.

Integrar los sectores involucrados

La integración energética se basa en la planificación conjunta para integrar y conectar electricidad, climatización y movilidad, así como sus mercados, un aspecto necesario para garantizar comunidades basadas en un sistema energético diversificado, distribuido y flexible²⁰. El sistema energético actual convierte combustibles (gas, líquidos y sólidos) o electricidad en calor, y cubre la demanda eléctrica con plantas centralizadas (incluidas renovables, como puede ser la eólica) y generación solar descentralizada²⁰. En un nuevo sistema acoplado se favorecen sinergias entre sectores y nuevas soluciones técnicas que potencian aspectos clave como la flexibilidad, el ahorro y la eficiencia, la distribución y la seguridad, a la vez que se refuerza el papel de las renovables y se reducen emisiones^{20,42,43}. La transición de uno a otro requiere planificar y desplegar **tecnologías de conversión** entre vectores (electricidad-calor y electricidad-gas, otros), **cogeneración** y almacenamiento eléctrico y térmico²⁰.

Desde una perspectiva administrativa y estratégica, el personal experto recomienda que las áreas de transición ecológica, vivienda y urbanismo, y energía trabajen de forma integrada y coordinada con estrategias transversales que integren la planificación ambiental, energética y urbanística.

Reforzar las infraestructuras eléctricas

La electrificación y el despliegue de tecnologías renovables exigen adaptar las redes de transporte y distribución para conectar los nuevos puntos de generación con los puntos de consumo en un sistema cada vez más complejo⁴⁴. El

análisis de la red, las colas de conexión, los costes de las interrupciones, la congestión y los plazos de desarrollo evidencian que las redes eléctricas se están convirtiendo en un cuello de botella para la transición energética^{14,44}. En 2024, el sector urbanístico en España solicitó 6,7 GW de acceso a la red, pero la saturación de la infraestructura impidió tramitar o aprobar muchas de estas solicitudes^{13,45}. Un refuerzo efectivo de las infraestructuras eléctricas requiere planificación estratégica a largo plazo, mayor inversión, innovación tecnológica, soluciones de flexibilidad, resiliencia frente a eventos climáticos extremos, cadenas de suministro robustas, desarrollo de talento y una gobernanza participativa y transparente⁴⁴.

El personal experto señala que las inversiones deben priorizar la modernización y digitalización de las redes de distribución (ver *Invertir en innovación, modernización y digitalización del sector*), que constituyen una parte significativa del total de inversión⁴⁶⁻⁴⁸. Incluye aspectos como subestaciones digitales, sensores de red avanzados, mantenimiento predictivo (ver *Planificar el mantenimiento y ciclo de vida*) y monitorización integral de activos. Este enfoque permite asegurar la retribución adecuada de los operadores mientras se evita trasladar costes excesivos a los consumidores⁴⁶⁻⁴⁸.

Generar certidumbre regulatoria e incentivos para nuevos consumos

El autoconsumo y el consumo colectivo pueden favorecer la generación de valor, la electrificación de la economía y la creación de empleo local. El diseño de planes urbanísticos vinculantes y acuerdos u ordenanzas que aseguren el compromiso de adhesión de los usuarios (p. ej., contratación de la energía térmica del distrito por las nuevas viviendas) pueden viabilizar inversiones y reducir riesgos asociados al desarrollo de comunidades energéticas eficientes^{31,32,49,50}. Estos deben contemplar potenciales cambios en la demanda a largo plazo, como menores necesidades de calefacción y mayores de refrigeración^{22,32}. También podrían apoyarse en incentivos económicos. Estos pueden incluir desde una previsión de precios reducidos que favorezca el acceso a la energía de los usuarios hasta desincentivar prácticas como la refrigeración sin recuperación de calor para usos industriales o comerciales, como se está planteando en alguno países europeos⁵¹⁻⁵³.

· **Tecnologías de conversión:** Sistemas que transforman una forma de energía o materia en otra diferente, optimizando procesos industriales y promoviendo eficiencia energética. Estas tecnologías abarcan áreas como la conversión termoeléctrica, mecánica y fotovoltaica, además de aplicaciones en biomasa y residuos.

· **Cogeneración:** Producir electricidad y calor útil al mismo tiempo en una misma instalación, aprovechando el calor que normalmente se perdería en una instalación como una central eléctrica convencional. Permite reducir costes, es altamente eficiente y puede proporcionar seguridad energética o, en función de los combustibles, servir para reducir emisiones. Su viabilidad depende de una demanda térmica estable y cercana y requiere una inversión y operación complejas.

Agilizar los trámites administrativos

Rediseñar redes de distrito de calefacción o refrigeración o implantar nuevas puede llevar entre 3 y 10 años. Las redes eléctricas exigen 5–15 años (planificación, permisos, obra), frente a 1–5 para renovables y menos de 2 para nuevas cargas (vehículo eléctrico, vivienda, industria), por lo que es necesario integrar los plazos desde el diseño y alinearlos lo más posible para evitar sobrecostes o retrasos que impidan avanzar^{14,54}.

El Real Decreto-Ley para acelerar y simplificar los procedimientos administrativos en distintos ámbitos del sector eléctrico fue derogado poco después de su entrada en vigor⁵⁵. A pesar de ello, las empresas de energía eléctrica urgen a avanzar en esta dirección para que el acceso y conexión a la red de los nuevos desarrollos urbanos no lastre el acceso a la vivienda¹³. Concretamente, una vía para agilizar la gestión y reducir cargas para los operadores y usuarios es revisar las concesiones y simplificar los trámites administrativos, lo que incluye la evaluación de licencias y su vigencia, así como los derechos de conexión y la potencia asignada. Se trata de evitar dobles validaciones y procesos redundantes^{56–58} y de optimizar la gestión de las colas de conexión para priorizar las nuevas viviendas^{45,59}.

También se trabaja en un Real Decreto-Ley para armonizar y simplificar los trámites administrativos para las redes urbanas de calefacción y refrigeración, algo que también reclaman estas empresas y que la Comisión Europea identifica como barrera para su implantación^{60,61}.

Ante estas limitaciones, el personal experto propone ahondar en el uso de la ventanilla única y crear grupos de trabajo a nivel local y regional para implantar nuevas redes o ampliar o integrar las ya existentes^{56,58}.

Reducir la demanda de energía

La reducción de la demanda energética y la mejora de la eficiencia en todas sus dimensiones constituyen las medidas más económicas y de aplicación inmediata para reforzar la conectividad y la resiliencia del sistema energético y ocupan un lugar prioritario a nivel europeo^{62,63}. Las actuaciones pueden, por un lado, orientarse a la concienciación y modificación de hábitos individuales (por ejemplo, establecer umbrales de temperatura más ajustados permite un ahorro energético significativo sin necesidad de inversión)⁶⁴. Incidir en la respuesta de la demanda de los consumidores es fundamental para optimizar el uso de energía (ver sección *Fomentar la respuesta de la demanda*).

Por otro lado, la demanda puede reducirse desde el diseño arquitectónico de los nuevos desarrollos urbanos⁶⁵.

Integrar la arquitectura de baja demanda y generadora de energía

Para construir un edificio confortable y atractivo que demande menos energía, es necesario considerar, entre otros factores, el clima en el que se ubica, el uso que se le dará, los materiales que se utilizan en su construcción o su geometría, en la que influye su orientación, la posición de las ventanas y la superficie que está expuesta al exterior⁶⁶. Es conveniente contemplar medidas destinadas a mejorar el aislamiento térmico, soluciones pasivas, centradas en aprovechar la orientación, ventilación natural, sombreado, y apoyarse en la generación distribuida, principalmente solar⁶⁶. Esta puede aprovecharse para convertir al edificio en generador de energía, por ejemplo, instalando módulos fotovoltaicos convencionales en tejados o similar, o utilizando soluciones de integración fotovoltaica en arquitectura, que combinan la generación eléctrica con funciones constructivas y características adecuadas al entorno construido⁶⁷. Por ejemplo, una lama de protección solar puede reducir la necesidad de refrigeración y a la vez producir energía si se fabrica con material fotovoltaico⁶⁷. Para facilitar estos desarrollos, el personal experto recomienda reducir las barreras de la normativa de autoconsumo colectivo⁶⁸. Los elementos generadores también pueden incluirse en el entorno urbano, en parkings o marquesinas que faciliten la generación y almacenamiento de energía⁶⁹.

Planificar el mantenimiento y ciclo de vida

La limitación de la vida útil y la incertidumbre tecnológica (las necesidades futuras podrían dejarlas obsoletas) exigen planificar el mantenimiento desde el diseño. En infraestructuras enterradas, la saturación de cables y tuberías y las averías pueden implicar obras invasivas, lentas y costosas. Las **galerías registrables** simplifican el mantenimiento²³. Casos como el de Pamplona^{70,71} y otros muestran que, pese a dificultades en coordinación e inversión inicial, pueden evitar obras en las calles en el futuro, reducir costes asociados al ciclo de vida de las instalaciones y facilitar la adaptación tecnológica y conectividad en desarrollos nuevos e históricos^{71,72}. Aun así, la comunidad experta subraya la necesidad de reforzar la evidencia sobre ventajas e inconvenientes de estas soluciones²³. El desarrollo de gemelos digitales es una solución avanzada prometedora ya que reducen los costes operativos al favorecer una planificación mejor y

· **Galerías registrables:** Es un pasaje subterráneo sólo transitable por operarios que aloja varias conducciones (electricidad, telecomunicaciones, agua, climatización urbana, etc.) y que se accede únicamente a través de registros/arquetas ubicados a intervalos o en puntos singulares.

una operación más eficiente. Puede aplicar a edificios, distritos o a mayores escalas, incluyendo procesos como el mantenimiento predictivo sustentado en datos reales de las instalaciones⁷³. Antes de su implementación es necesario incidir en el uso de analítica de datos de consumo, termostatos inteligentes, y, a nivel de edificio, nuevos avances para optimizar los sistemas de gestión energética (BEMS, por sus siglas en inglés). Estos sistemas permiten mejorar la predicción de cargas, gestionar dinámicamente los flujos energéticos y reducir la demanda máxima.

Impulsar soluciones inclusivas

El desarrollo de distritos de energía positiva ofrece, entre otros aspectos, importantes cobeneficios y oportunidades sociales^{74,75}. Al generar más energía de la que consumen pueden revertir en otros barrios y favorecer a consumidores vulnerables y electrodependientes, contribuyendo a la equidad energética y a la reducción de costes del sistema^{74,76}. Figuras como los administradores de fincas o los trabajadores sociales con competencias energéticas pueden jugar un papel de acompañamiento relevante en este sentido.

Aunque no suelen habitar los nuevos desarrollos, para que no queden al margen, los avances en la conectividad deben ser diseñados teniendo en cuenta estos grupos vulnerables y las zonas rurales. Es necesario que la pobreza energética se considere de forma transversal en España, en línea con el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía⁷⁷. Para garantizar la equidad energética, por un lado, es necesario proteger al consumidor y garantizar un precio asequible de la energía que contemple mecanismos (financieros u otros) para evitar gastos adicionales para los hogares^{76,78}. Para que las soluciones lleguen a todos, es imprescindible el apoyo público, que se premie la innovación social, no sólo tecnológica, en energía y la implicación empresarial mediante mecanismos como departamentos específicos de energía social^{79,80}. Por otro, es clave empoderar a todos los consumidores para que puedan ejercer sus derechos energéticos⁷⁸.

Incorporar sistemas de medición del impacto social y ambiental en estas políticas es esencial para evaluar su eficacia y, además, condición necesaria para contar con datos fiables que orienten decisiones informadas⁸¹⁻⁸³. También es importante que la planificación de la demanda incluya la correspondiente a los hogares en situación de vulnerabilidad energética, no solo a partir de datos históricos, sino incorporando proyecciones y necesidades energéticas futuras de estas personas⁸⁴. De estas formas,

se integran las necesidades y realidades de todos los grupos sociales y se asegura que la transición energética aporte beneficios reales, equitativos y sostenibles.

Fomento de la flexibilidad del sistema energético

La generación renovable en España depende principalmente de la solar fotovoltaica y la eólica⁸⁵⁻⁸⁷, tecnologías de producción variable según la disponibilidad del sol y viento. Su creciente penetración plantea retos en la estabilidad y **flexibilidad** de las redes eléctricas, que deben gestionar desbalances frecuentes entre oferta y demanda de energía⁸⁸. El fomento de la flexibilidad equilibra la carga en la red y es una medida que evita inversiones costosas en nueva infraestructura. La monitorización activa y el control en tiempo real del consumo y los procesos de generación son la base para desbloquear la flexibilidad y optimizar la operación de la red, por ejemplo, ante los picos de demanda. Requiere de un sistema digitalizado, transparente y visible para todos los actores involucrados, incluidos consumidores informados.

Fomentar la respuesta de la demanda mediante consumidores informados y proactivos

En un contexto de alta penetración de renovables, donde los combustibles fósiles almacenables no son una alternativa para absorber los picos de demanda, la energía y el momento en que se consume dejan de ser factores independientes para convertirse en elementos interconectados entre sí y con los ritmos sociales⁸⁹. Por tanto, para planificar el modelo energético cobra importancia conocer cómo van cambiando las actividades humanas que consumen energía a lo largo del día y en diferentes estaciones⁸⁹.

La respuesta a la demanda es una estrategia que busca equilibrar la oferta y la demanda de energía en redes eléctricas mediante incentivos que ayuden a desplazar el consumo individual de electricidad hacia los momentos en los que la energía renovable es más abundante o la demanda es menor¹⁴. Con ello se reduce el impacto de la variabilidad en la generación de las renovables y se proporciona estabilidad a la red⁹⁰. Para optimizar el consumo, reducir cargas parasitarias y facilitar un cambio en la demanda energética es necesario poner al alcance del consumidor (y de la vivienda) la información necesaria: fomentar la digitalización de los hogares, la mejora de sensores y medidores, así como el análisis de

· **Flexibilidad del sistema eléctrico:** Capacidad de responder de manera ágil a las variaciones en la oferta y la demanda de energía eléctrica¹⁴.

datos y patrones de consumo energético que permite integrar hábitos, soluciones de domótica y automatización inteligente.

Para incentivar a los consumidores a modificar sus hábitos de consumo suelen emplearse mecanismos económicos (precios y tarifas bajas durante las horas de mayor producción renovable o momentos de menor demanda de energía, recibir créditos por reducir el consumo en horas de alta demanda, etc.) y campañas de información, empleadas para concienciar sobre cómo los hábitos de consumo pueden influir en mejorar la eficiencia y descarbonización del sistema energético^{90,91}. Además, el consumidor tiene el potencial de adoptar nuevas funciones en las redes de distribución, que incluyen la capacidad de almacenar energía (por ejemplo, con la carga del vehículo eléctrico) o de producción de energía (en calidad de **prosumidor**, por ejemplo, con paneles solares sobre las viviendas)⁹².

Este escenario permite la entrada de nuevos actores para facilitar el cambio de hábitos en los consumidores, como empresas de servicios públicos y todos los agentes sociales (administraciones, trabajador social energético, innovación social etc.) que implementen programas de respuesta de la demanda y de asesoramiento energético^{91,93}. En estos programas se emplean tecnologías para proporcionar información en tiempo real (por ejemplo, sobre los precios de la energía) para facilitar la toma de decisiones. También pueden incluir la automatización de los aparatos y electrodomésticos de las viviendas, de manera que operen de manera autónoma según las condiciones del mercado⁹¹.

Invertir en innovación, modernización y digitalización del sector

El sistema energético tradicional está experimentando una modernización hacia un sistema gestionado digitalmente mediante **redes inteligentes**, en las que se potencian los beneficios de los recursos distribuidos, como la energía solar en tejados o bombas de calor eléctricas, así como todas las fuentes de flexibilidad⁴⁴. La digitalización y la gestión de datos son fundamentales para planificar, monitorizar y optimizar el sistema energético urbano⁹⁴. Su despliegue permite desbloquear el potencial de la respuesta de la demanda y del almacenamiento energético, y facilitar la integración de nuevos agentes activos (como **agregadores** y **prosumidores**), así como de modelos emergentes de organización energética (como el

autoconsumo y las comunidades energéticas)⁴⁴. El rango de tecnologías incluye desde contadores inteligentes y sensores, como piezas básicas para monitorizar los flujos de energía, hasta sistemas avanzados como los gemelos digitales, que pueden utilizarse para monitorizar, modelizar y optimizar procesos⁹⁵. Finalmente, la digitalización supone invertir en formación de profesionales actualizados⁴⁴, así como en ciberseguridad, para evitar desabastecimientos y ciberataques en estas infraestructuras críticas⁹⁴.

La digitalización de las redes se enfrenta varios retos, que incluyen los altos costes iniciales, las preocupaciones sobre privacidad y seguridad de los datos, y la brecha de acceso a tecnologías digitales, especialmente entre los grupos más vulnerables⁴⁴. Asimismo, la integración de sistemas, particularmente en infraestructuras heredadas, se ve limitada por la interoperabilidad reducida y la falta de protocolos de comunicación estandarizados⁹⁶. Para superar estos desafíos, resulta fundamental favorecer la escalabilidad de las soluciones digitales y mejorar los incentivos para la digitalización en el sector energético y en edificios, garantizando así eficiencia, interoperabilidad y accesibilidad⁹⁶.

Facilitar el acceso y transparencia de los datos de consumo energético

El acceso a la información sobre los datos de consumo eléctrico es clave para que el consumidor tenga un papel activo en la gestión de su demanda (identificar patrones, ajustar sus hábitos y reducir sus facturas de energía)^{93,97}. A pesar de que la mayoría de los contadores inteligentes registran los datos de consumo al minuto, esta información no es accesible de forma inmediata o sencilla y no es fácil de interpretar por el usuario final, lo que limita su capacidad para tomar decisiones informadas y participar activamente en el mercado energético. Por ello se requieren estrategias para el intercambio y coordinación de datos entre los actores del sistema energético, que incluya consumidores, comercializadoras, operadores de distribución y transporte de energía y nuevas figuras como los **agregadores**⁹⁰.

· **Prosumidor de energía:** Es aquel que consume energía pero también la produce, a menudo a través de fuentes renovables como paneles solares, y puede inyectar los excedentes a la red eléctrica.

· **Red eléctrica inteligente:** Es un sistema de distribución de electricidad que utiliza la tecnología digital para mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la seguridad de la red

· **Agregador:** Persona física o jurídica que combina múltiples consumos de clientes o electricidad generada para su venta, compra o subasta en cualquier mercado de electricidad.

Impulsar la creación de mercados de flexibilidad eléctrica

Las plataformas de mercado sirven como una alternativa a inversiones de ampliaciones de red y posibilitan una gestión eficiente de la misma, en un contexto de alta penetración de energías renovables. Los **mercados de flexibilidad** eléctrica deben adaptarse para facilitar la incorporación y libre participación de los nuevos actores (comunidades energéticas, agregadores, gestores de la red de distribución, etc.) para promover que puedan hacer una gestión adecuada de la energía y beneficiarse de los mejores precios⁹⁸. La creación de **sandboxes** o entornos regulatorios para mercados de flexibilidad a nivel local y en las redes de distribución puede facilitar la expansión y escalamiento de soluciones innovadoras. En España, la Directiva Europea 2019/944⁹⁹ del mercado interior de electricidad trata los incentivos para el uso de la flexibilidad en redes de distribución, pero se necesitan mayores esfuerzos para impulsar mercados locales de flexibilidad¹⁰⁰. A nivel europeo^{98,101} y nacional^{100,102} se han recogido iniciativas y evaluaciones que pueden inspirar cambios en el contexto español.

El futuro de la climatización

En 2023, en el ámbito residencial en España, cerca del 40 % de la calefacción y el 70 % del agua caliente sanitaria se obtuvieron de combustibles fósiles, mayoritariamente del gas y después de productos petrolíferos¹⁰³. La demanda de refrigeración, que ha aumentado y seguirá creciendo, se cubrió con electricidad^{22,103,104}, aunque no toda la población tiene acceso, ya que se encuentra en una situación de pobreza energética^{105,106}. Faltan indicadores oficiales sobre la situación¹⁰⁷.

Priorizar alternativas para descarbonizar la climatización

La directiva europea 2024/1275 exige que todos los nuevos edificios sean cero emisiones a partir de 2030⁶⁵. Además, desde 2025 queda prohibido conceder incentivos públicos para la instalación de calderas fósiles⁶⁵. Para cumplir con los objetivos de cero emisiones en 2050, la Agencia Internacional de la Energía recomienda prohibir las calderas de cualquier combustible fósil en nuevos edificios y reservar el gas (natural o biogás) para usos industriales. Estos requieren mayor temperatura y aportan valor añadido, como la transformación de materias primas^{104,108}. Así, también se reduciría la dependencia energética exterior, con importantes ventajas económicas

y de seguridad⁵. Alemania ha dado pasos ya en esa dirección^{109,110}.

Las alternativas para descarbonizar y optimizar la climatización en nuevos desarrollos urbanos, que podrían reflejarse en el código de edificación²², serían:

- la electrificación de la calefacción, con soluciones como bombas de calor que permiten aprovechar calor ambiental (del aire, agua o subsuelo) y funcionan de forma eficiente.
- sistemas de refrigeración eléctrica eficientes.
- el establecimiento de redes de distrito de calor y refrigeración^{20,104}.

Elegir la mejor alternativa

La estrategia más adecuada depende del contexto, tanto del clima como de los recursos disponibles, y de la coordinación entre distintos actores¹⁰⁴. La instalación de bombas de calor es una de las alternativas más sencillas y rápidas de implementar puesto que puede hacerse a nivel individual¹⁰⁴. Además, tiene una eficiencia muy alta, lo que reduce costes, y es capaz de proporcionar tanto calor como frío¹⁰⁴. En cambio, las redes de calor y refrigeración podrían ser una alternativa para reducir los picos de demanda en zonas con alta densidad de población⁵. Se basan en economías de escala, donde la centralización y el alto número de usuarios contribuyen a mejorar su eficiencia¹¹¹.

A pesar de la alta inversión inicial y de que precisan tiempo y normativa para facilitar su implementación en España, si el proyecto alcanza el tamaño suficiente, las redes de calor y frío pueden conllevar ventajas en barrios nuevos, tales como^{5,60}:

- Evitar la compra de elementos de climatización individual.
- Externalizar el mantenimiento de los sistemas de acondicionamiento ambiental.
- Ganar espacio en los edificios.
- Aumentar la seguridad de las instalaciones al disminuir, entre otros, los riesgos sanitarios (se necesitan menos torres de refrigeración).

Aunque en España estas redes son poco frecuentes en comparación a otros países europeos, actualmente hay

· **Mercado de flexibilidad:** Mecanismo dentro del sistema energético que permite a distintos actores (como consumidores, productores, agregadores, etc.) ofrecer servicios que ayudan a equilibrar la oferta y la demanda de electricidad en tiempo real o casi real.

· **Sandbox:** Es un entorno de pruebas o espacio aislado y controlado para experimentar con software o nuevas tecnologías sin afectar al sistema principal.

censadas más de 500, presentes sobre todo en Cataluña y Castilla y León¹¹². La mayoría se alimenta de biomasa, son de distribución de calor y con temperaturas cercanas a los 90°C¹¹². Hay un gran potencial de crecimiento para las redes de frío o frío/calor y para aquellas que transportan el agua a temperaturas intermedias, aún más eficientes y combinables con tecnologías que emplean bombas de calor (aeroterminia, geoterminia, hidrotermia)^{111,112}.

Respecto a la electrificación, para ganar flexibilidad y resiliencia, puede beneficiarse de la digitalización y el almacenamiento térmico, ya que ambas permiten reducir costes e integrar mejor las renovables¹⁰⁴. También de la recuperación de calor o frío procedentes de actividades industriales, tales como los centros de datos¹⁰⁴. España puede resultar atractiva para estas actividades debido al precio más competitivo de la energía eléctrica.

Una de las principales barreras, comunes a la electrificación y a las redes de distrito, es la reticencia de los usuarios a abandonar los sistemas de climatización tradicionales, por los costes iniciales, el desconocimiento de sus ventajas a largo plazo o la obligación de compartir activos con otros vecinos^{5,104}.

Integrar el vehículo eléctrico

La conectividad en los nuevos barrios ha de planificarse teniendo en cuenta el previsible aumento en el número de coches eléctricos¹⁰⁴. Esto incluye:

- Asegurar que la red es capaz de responder al aumento de la demanda. Para ello, la carga debe acoplarse con la disponibilidad de energía renovable, por ejemplo, durante el día, lo que desplazaría la carga a los centros de trabajo¹⁰⁴. Se recomienda la instalación de sistemas digitales para optimizar la carga del vehículo según el precio de la energía, la congestión del sistema o la edad de la batería¹⁰⁴. También pueden ser útiles para coordinar la carga en garajes comunitarios sin tener que aumentar la potencia.
- Garantizar el derecho a cargar, con acceso a enchufe en casa, en el trabajo o en el espacio público¹⁰⁴. Esto se complica en edificios tales como bloques de pisos u oficinas donde cargarían muchos usuarios al mismo tiempo¹⁰⁴. Además, algunas estimaciones señalan que, en España, el 70 % de los coches duermen en la calle y no tendrían acceso a un cargador a precio económico a diario si no se establece una red de puntos de carga^{113,114}.
- Establecer medidas de seguridad y prevención de incendio del coche eléctrico desde la planificación, especialmente en garajes con muchos vehículos.

Para disminuir la dependencia del coche en los barrios nuevos, el personal experto recomienda planificar desde el inicio el transporte público y otras alternativas de transporte activo como la infraestructura ciclista o la planificación peatonal¹¹⁵.

Perspectivas

La mejora de la conectividad no es exclusiva de los nuevos desarrollos. Aunque es un tema que no se aborda en el alcance de esta pregunta, la rehabilitación urbana y de edificios representa uno de los principales retos para España, especialmente ante la próxima transposición de la Directiva (UE) 2024/1275 sobre eficiencia energética de los edificios.

Bibliografía

1. Camarasa, C. et al. A global comparison of building decarbonization scenarios by 2050 towards 1.5–2 °C targets. *Nature Communications* 13, 3077 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29890-5>.
2. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Informe de Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*. NIPO: 665-24-011-6 (2024).
3. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *La energía en España 2020*. ISSN: 2444-7102 (2022).
4. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Sobre el informe anual de consumos por usos del sector residencial. Consumo por usos del sector residencial. Evolución 2010-2023. <https://informesweb.idae.es/consumo-usos-residencial/informe.php> [19/09/2025].
5. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima. Actualización 2023-2030*. https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/energia/files-1/pniec-2023-2030/PNIEC_2024_240924.pdf (2024).
6. *Directiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de abril de 2024, relativa a la eficiencia energética de los edificios, (refundición), (Texto pertinente a efectos del EEE)*. (2024).
7. Boletín Oficial del Estado. Directiva (UE) 2023/1791 del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de septiembre de 2023 relativa a la eficiencia energética y por la que se modifica el Reglamento (UE) 2023/955 (versión refundida). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2023-81299> [05/09/2025].
8. Naciones Unidas (ONU). Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2015).
9. Comisión Europea. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. El Pacto Verde Europeo. (2019).
10. Objetivo 5b: hacer que los edificios de la UE sean más ecológicos. *Consilium* <https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/> [25/09/2025].
11. Mata, É., Korpai, A. K., Cheng, S. H., Jiménez Navarro, J. P., Filippidou, F., Reyna, J. & Wang, R. A map of roadmaps for zero and low energy and carbon buildings worldwide. *Environmental Research Letters* 15, 113003 (2020). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb69f>.
12. Comisión Europea. *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration*. (2020).
13. AELEC. Impulsar la vivienda pasa por reforzar las redes eléctricas: reclamamos junto con ASPRIMA medidas urgentes para garantizar el acceso y conexión a suministro en nuevos desarrollos urbanísticos en España. *aelec* <https://aelec.es/impulsar-la-vivienda-pasa-por-reforzar-las-redes-electricas-asprima/> [14/08/2025].
14. International Energy Agency. *Empowering Urban Energy Transitions. Smart cities and smart grids*. <https://www.iea.org/reports/empowering-urban-energy-transitions> (2024).
15. Hakawati, B., Mousa, A. & Draidi, F. Smart energy management in residential buildings: the impact of knowledge and behavior. *Scientific Reports* 14, 1702 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51638-y>.
16. Grudler, C. REPORT on a European strategy for energy system integration. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0062_EN.html [20/09/2025].
17. United Nations Environment Programme. District energy in cities: unlocking the potential of energy efficiency and renewable energy. <https://www.unep.org/resources/report/district-energy-cities-unlocking-potential-energy-efficiency-and-renewable-energy> [19/09/2025].
18. European Commission. Joint Research Centre. Efficient district heating and cooling systems in the EU: case studies analysis, replicable key success factors and potential policy implications. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/371045> (2016).
19. European Commission. Heating and cooling. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling_en [20/09/2025].
20. Kavvadias, K., Jiménez-Navarro, J. P. & Thomassen, G. Decarbonising the EU heating sector: integration of the power and heating sector. (Publications Office of the European Union, 2019). ISBN: 978-92-76-08386-3.
21. Barrera, R. & Blas-Alvarez, L. Unpacking the energy crisis impact with a multidimensional vulnerability index: A granular analysis of the Spanish case. *GeoJournal* 89, 34 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10708-024-11031-8>.
22. Sarabia-Escriva, E.-J., Jiménez-Navarro, J.-P., Soto-Francés, V.-M. & Pinazo-Ojer, J.-M. Assessing the energy performance certification effectiveness for the Spanish building stock in response to recent climate change data. *Energy and Buildings* 323, 114816 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114816>.
23. International Energy Agency (IEA). Spain 2021 Energy Policy Review. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/2f405ae0-4617-4e16-884c-7956d1945f64/Spain2021.pdf> (2021).
24. Mutani, G., Santantonio, S., Brunetta, G., Caldarice, O. & Demichela, M. An energy community for territorial resilience: Measurement of the risk of an energy supply blackout. *Energy and Buildings* 240, 110906 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110906>.
25. Energy security – Analysis. IEA <https://www.iea.org/reports/energy-security> [25/09/2025].
26. Executive summary – Unlocking the Potential of Distributed Energy Resources – Analysis. IEA <https://www.iea.org/reports/unlocking-the-potential-of-distributed-energy-resources/executive-summary> [25/09/2025].
27. European Commission. Energy Performance of Buildings Directive. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/energy-performance-buildings-directive_en [25/09/2025].
28. Planificación Eléctrica. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico <https://www.miteco.gob.es/es/energia/estrategia-normativa/planificacion/planificacion-electrica.html> [20/09/2025].
29. Jimenez, N. J. P., Filippidou, F., Kavvadias, K. & Carlsson, J. Efficient District Heating and Cooling. JRC Publications Repository <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC126522> [09/09/2025]. <https://doi.org/10.2760/854480>.
30. European Commission. Positive Energy Districts. https://setis.ec.europa.eu/working-groups/positive-energy-districts_en [25/09/2025].
31. European Commission. Directorate General for Energy., E Think, TU Wien., Fraunhofer ISI., Öko Institut e.V., & Viegand Maagoe. Renewable space heating under the revised Renewable Energy Directive: ENER/C1/2018 494 : final report. Warming up to it: Principles for clean, efficient and smart district heating. (Publications Office, 2022).
32. Sneum, D. M., Billerbeck, A., Kachirayil, F. & McKenna, R. Barriers to district heating deployment: insights from literature and experts. *Energy Policy* 206, 114780 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2025.114780>.
33. Empowering Cities for a Net Zero Future – Analysis. IEA <https://www.iea.org/reports/empowering-cities-for-a-net-zero-future> [21/09/2025].
34. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Guía de orientaciones a los municipios para el fomento del autoconsumo. <https://www.idae.es/publicaciones/guia-de-orientaciones-los-municipios-para-el-fomento-del-autoconsumo> [09/10/2025].
35. Davide, M. et al. How to develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP). JRC Publications Repository <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC142148> [21/09/2025]. <https://doi.org/10.2760/4489817>.
36. El IDAE publica el mapa de Oficinas de Transformación Comunitaria (OTC) | Idae. <https://www.idae.es/noticias/el-idae-publica-el-mapa-de-oficinas-de-transformacion-comunitaria-otc> [08/10/2025].

37. Boletín Oficial del Estado. Orden TED/1021/2022, de 25 de octubre, por la que se aprueban las bases reguladoras para la concesión de ayudas a Oficinas de Transformación Comunitaria para la promoción y dinamización de comunidades energéticas (Programa CE Oficinas), en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. (2022).
38. European Commission. ManagEnergy.
https://managenergy.ec.europa.eu/managenergy-about_en [21/09/2025].
39. EPAH publications | Energy Poverty Advisory Hub.
https://energy-poverty.ec.europa.eu/our-work/epah-publications?utm_source=chatgpt.com [21/09/2025].
40. European Commission. Energy Communities Repository products.
https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-consumers-and-prosumers/energy-communities/energy-communities-repository-products_en [21/09/2025].
41. Publicaciones | Idae.
<https://www.idae.es/publicaciones> [21/09/2025].
42. European Commission. Energy system integration.
https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/energy-system-integration_en [20/09/2025].
43. BUILD UP The European portal for energy efficiency and renewable energy in buildings. European Energy Communities: Sector Coupling, Flexibility, and Operational Perspectives.
<https://build-up.ec.europa.eu/en/resources-and-tools/articles/european-energy-communities-sector-coupling-flexibility-and> [22/09/2025].
44. International Energy Agency. Electricity Grids and Secure Energy Transitions.
<https://www.iea.org/reports/electricity-grids-and-secure-energy-transitions> (2023).
45. Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. Memoria Justificativa de la Propuesta de Circular X/2025 de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia por la que se Establece la Metodología para el Cálculo de la Retribución de la Actividad de Distribución de Energía Eléctrica.
https://cnmc.es/sites/default/files/editor_contenidos/Energia/Consulta%20Publica/2_Memoria%20CIR%20DE%20006%2024%20Circular%20Distribucion_AUDIENCIA_correccion.pdf (2025).
46. Vilaplana, J. A. L. Modernización de las redes de distribución eléctrica en España. Evaluación de los beneficios de la digitalización en el contexto del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.
47. Monaco, R., Bergantzlé, C., Leiva Vilaplana, J. A., Ackom, E. & Nielsen, P. S. Digitalization of power distribution grids: Barrier analysis, ranking and policy recommendations. *Energy Policy* 188, 114083 (2024)
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114083>.
48. Rodríguez-Pérez, N. et al. Measuring the digitalisation of electricity distribution systems in Europe: Towards the smart grid. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 159, 110009 (2024)
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2024.110009>.
49. Accelerating the decarbonisation of district heating networks through mandatory connection – Decarb City Pipes 2050.
<https://decarbcitypipes2050.eu/2022/10/03/cities-explore-new-ways-of-accelerating-the-decarbonisation-of-their-district-heating-networks-through-mandatory-connection/> [25/09/2025].
50. Herrera Martínez, S. et al. From consumers to pioneers: insights from thermal energy communities in Denmark, Germany and the Netherlands. *Energy, Sustainability and Society* 15, 5 (2025)
<https://doi.org/10.1186/s13705-024-00499-4>.
51. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, Germany. Better energy efficiency for public authorities, companies and data centres.
<https://energie.wende.bundeswirtschaftsministerium.de/EWD/Redaktion/EN/Newsletter/2023/09/Meldung/topthema.html> [25/09/2025].
52. Official Journal of the European Union. *Communication from the Commission – Guidance on heating and cooling aspects in Articles 15a, 22a, 23 and 24 of Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources as amended by Directive (EU) 2023/2413*.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:C_202502238.
53. Utilising excess heat to warm up Danish homes. State of Green
<https://stateofgreen.com/en/news/utilising-excess-heat-to-warm-up-danish-homes/> [25/09/2025].
54. Marszał-Pomianowska, A. et al. Strengths, weaknesses, opportunities and threats of demand response in district heating and cooling systems. From passive customers to valuable assets. *Smart Energy* 14, 100135 (2024)
<https://doi.org/10.1016/j.segy.2024.100135>.
55. BOE-A-2025-12857 Real Decreto-ley 7/2025, de 24 de junio, por el que se aprueban medidas urgentes para el refuerzo del sistema eléctrico.
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2025-12857> [19/09/2025].
56. Commission Recommendation (EU) 2024/1343 of 13 May 2024 on speeding up permit-granting procedures for renewable energy and related infrastructure projects.
57. From-Backlog-to-Breakthrough-Managing-Connection-Queues-in-Distribution-Networks.cleaned.pdf.
58. Guidance on EU-permitting-related provisions on grid and renewable energy projects. (2025).
59. EY & Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia de Comillas. Modelo de previsión de Demanda y estimación de necesidades de inversión 2025-2035.
<https://www.ey.com/content/dam/ey-unified-site/ey-com/es-es/insights/power-utilities/documents/ey-informe-demanda-inversiones-summary.pdf> (2024).
60. Maria, M. H. Eficiencia energética: las redes de calor y frío en España.
61. European Commission. Directorate General for Energy, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, Austrian Institute of Technology GmbH (AIT), European Heat Pump Association (EHPA), & University of Aberdeen. *Overview of heating and cooling: perceptions, markets and regulatory frameworks for decarbonisation: final report*. (Publications Office, 2023).
62. International Energy Agency. Energy Efficiency. IEA
<https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/energy-efficiency> [25/09/2025].
63. Pató, Z. et al. *Energy Efficiency First: 2023 status. EU policy update and pilot country analysis*.
https://ieecp.org/wp-content/uploads/2024/04/D2-1_ENEFIRSTplus_PolicyReview2024.pdf (2024).
64. European Commission. Playing my part. Key energy saving actions.
https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/actions-and-measures-energy-prices/playing-my-part_en [25/09/2025].
65. Directiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de abril de 2024, relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*
<https://www.miteco.gob.es/es/energia/eficiencia/epbd2024.html> [05/09/2025].
66. *Bioclimatic Approaches in Urban and Building Design*. (Springer International Publishing, 2021). ISBN: 978-3-030-59327-8.
67. Del Hierro López, I. & Olivieri, L. Comprehensive review of building-integrated photovoltaics in the renovation of heritage buildings. *Journal of Building Engineering* 108, 112883 (2025)
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.112883>.
68. Ministerio para la Transición Ecológica. *Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*. vol. BOE-A-2019-5089 35674-35719 (2019).
69. Dell'Unto, M., Sassenou, L.-N., Olivieri, L. & Olivieri, F. Technical feasibility for the boosting of Positive Energy Districts (PEDs) in existing Mediterranean districts: A methodology and case study in Alcorcón, Spain. *Sustainability* 15, 14134 (2023)
<https://doi.org/10.3390/su151914134>.
70. Más de 16 kilómetros de galerías subterráneas permiten a Pamplona gestionar los servicios de luz, agua, residuos e internet por el subsuelo. *Ayuntamiento de Pamplona* <http://www.pamplona.es/actualidad/noticias/mas-de-16-kilometros-de-galerias-subterranas-permiten-pamplona-gestionar-los> [20/09/2025].
71. Valdenegro, J.-V. & Gimena, F. N. Urban utility tunnels as a long-term solution for the sustainable revitalization of historic centres: The case study of Pamplona-Spain. *Tunnelling and Underground Space Technology* 81, 228–236 (2018)
<https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.07.024>.
72. Zhang, Z.-Y., Peng, F.-L., Ma, C.-X., Zhang, H. & Fu, S.-J. External benefit assessment of urban utility tunnels based on sustainable development. *Sustainability* 13, 900 (2021)
<https://doi.org/10.3390/su13020900>.

73. Cespedes-Cubides, A. S. & Jradi, M. A review of building digital twins to improve energy efficiency in the building operational stage. *Energy Informatics* 7, 11 (2024) <https://doi.org/10.1186/s42162-024-00313-7>.
74. Siakas, D., Rahanu, H., Georgiadou, E., Siakas, K. & Lampropoulos, G. Positive Energy Districts enabling smart energy communities. *Energies* 18, 3131 (2025) <https://doi.org/10.3390/en18123131>.
75. Shnapp, S., Paci, D. & Bertoldi, P. Enabling Positive Energy Districts across Europe: energy efficiency couples renewable energy. *JRC Publications Repository* <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC121405> [25/09/2025] <https://doi.org/10.2760/452028>.
76. Hinterberger, R., Gollner, C., Noll, M., Meyer, S. & Schwarz, H. G. *White Paper on reference framework for Positive Energy Districts and Neighbourhoods. Key lessons from national consultations.* (2020).
77. IDAE. Pobreza energética. <https://www.idae.es/informacion-y-publicaciones/estudios-informes-y-estadisticas/pobreza-energetica> [07/10/2025].
78. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Borrador de la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2026-2030.* <https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/energia/files-1/es-ES/Participacion/Documents/anexos/aeip-enpe-2026-2030/Borrador%20ENPE%2026-30.pdf> (2025).
79. Manjon, M.-J., Merino, A. & Cairns, I. Tackling energy poverty through social intrapreneurship in large-scale energy companies. *Social Enterprise Journal* 17, 604-624 (2021) <https://doi.org/10.1108/SEJ-11-2020-0103>.
80. Manjon, M.-J., Merino, A. & Cairns, I. Business as not usual: A systematic literature review of social entrepreneurship, social innovation, and energy poverty to accelerate the just energy transition. *Energy Research & Social Science* 90, 102624 (2022) <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102624>.
81. Dufour, B. Social impact measurement: What can impact investment practices and the policy evaluation paradigm learn from each other? *Research in International Business and Finance* 47, 18-30 (2019) <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2018.02.003>.
82. Tropeano, T., Bellazzecca, E. & Bengo, I. Exploring the functions and role of social impact measurement in enhancing the social value of public-private partnerships: A systematic literature review. *Public Policy and Administration* 40, 535-560 (2025) <https://doi.org/10.1177/09520767241238644>.
83. Ballesteros, C., Calderón, B. & Villalobos, L. Collaborative approaches to social impact measurement: Insights from the Think Tank at Universidad Pontificia Comillas. *De Gruyter Handbook of Social Entrepreneurship* (eds. Boots, B. C., Perry, L. G. & Williams, B. J.) 545-572 (De Gruyter, 2024). ISBN: 978-3-11-079547-9.
84. Kikstra, J. S. et al. Closing decent living gaps in energy and emissions scenarios: introducing DESIRE. *Environmental Research Letters* 20, 054038 (2025) <https://doi.org/10.1088/1748-9326/adc3ad>.
85. IEA. Spain - Countries & Regions. <https://www.iea.org/countries/spain> [18/07/2025].
86. Red Eléctrica de España. Informe de energías renovables | Informes del sistema. <https://www.sistemaelectrico-ree.es/es/informe-de-energias-renovables> [21/07/2025].
87. Red Eléctrica. *Informe del Sistema Eléctrico 2024.* https://www.sistemaelectrico-ree.es/sites/default/files/2025-03/ISE_2024.pdf (2025).
88. International Renewable Energy Agency (IRENA). *Grid codes for renewable powered systems.* <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Grid-codes-for-renewable-powered-systems> (2022).
89. Shove, E. Time to rethink energy research. *Nature Energy* 6, 118-120 (2021) <https://doi.org/10.1038/s41560-020-00739-9>.
90. Demand response. IEA <https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/demand-response> [21/09/2025].
91. Parrish, B., Heptonstall, P., Gross, R. & Sovacool, B. K. A systematic review of motivations, enablers and barriers for consumer engagement with residential demand response. *Energy Policy* 138, 111221 (2020) <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111221>.
92. Oliveira, C., Botelho, D. F., Soares, T., Faria, A. S., Dias, B. H., Matos, M. A. & de Oliveira, L. W. Consumer-centric electricity markets: A comprehensive review on user preferences and key performance indicators. *Electric Power Systems Research* 210, (2022) <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108088>.
93. Ministerio para la Transformación Digital y de la Función Pública. Gobierno del dato en redes inteligentes: del contador a la estrategia energética. <https://datos.gob.es/es/blog/gobierno-del-dato-en-redes-inteligentes-del-contador-la-estrategia-energetica> [23/09/2025].
94. Hawk, C. & Kaushiva, A. Cybersecurity and the smarter grid. *The Electricity Journal* 27, 84-95 (2014) <https://doi.org/10.1016/j.tej.2014.08.008>.
95. Alharbey, R., Shafiq, A., Daud, A., Dawood, H., Bukhari, A. & Alshemaimri, B. Digital twin technology for enhanced smart grid performance: integrating sustainability, security, and efficiency. *Frontiers in Energy Research* 12, (2024) <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1397748>.
96. International Energy Agency. *Building the Future Transmission Grid. Strategies to navigate supply chain challenges.* <https://www.iea.org/reports/building-the-future-transmission-grid> (2025).
97. AELEC. Acceder al dato de consumo eléctrico es fundamental para que el consumidor asuma su rol en la transición energética. <https://aelec.es/acceder-al-dato-de-consumo-electrico-es-fundamental-para-que-el-consumidor-asuma-su-rol-en-la-transicion-energetica/> [23/09/2025].
98. Chondrogiannis, S., Vasiljevska, J., Marinopoulos, A., Papaioannou, I. & Flego, G. Local electricity flexibility markets in Europe. *JRC Publications Repository* <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130070> [25/09/2025] <https://doi.org/10.2760/9977>.
99. *Directiva (UE) 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE (versión refundida) (Texto pertinente a efectos del EEE).* (2024).
100. Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. *Consulta pública específica para la revisión de las metodologías que regulan el funcionamiento del mercado mayorista de electricidad y la gestión de los sistemas.* REF. CIR/DE/005/24 (2024).
101. Fournely, C., Pečjak, M., Smolej, T., Türk, A. & Neumann, C. Flexibility markets in the EU: Emerging approaches and new options for market design. *2022 18th International Conference on the European Energy Market (EEM)* 1-7 (2022). <https://doi.org/10.1109/EEM54602.2022.9921138>.
102. Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. *Informe al proyecto de Real Decreto por el que se aprueba el reglamento general de suministro y contratación y se establecen las condiciones para la comercialización, agregación y la protección del consumidor de energía eléctrica.* (2024).
103. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. *Estadística anual de consumo energético residencial 2023.* (2023).
104. Anisie, A., Jimenez Navarro, J. P., Antic, T., Pasimeni, F., & Blanco, H. *Innovation landscape for smart electrification: Decarbonising end-use sectors with renewable power.* <https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/Innovation-landscape-for-smart-electrification> (2023).
105. Torrego-Gómez, D., Gayoso-Heredia, M., San-Nicolás Vargas, P., Núñez-Peiró, M. & Sánchez-Guevara, C. Recognising summer energy poverty. Evidence from Southern Europe. *Local Environment* 29, 495-523 (2024) <https://doi.org/10.1080/13549839.2024.2303456>.
106. Torrego-Gómez, D., Gayoso-Heredia, M., Núñez-Peiró, M. & Sánchez-Guevara, C. Mapping summer energy poverty: The lived experience of older adults in Madrid, Spain. *Energy Research & Social Science* 110, 103449 (2024) <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103449>.
107. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. *Balance de las actuaciones contra la pobreza energética y actualización de indicadores. 2018-2024.* <https://www.ces.es/documents/10180/5246687/Inf0221.pdf/b3bff689-bd99-6324-5cb2-c2de7b19f154> (2025).
108. International Energy Agency (IEA). *Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector.* (2021).

109. Igin, M. Germany to ban new oil and gas heating systems from 2024. *Earth.Org*
<https://earth.org/germany-heating-ban/> [09/10/2025].
110. International Energy Agency. Germany's 2nd Amendment to the Building Energy Act (GEG) Phase-out of fossil fuels. *IEA*
<https://www.iea.org/policies/18133-germanys-2nd-amendment-to-the-building-energy-act-geg-phase-out-of-fossil-fuels> [12/10/2025].
111. Red Española de Ciudades por el Clima & Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío. *Redes de calor y frío municipales con fuentes renovables. Guía para su puesta en marcha.* (2023).
112. ADHAC. *Censo de redes de calor y frío 2024.* (2024).
113. Car and Driver. Informe C&D: Electrificación en España, sin chispa.
<https://www.caranddriver.com/es/movilidad/sostenibilidad-ecologia/a42908540/informe-car-and-driver-electrificacion-2023/> [25/09/2025].
114. Organización de Consumidores y Usuarios. Coches eléctricos, ¿solo para privilegiados?
<https://www.ocu.org/coches/coches/noticias/coches-electricos-frenos-ayudas> [25/09/2025].
115. Oficina de Ciencia y Tecnología del Congreso de los Diputados (Oficina C). *Calidad del aire: avances y mejores prácticas: Nuevas oportunidades ante un desafío sistémico.*
<https://oficinac.es/informes-c/calidad-del-aire> (2023)
<https://doi.org/10.57952/H3YE-1663>.