

CONAMA 2026

Monitorización de la generación fotovoltaica para un reparto más transparente en comunidades energéticas

Proyecto COMENERG

Edita: Fundación Conama

Año: 2026



Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autor principal de la comunicación: Daniel Villanueva Torres. Profesor del área de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Vigo.

Otros autores: Pablo López Araújo. Profesor del área de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Vigo.

Moisés Cordeiro Costas. Profesor del área de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Vigo.

Raquel Pérez Orozco. Profesora del área de Máquinas y Motores Térmicos. Universidad de Vigo.

Pablo Eguía Oller. Profesor del área de Máquinas y Motores Térmicos. Universidad de Vigo.

Índice

Resumen.....	1
1. Comunidades energéticas.....	1
2. Instalación y metodología	2
3. Resultados	4
4. Observatorio web	5
5. Reparto y participación.....	6
6. Valor ambiental	7
7. Conclusiones	8
Agradecimientos	8
Bibliografía	9

Resumen

El autoconsumo colectivo y las comunidades energéticas locales son instrumentos clave para la descarbonización y la generación renovable distribuida. Su desarrollo plantea, no obstante, un reto de gobernanza: conforme al Real Decreto 244/2019, los coeficientes de reparto se acuerdan entre los participantes y se aplican a la generación medida de forma agregada, sin necesidad de reflejar la aportación real de cada unidad generadora.

En el marco del proyecto COMENERG (Interreg España-Portugal), la Universidade de Vigo ha desarrollado y evaluado una metodología de monitorización en corriente continua, previa a la agregación del inversor, en la instalación fotovoltaica de autoconsumo con excedentes de la Escuela de Ingeniería de Minas y Energía.

La planta consta de 296 módulos (121,36 kWp), dos inversores de 50 kW y 18 strings. Uno de los ramales, formado por 17 módulos, se instrumentó con sensores de corriente y tensión, un datalogger remoto y una estación meteorológica que registra irradiancia, temperatura, humedad, precipitación y viento. Un procedimiento automatizado permite descargar y conservar los datos. A partir de las medidas eléctricas se reconstruye la potencia instantánea y se compara con una estimación teórica basada en la irradiancia, la temperatura de célula calculada mediante el modelo NOCT y los coeficientes térmicos del fabricante.

La comparación muestra una evolución coherente entre la producción medida y la estimada y permite reconocer fenómenos propios de la operación real, como oscilaciones por nubosidad, ajustes del seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) y transitorios de arranque y parada. Los resultados respaldan la fiabilidad del sistema y la viabilidad de una arquitectura modular, replicable y escalable. Su aplicación en comunidades energéticas con unidades generadoras diferenciadas aportaría información objetiva para definir y revisar criterios de reparto más transparentes y ajustados a la contribución energética real, reforzando la eficiencia, la gobernanza y la aceptación social de la generación renovable compartida.

Palabras clave: comunidades energéticas; autoconsumo colectivo; monitorización fotovoltaica; generación distribuida; coeficientes de reparto; transición energética.

1. Comunidades energéticas

Compartir una instalación renovable exige decidir quién participa, cómo se distribuyen sus beneficios y qué información permite valorar esas decisiones. La monitorización puede apoyar esa tarea al mostrar cuándo se genera electricidad y cómo responde cada parte de la instalación. Esta comunicación presenta una experiencia de medida en una cubierta universitaria y examina su utilidad para comunidades energéticas con aportaciones de generación diferenciadas.

Las comunidades energéticas permiten que ciudadanía, pequeñas empresas y administraciones locales participen en la producción y gestión de la energía. Su interés ambiental se relaciona con el

despliegue de renovables y la eficiencia; su dimensión social, con la participación y el destino colectivo de los beneficios. El IDAE destaca la gobernanza y la diversidad de actividades de estas iniciativas, desde la generación compartida hasta el almacenamiento o la movilidad sostenible (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [IDAE], s. f.). La Comisión Europea también vincula este modelo con la participación ciudadana y la aceptación de proyectos renovables (Comisión Europea, s. f.).

Una comunidad energética es una forma de organización y participación, mientras que el autoconsumo colectivo es una modalidad de suministro compartido. Una comunidad puede desarrollar autoconsumo colectivo, pero compartir paneles no acredita por sí solo una gobernanza comunitaria. En el caso estudiado, la Escuela de Ingeniería de Minas y Energía constituye una infraestructura de experimentación; el ensayo no documenta un reparto entre miembros de una comunidad.

En España, el anexo I del Real Decreto 244/2019 asigna la energía neta horaria generada a los consumidores mediante coeficientes acordados y comunicados a la distribuidora. La Orden TED/1247/2021 incorporó coeficientes que pueden variar entre horas (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019; Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021). La cuestión abordada aquí es qué información puede ayudar a justificar y revisar esos acuerdos.

La medida del conjunto puede ocultar diferencias entre cubiertas o grupos de paneles debidas a orientación, sombras, temperatura o mantenimiento. Cuando esas aportaciones son relevantes para la comunidad, medirlas por separado permite explicar las diferencias. La información técnica debe interpretarse junto a los acuerdos sociales: la proporcionalidad respecto a la generación es un criterio posible, no una definición universal de reparto justo.

El trabajo se enmarca en COMENERG, proyecto de cooperación transfronteriza para la autonomía y sostenibilidad energética de las localidades de la Raia, con experiencias piloto en Galicia y el norte de Portugal (Programa Interreg España-Portugal [POCTEP], s. f.). Su objetivo es comprobar la utilidad de medir la generación antes del inversor, conservar los registros y hacerlos comprensibles.

2. Instalación y metodología

La planta se sitúa en la cubierta de la Escuela de Ingeniería de Minas y Energía de la Universidade de Vigo y funciona en régimen de autoconsumo con excedentes. Tiene 296 módulos de 410 Wp, que suman 121,36 kWp, y dos inversores de 50 kW. El inversor transforma la corriente continua de los paneles en corriente alterna utilizable por el edificio y la red.

Los módulos se organizan en 18 ramales o strings: grupos de paneles conectados en serie. La instrumentación específica se instaló en un ramal de 17 módulos, con 6,97 kWp nominales. Este comparte una entrada de seguimiento del punto de máxima potencia con otro ramal en paralelo. Por tanto, se observa individualmente, aunque su funcionamiento depende también de los elementos con los que está conectado (Universidade de Vigo, 2026a).



Figura 1. Inversores y cubierta fotovoltaica de la Escuela de Ingeniería de Minas y Energía.
Fuente: Universidade de Vigo (2026a, figura 3).

Cuadro 1. Características principales del caso de estudio.

Fuente: Universidade de Vigo (2026a). La potencia del ramal se calcula como $17 \times 410 \text{ Wp}$.

Elemento	Descripción
Generador	296 módulos de 410 Wp; 121,36 kWp
Inversores	Dos equipos de 50 kW; 100 kW nominales
Organización	18 ramales
Ramal instrumentado	17 módulos; 6,97 kWp nominales
Medida eléctrica	Tensión y corriente; potencia calculada
Contexto ambiental	Irradiancia, temperaturas, humedad, viento y precipitación

La corriente se mide con un sensor de efecto Hall, que detecta el campo magnético asociado al paso de corriente, y la tensión con un módulo aislado. Ambas señales llegan a un registrador con comunicación remota. Una estación meteorológica aporta irradiancia en el plano de los paneles, temperatura y humedad ambiente, viento y precipitación. Se dispone además de tres sondas de temperatura en diferentes zonas de un panel. La irradiancia, expresada en W/m^2 , indica la potencia solar que llega a una superficie.

El servicio de almacenamiento conserva los registros durante un máximo de 30 días. Para disponer de un histórico se desarrolló una descarga periódica automatizada, que guarda por separado los datos eléctricos y meteorológicos en archivos CSV. Conservar los datos originales y sus marcas temporales permite revisar cálculos y estudiar incidencias con posterioridad.

La potencia instantánea del ramal se calcula multiplicando la tensión por la corriente medidas en el mismo instante:

$$P(t) = V(t) \times I(t)$$

Con tensión en voltios y corriente en amperios se obtiene potencia en vatios. La energía de un periodo se calcula acumulando la potencia durante el tiempo correspondiente. Esta distinción resulta esencial para el reparto: una punta breve de potencia no equivale a una gran aportación diaria de energía. Las comparaciones deben utilizar periodos coincidentes y diferenciar una lectura válida de cero de una ausencia de datos.

La producción se contrasta con una estimación basada en la irradiancia y la temperatura de célula calculada mediante el modelo NOCT, junto con los coeficientes térmicos del fabricante. NOCT hace referencia a la temperatura nominal de operación de la célula; este tipo de aproximación permite relacionar las condiciones ambientales con la respuesta eléctrica esperada (Sandia National Laboratories, s. f.). La ficha del módulo indica un coeficiente de potencia de $-0,36\%$ por grado Celsius: a igual irradiancia, una mayor temperatura respecto a la referencia tiende a reducir la potencia.

El contraste examina la evolución diaria de tensión, corriente y potencia, prestando atención a las horas de mayor generación y a los transitorios de arranque y parada. Se trata de una comprobación funcional y de coherencia. La similitud de las curvas no equivale a una certificación de precisión ni sustituye una evaluación de la incertidumbre de medida.

3. Resultados

La figura 2 presenta las curvas del ramal correspondientes al 12 de julio de 2025, fecha que aparece en los ejes del informe. La generación aumenta durante la mañana, alcanza valores mayores en la parte central de la jornada y desciende hacia el final del día. La medida y la estimación siguen una evolución semejante, aunque la respuesta real incorpora variaciones rápidas y diferencias en los periodos de transición.

Las oscilaciones con el paso de nubes y los ajustes del seguimiento del punto de máxima potencia, conocido como MPPT. Este control busca el punto de funcionamiento eléctrico que permite aprovechar la energía disponible. La curva muestra la variabilidad de la operación, pero atribuir cada oscilación a una causa exige contrastarla con los registros meteorológicos y de control.

En los periodos de arranque y parada aparecen valores negativos. Vinculados a transitorios, medidas de corrientes muy bajas y posibles redistribuciones entre ramales. Antes de incorporarlos a balances de energía resulta necesario revisar el ajuste de cero y el comportamiento nocturno del sensor. Tanto su eliminación automática como su aceptación sin comprobaciones pueden introducir sesgos.

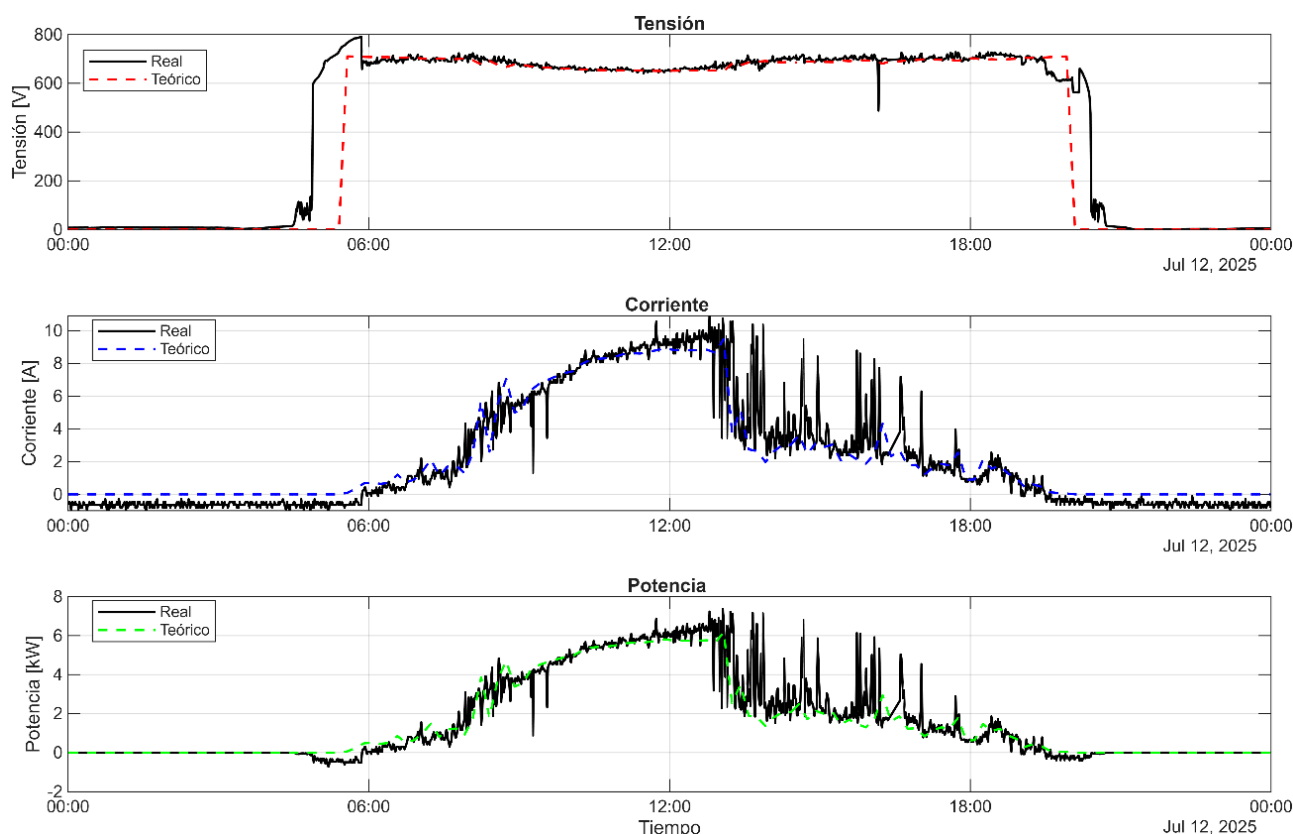


Figura 2. Tensión, corriente y potencia medidas y estimadas del ramal el 12 de julio de 2025. Se conservan las escalas y leyendas del gráfico original.

Fuente: Universidade de Vigo (2026a, figura 8).

La experiencia muestra que es posible reconstruir y seguir la generación de una parte identificada de la planta antes de su agregación. El archivo automatizado permite conservar los registros más allá del periodo de retención del servicio. Estos resultados ofrecen una base para el análisis y el diagnóstico.

4. Observatorio web

El observatorio desarrollado para la escuela permite consultar la producción diaria y las condiciones de la instalación. Distingue los datos de la planta completa, obtenidos de Sunny Portal, de las medidas locales de SCRobotics. También presenta estimaciones con diferentes fuentes de radiación: MeteoGalicia Vigo-Campus y la estación local. Identificar el origen y la escala de cada serie ayuda a interpretar sus diferencias (Universidade de Vigo, 2026b).

La interfaz muestra energía registrada y estimada, pico de potencia y cobertura en intervalos de diez minutos. Los periodos sin lecturas aparecen como huecos, y los totales incompletos se identifican como parciales. La comparación porcentual utiliza únicamente los intervalos en los que están disponibles ambas energías, evitando diferencias debidas a una cobertura desigual.

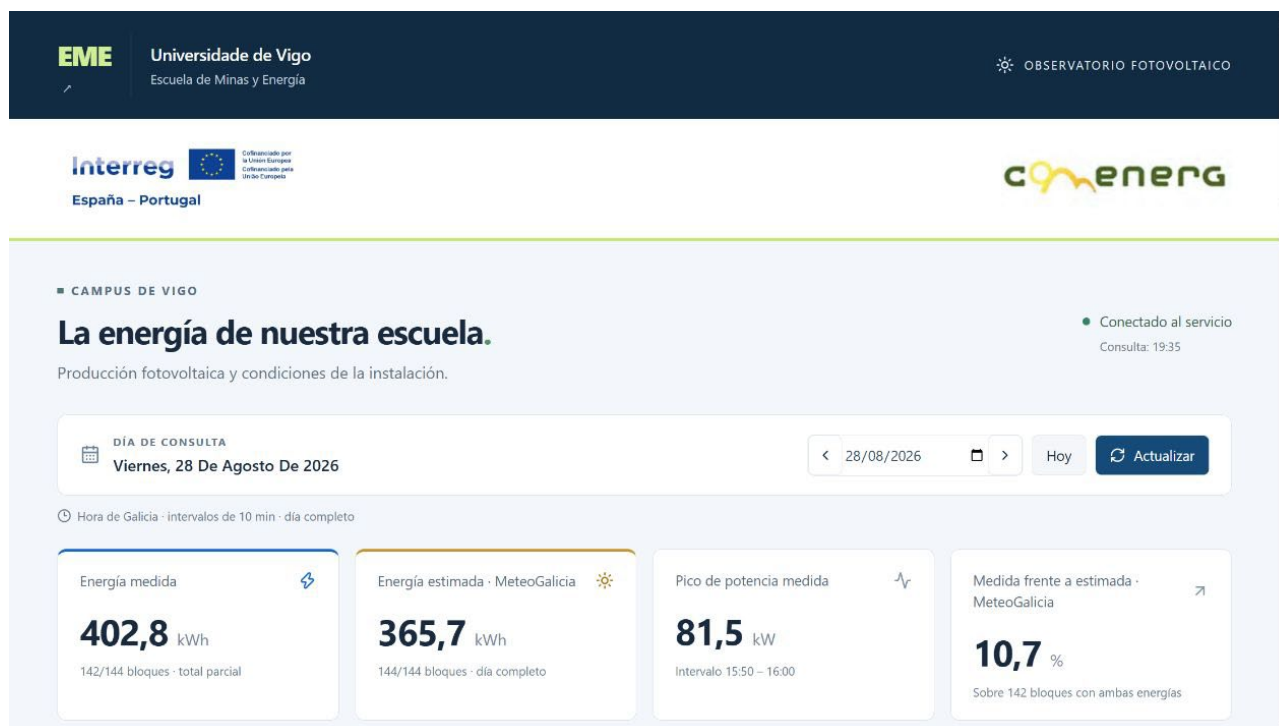


Figura 3. Observatorio web para el 28 de agosto de 2026, consultado el 19 de septiembre de 2026. Los indicadores corresponden a la planta completa; el total medido es parcial y la comparación usa intervalos comunes.

Fuente: Universidade de Vigo (2026b).

La captura ilustra la presentación de la información y corresponde a una fecha y una escala distintas del ensayo del ramal. La diferencia entre medida y modelo tampoco es un indicador directo de ahorro: depende de las hipótesis y del periodo comparado. Para una comunidad, una herramienta similar puede facilitar la comprensión de la variación diaria y de la calidad del dato. Esa utilidad requiere explicar qué se mide, qué se estima y qué decisiones puede apoyar cada magnitud.

5. Reparto y participación

La aplicación comunitaria comienza por identificar las unidades de generación que se desea distinguir y su relación con las personas o entidades participantes. Pueden ser cubiertas, grupos de paneles o aportaciones de inversión. Un ramal es una agrupación eléctrica y no equivale necesariamente a una participación: si contiene módulos de varias personas, medirlo no permite separar automáticamente sus contribuciones.

Cuando varias unidades comparten inversor, sus medidas deben conciliarse con la generación neta en corriente alterna, considerando las pérdidas y la operación conjunta. La monitorización adicional aporta información de gestión, pero no sustituye los equipos ni los procedimientos de medida utilizados para facturar. El acuerdo de reparto y su comunicación siguen siendo necesarios.

Si se miden todas las unidades relevantes durante periodos comparables, puede calcularse la contribución de cada una dividiendo su energía por la suma del conjunto. Por ejemplo, dos unidades que aportasen 60 y 40 kWh representarían el 60 % y el 40 % de esa generación. Este ejemplo es

únicamente ilustrativo y no procede del ensayo. Esas proporciones describen aportaciones; no son automáticamente los coeficientes asignados a los consumidores.

La comunidad puede combinar la contribución medida con la inversión, las necesidades de consumo o sus objetivos de inclusión. Una cubierta menos soleada puede producir menos energía y, aun así, existir razones compartidas para mantener determinadas condiciones de participación. La transparencia consiste en hacer comprensibles los datos y las razones de la decisión, sin presentar una elección social como si fuese una consecuencia inevitable de una fórmula.

Un procedimiento de aplicación podría comenzar con la observación de un periodo suficiente y la revisión de la calidad de los registros. Después se compararían escenarios de reparto y sus consecuencias para los participantes, incorporando datos de consumo para valorar el aprovechamiento y los excedentes. La revisión colectiva permitiría documentar qué criterio se adopta, con qué información y cuándo se volverá a evaluar.

Los coeficientes horarios variables no implican un ajuste automático y retroactivo a cada lectura del sensor. Las revisiones deben seguir los procedimientos de comunicación y activación establecidos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021). También conviene acordar quién mantiene el sistema, quién accede a la información individual y cómo se resuelven incidencias. La falta de lecturas de un sensor no debe confundirse con una ausencia de contribución energética.

6. Valor ambiental

La monitorización aporta valor ambiental cuando ayuda a tomar decisiones sobre la instalación. Una caída persistente de producción puede orientar la revisión de sombras, conexiones o mantenimiento. Detectar y corregir incidencias puede mejorar el aprovechamiento de los equipos existentes. La experiencia aporta información para estudiar esas situaciones, aunque no cuantifica energía recuperada mediante intervenciones concretas.

Conocer las horas de generación también puede apoyar la adaptación de consumos flexibles a la disponibilidad solar. Para evaluar esa posibilidad en una comunidad se necesitan datos de demanda y cambios efectivos de gestión o de hábitos. Del mismo modo, estimar emisiones evitadas requiere definir un periodo, un escenario de comparación y un factor de emisión adecuado. Esta comunicación no atribuye al piloto un ahorro económico ni una reducción de emisiones que no hayan sido calculados.

La cubierta universitaria muestra el uso de una superficie construida para generar electricidad y ofrece un entorno de aprendizaje transferible. En COMENERG, compartir procedimientos de adquisición, archivo e interpretación puede ser útil a ambos lados de la frontera, adaptando su aplicación a la normativa de cada país. La ampliación de la instrumentación debe responder a las diferencias reales entre cubiertas y a las decisiones que se pretenda apoyar.

No permite caracterizar estadísticamente la producción anual ni la precisión del modelo en todas las condiciones. Una siguiente fase debería ampliar el registro, contrastar los sensores con una

referencia adecuada y calcular indicadores de error sobre intervalos coincidentes, indicando la cobertura disponible.

La utilidad comunitaria requiere además probar la metodología con varias unidades, consumos y acuerdos reales, y evaluar cómo entienden y utilizan la información sus participantes. La aceptación social y la transparencia son objetivos de aplicación que aún deben medirse. Para sostener el sistema será necesario prever responsables de las descargas, las copias, la revisión de sensores y la atención de incidencias.

7. Conclusiones

La experiencia de la Escuela de Ingeniería de Minas y Energía muestra la viabilidad de observar la generación de un ramal antes de su agregación, reconstruir su potencia y relacionarla con las condiciones meteorológicas. La correspondencia visual con la estimación respalda la coherencia funcional del sistema y permite reconocer episodios que requieren análisis específico.

El archivo automatizado y el observatorio web amplían la utilidad de la medida: permiten conservar los registros y presentar la producción junto con su cobertura. Mantener visibles la procedencia, la escala y las ausencias de datos resulta esencial para una interpretación adecuada.

En comunidades energéticas con unidades generadoras diferenciadas, esta información puede apoyar el debate y la revisión de los criterios de reparto. Para ello debe relacionarse con los participantes, los balances de la instalación y los acuerdos vigentes. La contribución energética medida puede orientar las decisiones junto con las prioridades sociales de la comunidad.

El trabajo aporta una base práctica para una gestión más transparente de la generación compartida. Su siguiente desarrollo debe combinar la ampliación de la validación técnica con una experiencia comunitaria que permita evaluar los beneficios ambientales y de participación.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo del proyecto COMENERG (0052_COMENERG_1_E), Comunidad energética transfronteriza para la transición hacia la autonomía y sostenibilidad energética de las localidades de la Raia, cofinanciado al 75 % por la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), en el marco del Programa Interreg VI-A España-Portugal (POCTEP) 2021-2027.

Asimismo, se agradece al proyecto coordinado SMARTER la aportación de resultados sobre el tratamiento de datos medioambientales. Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i PID2024-156054OB-C21, ECO-Build (Optimización Energética Consciente para Edificios), integrado en SMARTER, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER/UE.

Bibliografía

Comisión Europea. (s. f.). *Energy communities*. Recuperado el 19 de septiembre de 2026, de https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-consumers-and-prosumers/energy-communities_en

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (s. f.). *Comunidades energéticas*. Recuperado el 19 de septiembre de 2026, de <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/comunidades-energeticas>

Ministerio para la Transición Ecológica. (2019). *Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*. Boletín Oficial del Estado, 83. Texto consolidado consultado el 19 de septiembre de 2026. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244/con>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). *Orden TED/1247/2021, de 15 de noviembre, por la que se modifica, para la implementación de coeficientes de reparto variables en autoconsumo colectivo, el anexo I del Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*. Boletín Oficial del Estado, 274. <https://www.boe.es/eli/es/o/2021/11/15/ted1247>

Programa Interreg España-Portugal. (s. f.). *COMENERG, Comunidad energética transfronteriza para la transición hacia la autonomía y sostenibilidad energética de las localidades de la Raia*. <https://www.poctep.eu/proyecto/comenerg-comunidad-energetica-transfronteriza-para-la-transicion-hacia-la-autonomia-y-sostenibilidad-energetica-de-las-localidades-de-la-raia/>

Sandia National Laboratories. (s. f.). *NOCT cell temperature*. PV Performance Modeling Collaborative. <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-guide/2-dc-module-iv/cell-temperature/noct-cell-temperature/>

Universidade de Vigo. (2026a, marzo). *Informe de sistema de monitorización de instalación fotovoltaica en la cubierta de la Escuela de Ingeniería de Minas y Energía* [Informe técnico del proyecto COMENERG].

Universidade de Vigo. (2026b). *Observatorio fotovoltaico de la Escuela de Minas y Energía* [Aplicación web local y documentación técnica del proyecto COMENERG]. Versión consultada el 19 de septiembre de 2026.

CONAMA 2026