GUÍA PARA DESARROLLAR COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN COLOMBIA

CRÉDITOS

Autores: Ana María Ramírez-Tovar[1], Laura Duque Restrepo[1], Marco Cristóbal Rodríguez[1], Juan Manuel España Forero[1], Juan Pablo Cárdenas[1] y diseñado por Camila Duque Restrepo[2].

Este informe ha sido elaborado por Transactive Energy Colombia - https://www.transactive-energy.co/, una iniciativa del grupo de investigación EnergEIA de la Universidad EIA de Medellín, Colombia, para promover el desarrollo de sistemas de energía renovable centrados en el usuario en Colombia.

Las guías se crearon interactuando con diversas instituciones en un esfuerzo conjunto pionero en Colombia. El trabajo de colaboración incluyó a 20 instituciones entre organismos gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, universidades y empresas de energía.

1. Investigadores de Transactive Energy Colombia - Grupo de Investigación EnergEIA - Universidad EIA, Envigado, Colombia.
juan.espana@eia.edu.co
2. Diseño gráfico profesional y académico, Medellín, Colombia.
cduquer4@eafit.edu.co

ENVIGADO, COLOMBIA
2023

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO 4

1. COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN COLOMBIA 7
   1.1. MARCO DE POLÍTICA PÚBLICA 8
   1.2. ALTERNATIVAS REGULATORIAS 10
   1.3. PRINCIPALES INTERESADOS 12
   1.4. COMUNIDAD SOLAR LA ESTRECHA EN MEDELLÍN 13
   1.5. RETOS PARA LAS COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN COLOMBIA 15

2. GUÍA PARA DESARROLLAR COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN COLOMBIA 17
   2.1. OBJETIVOS COMUNITARIOS 17
   2.2. VIABILIDAD SOCIAL 20
   2.3. VIABILIDAD TÉCNICA 24
   2.4. VIABILIDAD JURÍDICA 30
   2.5. VIABILIDAD ECONÓMICA 33

3. MARCO DE EVALUACIÓN PARA LA VIABLIDAD DE COMUNIDADES ENERGÉTICAS 41
   3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS COMUNITARIOS 41
   3.2. ANÁLISIS DE DECISIONES MULTICRITERIO 42

4. HOJA DE RUTA PARA ACCEDER A FINANCIACIÓN 49
   4.1. ALTERNATIVAS DE FINANCIACIÓN ACTUALES 49
   4.2. RETOS DEL ACCESO A FINANCIACIÓN 54
   4.3. PLAN DE ACCIÓN PARA FACILITAR Y SIMPLIFICAR EL ACCESO A LA FINANCIACIÓN 55

5. REFERENCIAS 57

RESUMEN EJECUTIVO

Las comunidades energéticas producen cada vez más interés entre investigadores y responsables políticos de todo el mundo como organizaciones de propiedad social que pueden aportar beneficios a una transición energética justa, como el fortalecimiento de los lazos comunitarios, el empoderamiento ciudadano, la democratización de la energía, la mejora del acceso a la energía y la mitigación de la pobreza energética. Las comunidades energéticas pueden ser un modelo que tienda puentes entre el despliegue de energías renovables y el desarrollo socioeconómico local.

Sin embargo, los modelos energéticos comunitarios son muy contextuales, y su replicabilidad en diferentes lugares plantea retos importantes. Especialmente en el Sur Global hay una escasez de conocimientos acerca de la aplicación de las comunidades energéticas y su potencial para facilitar una transición energética justa. La política bandera del actual gobierno colombiano es llevar a cabo una Transición Energética Justa en la que las comunidades energéticas jugarán un papel importante. Será necesario movilizar importantes recursos financieros teniendo en cuenta varios indicadores sociales.

La comunidad energética La Estrecha, un proyecto piloto entre una universidad, empresas energéticas y 24 hogares de ingresos medios de Medellín, pone de manifiesto los retos que enfrenta el desarrollo de las comunidades energéticas en el país. Entre las principales barreras identificadas en este caso de estudio se encuentran los elevados costos de inversión, la complejidad de los procedimientos de conexión a la red, la falta de figuras regulatorias adecuadas y los elevados requisitos legales. La comunidad de La Estrecha por sí sola no habría sido capaz de implementar una comunidad solar. Para ampliar las comunidades energéticas se necesitan mecanismos de implementación prácticos, duraderos y un entorno político y normativo adecuado.

En este contexto, este documento presenta guías para promover el despliegue y la financiación de comunidades energéticas en Colombia, considerando que estos modelos requerirán un flujo significativo de inversión y soporte externos. Dado que se espera que las entidades externas desempeñen un papel importante en el apoyo a las comunidades energéticas, se necesitan herramientas que ayuden a los desarrolladores de comunidades energéticas.

Esta guía tiene tres objetivos principales. En primer lugar, analizar el potencial de las comunidades energéticas en el contexto colombiano. Segundo, presentar lineamientos y un marco de evaluación de la viabilidad de proyectos de comunidades energéticas. Tercero, presentar un diagnóstico de las alternativas actuales de financiación y proponer formas de mejorarlas.

Las guías se diseñaron en colaboración con los desarrolladores de la Comunidad Solar de La Estrecha, empresas de energía, organizaciones no-gubernamentales y grupos de investigación. Para clasificar las guías para desarrollar comunidades energéticas, se definieron cinco dimensiones.

- **Objetivos comunitarios:**
  Los beneficios o resultados esperados de la solución energética.

- **Viabilidad social:**
  Comprender el contexto social, diseñar estrategias de involucramiento y educación, y redactar acuerdos comunitarios.

- **Viabilidad técnica:**
  Planificación y diseño, instalación, permisos, funcionamiento, gestión, mantenimiento y riesgos.

- **Viabilidad jurídica:**
  Formas jurídicas de asociación y cómo participar en el mercado de la electricidad como empresas de servicio público o a través de un representante comercial.

- **Viabilidad económica:**
  Inversión inicial, costos de explotación y mantenimiento, fuentes de ingresos e indicadores financieros.

Además, como factor crítico en el desarrollo de comunidades energéticas en el país, se estableció una hoja de ruta para mejorar las opciones de financiación, trazando un mapa de las alternativas actuales de financiación de las comunidades energéticas, identificando brechas y recomendando pasos accionables para promover la financiación. Estos pasos incluyen la creación de figuras regulatorias y mecanismos de financiación específicos para las comunidades energéticas, promover la educación, el desarrollo de capacidades, la asistencia técnica y el fomento de asociaciones y redes de comunidades energéticas.

En definitiva, este documento pretende crear competencias e informar a los responsables políticos colombianos y a los actores del sector para promover las comunidades energéticas. En especial, para apoyar a las instituciones encargadas de reglamentar y poner en funcionamiento el nuevo proyecto de Decreto de comunidades energéticas publicado para comentarios por el Ministerio de Minas y Energía.

Este documento está organizado de la siguiente manera. En la sección 1 se evalúa el papel potencial, los retos y las oportunidades de las comunidades de energía en Colombia mediante el análisis del estudio de caso de La Estrecha. La sección 2 presenta una descripción detallada de las guías para evaluar la viabilidad de las comunidades energéticas. La sección 3 presenta una herramienta de evaluación para apoyar a los desarrolladores potenciales de comunidades energéticas en su toma de decisiones y análisis de viabilidad. Por último, la sección 4 describe la hoja de ruta para la financiación de comunidades energéticas en el país.

Guía para promover comunidades energéticas en Colombia

1

GUÍAS Y MARCO DE EVALUACIÓN

Evaluar factores de viabilidad multidimensional para crear comunidades energéticas.

2

HOJA DE RUTA PARA CONSEGUIR FINANCIACIÓN

Alternativas actuales de financiación, brechas y pasos ejecutables recomendados para mejorar el acceso a financiación.

3

CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES

Competencias para los responsables políticos y actores en el sector para promover las comunidades energéticas.

1 COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN COLOMBIA

Las comunidades energéticas podrían influir positivamente en la transición energética de Colombia de varias maneras. Además de diversificar la matriz de generación de energía, Colombia se ha comprometido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 51% para 2030. [1]. La generación de electricidad representa el 8,5% de las emisiones totales, y el Ministerio de Minas y Energía cuenta con una estrategia de mitigación que promueve las fuentes de energía renovables, las medidas de respuesta a la demanda y la eficiencia energética. Las comunidades energéticas pueden ser una herramienta para alcanzar esos tres objetivos simultáneamente.

En cuanto al acceso a la energía, 404.000 familias colombianas aún no tienen acceso al servicio de electricidad. Estos hogares suelen estar situados en zonas rurales y remotas con acceso limitado a la infraestructura eléctrica. Además, aproximadamente el 29% de los hogares colombianos declararon tener dificultades para pagar los servicios públicos, incluida la electricidad [2]. Las comunidades energéticas podrían proporcionar fuentes de energía sostenibles a estas zonas y aliviar la pobreza energética. Además, las comunidades energéticas pueden ser una estrategia para ofrecer a los ciudadanos mejores precios de la electricidad y un mayor control sobre su consumo y comportamiento. Las soluciones comunitarias pueden disminuir la dependencia de las grandes compañías eléctricas y proporcionar una solución potencial apoyar a comunidades vulnerables.

Las comunidades energéticas pueden convertirse en laboratorios para probar nuevas tecnologías y modelos de negocio que utilicen energías renovables y se centren en el usuario final. Las comunidades energéticas pueden contribuir a diversificar y modernizar el sector energético del país, haciéndolo más resiliente y abierto a nuevos agentes y tecnologías. También pueden ayudar a crear mejores vías para que las comunidades acepten proyectos de energías renovables a mayor escala.

Por otra parte, las conexiones ilegales a la red y el impago han sido un fenómeno generalizado en Colombia, especialmente en barrios vulnerables. Las comunidades energéticas pueden convertirse en un vehículo para que los operadores de red y los comercializadores promuevan conexiones legales y mejoren la capacidad y la voluntad de pago. Además de aumentar la confianza, las comunidades energéticas también pueden reforzar los conocimientos y la conciencia energética de los participantes y promover el uso eficiente de la energía.

Teniendo en cuenta estos impactos positivos, las comunidades energéticas son cada vez más populares en el panorama político; sin embargo, su desarrollo se encuentra todavía en sus fases iniciales. Esta sección presenta un diagnóstico de la situación actual de las comunidades energéticas en Colombia. Describe el marco político y normativo, las principales partes interesadas, y presenta el caso de la primera comunidad energética conectada a la red del país.

1.1. MARCO DE POLÍTICA PÚBLICA

El Ministerio de Minas y Energía incluyó a las comunidades energéticas en la Hoja de Ruta de Transiciones Energéticas Justas como una solución para promover la democracia energética, mejorar el suministro de electricidad en zonas vulnerables y lograr el acceso universal a la energía. [3]. Además, el gobierno colombiano incluyó a las comunidades energéticas en el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 para regularlas como figura jurídica de generación distribuida.

1.1.1. PROYECTO DE DECRETO PARA REGLAMENTAR LAS COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN EL MARCO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA JUSTA EN COLOMBIA

A principios de julio de 2023, el Ministerio de Minas y Energía publicó para comentarios el proyecto de Decreto que reglamentará las comunidades energéticas en Colombia. Al momento de publicación de esta guía el Decreto todavía no está sancionado.

El proyecto de Decreto definió las comunidades energéticas como *formas de asociatividad entre usuarios de energía (personas naturales o jurídicas) que cooperan entre sí para la generación, comercialización y uso eficiente de la energía usando fuentes no convencionales de energía renovable y recursos energéticos distribuidos*. Estas comunidades tienen una serie de objetivos, entre los que se incluyen mejorar el acceso al servicio, aumentar la eficiencia, democratizar el sector a través de la participación de los usuarios, descarbonizar la economía, promover el desarrollo sostenible local, aumentar la confiabilidad del sistema y ofrecer mejores precios del servicio de energía eléctrica para las comunidades.

Entre las disposiciones más destacadas están:

- La posibilidad de que las comunidades energéticas se asocien entre sí y establecer alianzas público-populares y privado-populares con terceros.
- La reglamentación de la figura de Empresa de Servicios Públicos Comunitaria (E.S.P.C.) por parte de la Superintendencia de Servicios Públicos.
- El establecimiento de Autogeneración Colectiva y Generación Distribuida Colectiva como nuevas actividades en la cadena de prestación del servicio de energía eléctrica en Colombia.
- Las actividades de autogeneración y generación distribuida colectivas tendrán prioridad para utilizar los activos del Sistema de Distribución Local y derecho a construir microrredes.
- Las comunidades podrán ser beneficiarias de recursos públicos para el financiamiento de comunidades energéticas si pertenecen a estructuras territoriales de Gobierno Propio de los Pueblos y Comunidades Indígenas; comunidades campesinas, y comunidades campesinas formalizadas como zonas de reserva campesina; las comunidades negras, afrocolombianas, raizales y palenqueras.

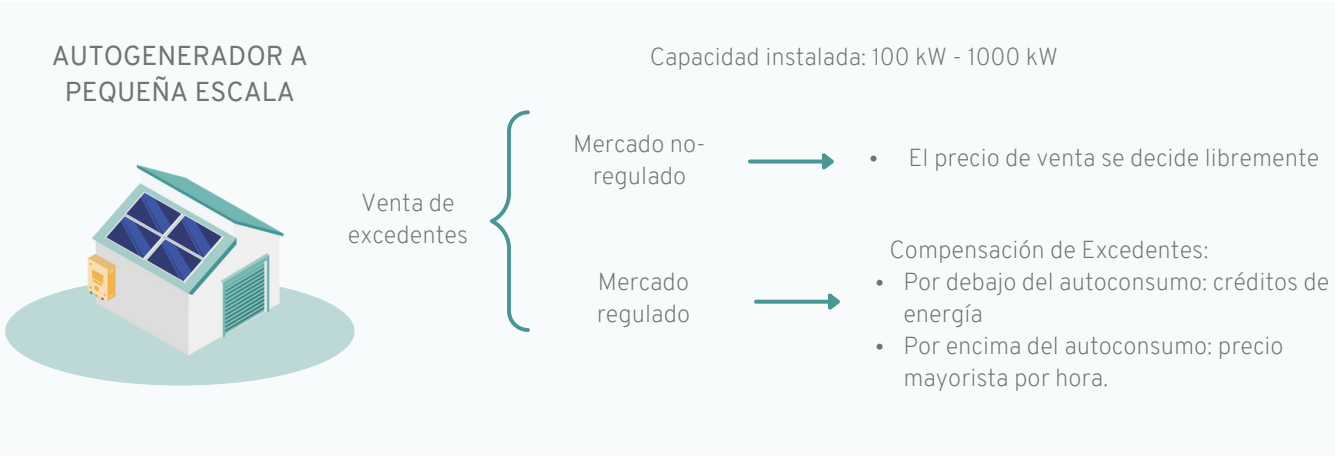
El proyecto de Decreto plantea un trato diferencial y especial para las comunidades energéticas en el sector eléctrico colombiano y estas características permiten deducir que la visión del gobierno sobre las comunidades energéticas se centra principalmente en las comunidades vulnerables, con especial interés en los grupos minoritarios.

1.2. ALTERNATIVAS REGULATORIAS

El contexto regulatorio se limita a esquemas de generación distribuida de energía para la operación de comunidades energéticas. En Colombia existen dos formas regulatorias para conectar la generación distribuida al sistema interconectado: Autogeneradores a Pequeña Escala y Generadores Distribuidos. [5] [6]. La principal diferencia es que los primeros se destinan al prosumerismo y a la inyección de los excedentes de energía a la red, mientras que los segundos venden toda la electricidad generada.

1.2.1. AUTOGENERADORES A PEQUEÑA ESCALA

Esta figura representa a los usuarios finales que producen electricidad para satisfacer sus propias necesidades.



Excedente: exceso de electricidad devuelto a la red de distribución por un autogenerador, expresado en kWh

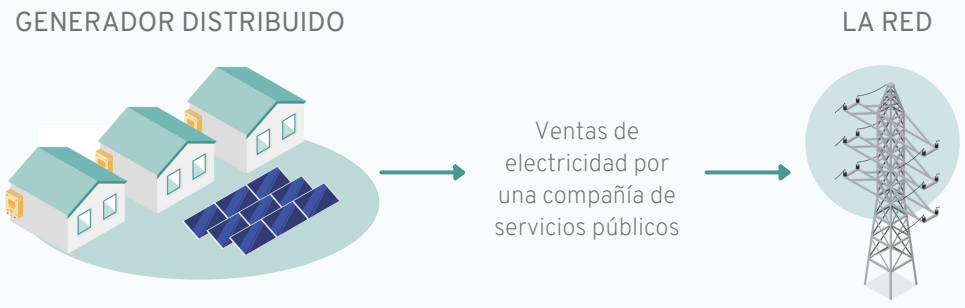
La autogeneración a pequeña escala fomenta el prosumerismo en los pequeños usuarios porque tiene mayores beneficios económicos para los sistemas con una capacidad instalada inferior a 100 kW. En estos casos, la energía generada se paga a través de un mecanismo de medición neta considerando la cantidad mensual de energía consumida por el usuario. Cada kWh de electricidad exportada a la red se paga al precio unitario menos los costos de comercialización. Este precio se aplica cuando la suma de la energía exportada (excedente) es inferior o igual a la energía importada o consumida.

Los excedentes adicionales más allá del límite de autoconsumo se pagan al precio de bolsa (significativamente inferior al precio unitario). Este mecanismo tiene mucho éxito ya que la energía exportada se paga casi al mismo precio que la energía consumida.

Los excedentes de electricidad pueden venderse en el mercado regulado o no regulado para los pequeños autogeneradores mayores de 100 kW y menores de 1 MW. En el mercado regulado aplican las reglas de medición neta. En el mercado no regulado, el precio puede acordarse directamente con el minorista de energía. Los proyectos de más de 1 MW y hasta 5 MW se consideran autogeneradores a gran escala.

1.2.2. GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Los generadores distribuidos son plantas de generación con una capacidad instalada inferior a 1 MW. Deben instalarse cerca de los centros de consumo y conectarse a la red de distribución local. Los generadores distribuidos también deben estar registrados como empresa de servicios públicos para vender electricidad al sistema interconectado nacional. En ese sentido, los generadores distribuidos están sujetos a la misma normativa y supervisión que los generadores tradicionales a gran escala.



Es fundamental destacar que en la generación distribuida no hay autoconsumo. La electricidad generada se vende a la red y los ingresos pueden repartirse entre los participantes. La generación distribuida es actualmente la única forma viable de que los usuarios de energía sean copropietarios y compartan instalaciones de energía renovable. Por lo tanto, la generación distribuida es el único mecanismo viable para establecer comunidades energéticas (teniendo en cuenta que las figuras de autogeneración y generación distribuida colectivas aún no están reglamentadas).

1.3. PRINCIPALES INTERESADOS

La participación y colaboración de múltiples actores son esenciales para el éxito de las comunidades energéticas, ya que se requiere la cooperación activa entre diversos actores para lograr una gestión eficiente y sostenible de la energía. Teniendo en cuenta los diversos actores involucrados en el desarrollo de comunidades energéticas, es esencial mapear los actores clave colombianos que pueden ser impactados y que podrían promover el desarrollo y replicación de comunidades energéticas en el país.

Partes interesadas	Tipo de institución	Importancia para las comunidades energéticas
Comunidades locales	Sociedad civil	Miembros activos: consumen y generan electricidad y comparten los beneficios. Participan en la toma de decisiones, la gestión y el uso de la energía, las asambleas y los talleres.
Autoridades municipales y departamentales	Gobierno local y departamental	Acceso a financiación a través de iniciativas municipales y sinergias entre comunidades energéticas y actividades productivas locales. Beneficiarse de las estrategias de educación y creación de empleo local.
Ministerio de Minas y Energía de Colombia	Gobierno nacional	Promover políticas y normativas favorables que fomenten la creación y el funcionamiento de comunidades energéticas. Proporcionar incentivos financieros, subvenciones o planes de financiación para proyectos energéticos comunitarios, facilitando el acceso a los permisos y licencias necesarios para la ejecución de los proyectos.
CREG	Comisión reguladora	Supervisa la definición de los pasos concretos y las condiciones de una figura jurídica de "comunidad energética", así como los requisitos de conexión a la red y las tarifas de remuneración.
UPME	Unidad de planeación	Considerar cómo las comunidades energéticas pueden aumentar la generación distribuida dentro de los centros de consumo. ¿Cómo afecta eso a la expansión del sistema interconectado?
Operadores de redes de distribución	Sector privado	Evaluar cómo las comunidades energéticas pueden afectar al funcionamiento y mantenimiento de la red de distribución. Beneficios potenciales como servicios de equilibrio, alivio de la congestión. Riesgos potenciales, sobrecarga, error humano.
Empresas comercializadoras de energía	Sector privado	Las comunidades energéticas podrían enmarcarse como un nuevo servicio minorista. Cómo afectará la existencia de comunidades energéticas a las tarifas en el mercado regulado, al papel de la tecnología y a las nuevas ofertas digitales.
Servicios energéticos, empresas de instalación de activos	Sector privado	Instalación, mantenimiento y gestión de sistemas de generación y distribución de energías renovables.
XM - operador de mercado	Operador del mercado mayorista	Autorizaciones de conexión. Control de recursos distribuidos. Supervisión de contratos bilaterales.
Superintendencia de Servicios Públicos	Protección del consumidor	Proteger a los clientes que participan en comunidades energéticas con nuevas condiciones contractuales y de facturación.
ONG	Sociedad civil	Colaborar con las comunidades locales para proporcionarles formación, educación, asesoramiento técnico y apoyo en la ejecución de proyectos energéticos. Además, pueden sensibilizar y defender políticas favorables y trabajar para proteger los derechos de las comunidades energéticas.
Instituciones financieras nacionales e internacionales	Bancos y agencias de desarrollo	Proporcionar financiación para el desarrollo de comunidades energéticas.

1.4. COMUNIDAD SOLAR LA ESTRECHA EN MEDELLÍN

El Salvador es un barrio de unos 4.000 hogares de familias principalmente de clase media-baja. La Estrecha se sitúa en una calle sin salida rodeada de casas multifamiliares. En el proyecto piloto de la Comunidad Solar de La Estrecha, una universidad y varias empresas de energía cooperaron con los ciudadanos locales para crear un modelo de comunidad solar. Veinticuatro hogares aceptaron unirse al piloto, motivados principalmente por obtener ahorros en sus facturas de energía, convertirse en una comunidad pionera en el país, instalar un contador inteligente, acceder a una aplicación digital para controlar su consumo y participar en talleres sobre temas relacionados con la energía [7].

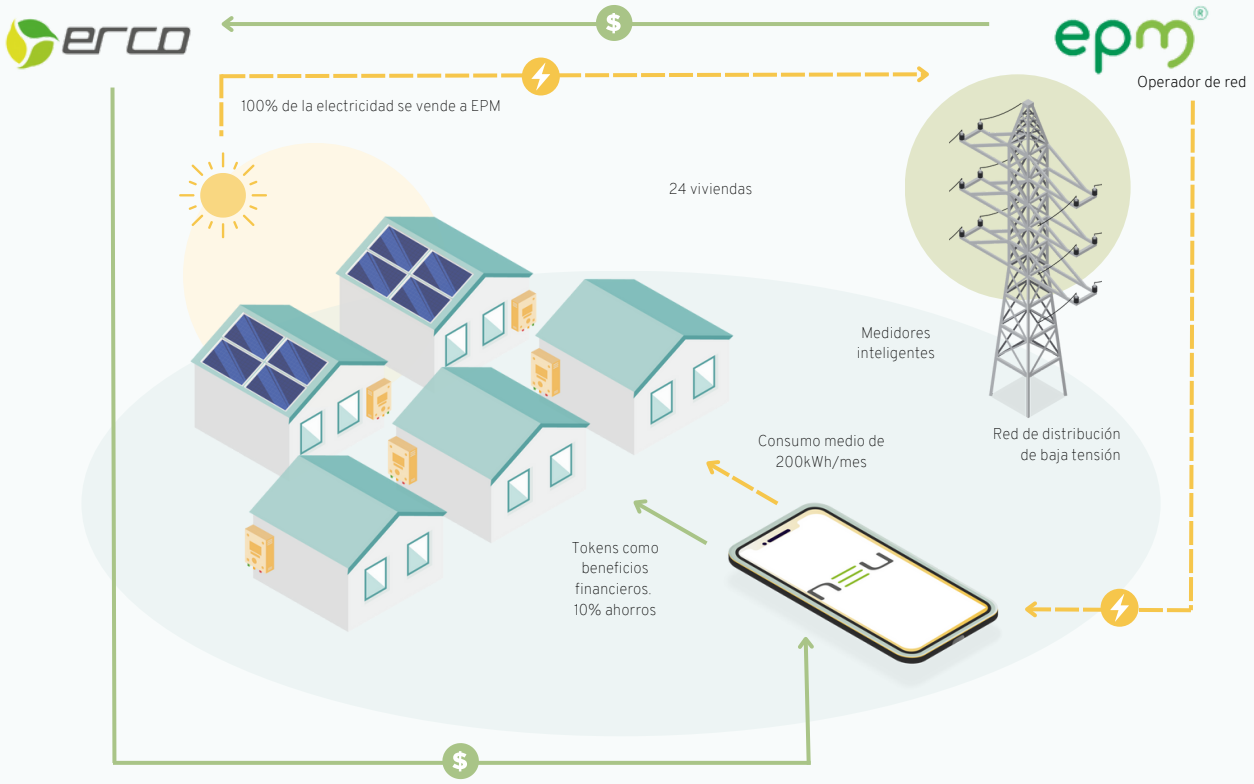
Comunidad energética La Estrecha: motivaciones y funciones de los socios del proyecto [7]

Socio	Descripción	Motivaciones	papel
Transactive Energy Colombia - Universidad EIA	Institución académica local	Producir evidencias para la expansión de las comunidades energéticas en Colombia	*Dirección del proyecto. *Interacción con la comunidad. *Investigación, estrategias educativas y análisis de resultados.
EPM - Empresas Públicas de Medellín - Empresa local de servicios públicos	Operador de la red y comercializador incumbente Financiador local	*Mejorar las relaciones con los clientes. *Explorar nuevos posibles modelos de negocio y propuestas de valor. *Responsabilidad social corporativa	*Proporcionar financiación para los activos. *Operador de red y comprador de energía. *Asesoramiento sobre requisitos de red y procedimientos legales de conexión.
NEU	Empresa tecnológica y comercializador digital	*Probar tecnología, UX/UI, gestión de contadores inteligentes y tokenización. *Aprender nuevos posibles modelos de negocio y propuestas de valor.	*Vendedor de energía para los usuarios *Soporte TIC: plataforma digital y aplicación para controlar el consumo y la generación de energía. *Distribuir beneficios económicos mediante fichas.
ERCO	Empresa instaladora de recursos energéticos distribuidos y generadora de electricidad	*Posibles nuevas oportunidades de mercado. *Aprender nuevos posibles modelos de negocio y propuestas de valor.	*Diseñar, instalar, operar y mantener los sistemas fotovoltaicos. *Habilitar la venta de electricidad en el mercado mayorista de la energía.
UCL - Colegio Universitario de Londres	Institución académica internacional	*Aprender de nuevos contextos *Crear nuevas colaboraciones de investigación y divulgación	*Asesorar sobre investigación y aspectos metodológicos.
Real Academia de Ingeniería del Reino Unido	Financiación internacional	*Promover el desarrollo sostenible y la colaboración con los países socios	*Proporcionar financiación para la gestión de proyectos y la investigación

Se elaboró una estrategia educativa y de participación para la comunidad de La Estrecha con el fin de aumentar sus conocimientos sobre energía y crear espacios de debate frecuentes para tomar decisiones, responder preguntas, pedir consejo e informar sobre los avances del proyecto.

En cuanto al funcionamiento técnico de la comunidad, se diseñó un sistema fotovoltaico de 20 kWp que se dividió en dos sistemas de 6 y 14 kWp instalados en los tejados de tres miembros de la comunidad. Los dos sistemas se registraron como generadores distribuidos. Dado que no era factible registrar La Estrecha como empresa de servicios públicos para cumplir el requisito de los generadores distribuidos, ERCO registró los generadores distribuidos en representación de los miembros de la comunidad.

El 100% de la electricidad se inyecta en la red y se vende a EPM (comercializador integrado con operador de red) al precio del mercado mayorista (en torno al 30% del precio minorista que suelen pagar los usuarios). ERCO transfiere el dinero a NEU, el comercializador digital, que lo transforma en tokens y los desembolsa en la cuenta de cada miembro. A continuación, los participantes pueden utilizar estos tokens para pagar sus facturas de energía. En este modelo energético no hay autoconsumo.



Los costos de la comunidad se cubrieron 100% con financiación externa, incluidos los activos fotovoltaicos, el diseño, la planificación, la gestión del proyecto, la mano de obra, los talleres y la estrategia educativa. La mayor parte de los fondos proceden de una beca internacional de investigación de la Real Academia de Ingeniería del Reino Unido. EPM cubrió los costos de instalación del sistema fotovoltaico (30% del presupuesto total del proyecto). Los participantes de la comunidad no hicieron aportaciones económicas para participar en el proyecto.

En noviembre de 2021, ERCO instaló los dos sistemas fotovoltaicos en los tejados de La Estrecha. Aun así, el sistema tardó 16 meses (hasta marzo de 2023) en empezar a funcionar. La comunidad de La Estrecha contaba con los primeros generadores distribuidos del país, lo que supuso un reto a la hora de legalizar la conexión, ya que ninguna de las instituciones implicadas, incluidas las autoridades pertinentes, contaba con procedimientos estandarizados para este tipo de conexión. El proceso requirió múltiples verificaciones de empresas y autoridades externas. La inexperiencia institucional, la complejidad de los procedimientos y los largos retrasos hicieron que la comunidad permaneciera a la espera durante más de un año.

Esta comunidad piloto es la primera de Colombia y está previsto que funcione hasta 2024. Los promotores del proyecto piloto están trabajando para encontrar la manera de que la comunidad continúe y llegue a ser autosuficiente. Se espera que los participantes de la comunidad ahorren alrededor del 10% de su factura mensual de electricidad.

1.5. RETOS PARA LAS COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN COLOMBIA

Se identificaron las barreras críticas para el despliegue de comunidades energéticas después de revisar el contexto colombiano y considerar las lecciones de la Comunidad de La Estrecha.

- Elevados costos de inversión en activos energéticos y mano de obra experta.
- La complejidad de los procedimientos de conexión a la red.
- Falta de figuras reguladoras adecuadas sobre autoconsumo colectivo.
- Requisito legal de ser una empresa de servicios públicos para instalar generadores distribuidos.
- Falta de incentivos o apoyo institucional para motivar a las comunidades a desarrollar comunidades energéticas.

En el caso de La Estrecha (que puede ampliarse a comunidades similares del país), la participación, autonomía y toma de decisiones de la comunidad fueron limitadas, y la implantación se apoyó en intermediarios expertos. La principal conclusión es que la comunidad de La Estrecha no habría sido capaz de poner en marcha una comunidad solar por sí sola.

En el contexto colombiano, es fundamental diferenciar entre dos tipos de comunidades energéticas. ***Las comunidades energéticas como movimientos de base*** son iniciadas y financiadas por los ciudadanos sin intervención sustancial de partes externas, y los beneficios se quedan dentro de la comunidad. Por el contrario, ***las comunidades energéticas promovidas por terceros*** son iniciadas por instituciones externas y financiadas por bancos de desarrollo o fondos gubernamentales. Las comunidades promovidas por externos quieren lograr el bienestar de la comunidad, atajar la pobreza energética y llevar el desarrollo a zonas vulnerables. Sin embargo, los procesos y la toma de decisiones pasan a manos de entidades externas [7].

En Colombia, es probable que las comunidades promovidas por organizaciones externas sean más la norma que la excepción; de ahí que a partir de este momento sea crucial definir dos actores distintos:

Los miembros de la comunidad energética son los residentes donde se instalará la comunidad energética. Son los principales beneficiarios de la solución energética y constituyen el grupo de usuarios que son copropietarios, cogestores o copartícipes de los propios activos energéticos o de los beneficios derivados de ellos.

Los desarrolladores de comunidades energéticas son instituciones y agentes externos que apoyan a los miembros de la comunidad para desplegar la comunidad energética. El apoyo puede consistir en financiación, asistencia técnica, orientación social, educación y formación. Estas instituciones externas incluyen autoridades gubernamentales, bancos de desarrollo, empresas energéticas (operadores de red, comercializadores) y ONG.

Dependiendo de cada caso, los miembros de la comunidad energética pueden asumir un papel más importante como promotores de la comunidad. En el contexto europeo, por ejemplo, los miembros de la comunidad energética son, generalmente, los desarrolladores de la solución energética. Dados los retos identificados en Colombia, es probable que los desarrolladores de la comunidad energética sean entidades externas y proporcionen un apoyo económico y técnico significativo a los miembros de la comunidad.

En este complejo entorno y teniendo en cuenta la novedad y los escasos índices de implementación en el país, se necesitan guías y marcos de evaluación que ayuden a los promotores a realizar estudios preliminares de viabilidad de los proyectos de comunidades energéticas.

2 GUÍA PARA DESARROLLAR COMUNIDADES ENERGÉTICAS EN COLOMBIA

En esta sección se presentan guías para que los posibles desarrolladores de comunidades energéticas evalúen los factores de viabilidad para llevar a cabo una comunidad energética en Colombia. Las guías se agrupan en *objetivos comunitarios, viabilidad social, técnica, legal y económica*. Estas guías se diseñaron en colaboración con interesados clave, incluidos los promotores del proyecto piloto de la Comunidad Solar de la Estrecha, empresas de energía, ONG e investigadores.

Nota relevante: las comunidades energéticas pueden utilizar diversas tecnologías, como eólica, solar fotovoltaica, biomasa, micro-hidráulica y baterías. Los sistemas solares fotovoltaicos son cada vez más asequibles y eficientes y son la tecnología más utilizada para las comunidades energéticas. Para el alcance de este trabajo, sólo se consideraron para Colombia las comunidades energéticas basadas en sistemas solares fotovoltaicos. Por lo tanto, de ahora en adelante, las comunidades energéticas se referirán a las comunidades energéticas basadas en sistemas solares FV.

2.1. OBJETIVOS COMUNITARIOS

El promotor de una comunidad energética debe responder a la pregunta: ¿qué beneficios o resultados se esperan de la solución energética? ¿Qué pretende conseguir la comunidad? Los miembros de la comunidad deben definir los objetivos de la comunidad energética. Mientras que las zonas de bajos ingresos pueden estar preocupadas principalmente por satisfacer las necesidades energéticas básicas, las zonas de altos ingresos pueden dar prioridad al ahorro en la factura energética y a la responsabilidad ambiental.

Objetivos de las comunidades energéticas	
Ahorro económico y fuentes de ingresos adicionales	Los sistemas energéticos de propiedad comunitaria pueden beneficiar a los participantes a través del ahorro en sus facturas de energía asociado al autoconsumo de energía renovable y a la disminución de las importaciones de la red. Los ingresos adicionales pueden proceder de la venta de electricidad o de otros servicios como el almacenamiento y la respuesta a la demanda.
Desarrollo socioeconómico de la comunidad	La instalación y el mantenimiento de sistemas y empresas locales de energías renovables implican la adquisición de conocimientos técnicos y competencias relacionadas con la energía, lo que puede fomentar las oportunidades de empleo y el crecimiento económico.
Impacto medioambiental	Reducir la dependencia de los combustibles fósiles, descarbonizar la generación de energía y promover la acción por el clima. Mayor concienciación medioambiental.
Mejorar la relación gobierno-comunidades	Mayor potencial para facilitar procesos de creación de confianza en los que las comunidades obtengan beneficios tangibles y participen en la propiedad y la toma de decisiones en el sector energético.
Mejorar los lazos comunitarios	Potenciar la colaboración local, los objetivos comunes y la toma de decisiones compartida. Fomentar un sentimiento de pertenencia y cooperación dentro de la comunidad.
Capacitar a los ciudadanos	Dejar de ser consumidores pasivos, ganar control sobre su consumo de energía, su generación y su huella medioambiental, y reducir su dependencia de los agentes tradicionales del sector energético.
Democracia energética	Los ciudadanos y las comunidades aumentan su capacidad de participar, intervenir en debates públicos y tomar decisiones informadas y colectivas a la hora de planificar y gestionar proyectos energéticos locales.
Ventajas de la red	Impacto positivo en las redes de distribución y en la red global al equilibrar localmente la oferta y la demanda y reducir las pérdidas de transmisión y distribución.
Mejorar el acceso a la energía y la pobreza energética	Proporcionar acceso a electricidad descentralizada, limpia y asequible a partir de microrredes comunitarias conectadas a la red y autónomas puede ser una solución para las zonas sin acceso a la electricidad y los hogares en situación de pobreza energética.
Eficiencia energética y comportamiento sostenible	Los miembros de la comunidad energética pueden aprender a optimizar el consumo de energía y a adoptar prácticas sostenibles, a mejorar la educación energética y a introducir cambios de comportamiento a nivel individual y colectivo.
Atracción turística	La comunidad local puede convertirse en un lugar de interés para el desarrollo sostenible, la cultura y el urbanismo.
Efectos sinérgicos	Al reunir a la gente en torno a un objetivo común y fomentar la colaboración, se crea un entorno propicio para abordar otros retos locales (movilidad sostenible, eficiencia energética, gestión de residuos, acceso a agua limpia y diversas actividades económicas locales).

2.2. VIABILIDAD SOCIAL

Los modelos de comunidades energéticas se originaron principalmente en segmentos de población de altos ingresos en países desarrollados. Por lo tanto, a la hora de introducir comunidades energéticas en Colombia es importante adaptar las soluciones energéticas a las realidades, prioridades y requisitos locales. La participación ciudadana activa es vital en todas las fases del proceso. Además, las comunidades energéticas deben tener en cuenta las condiciones geográficas y climáticas de Colombia y las infraestructuras existentes para garantizar soluciones energéticas prácticas y sostenibles.

Las normas sociales, los factores culturales y la resistencia al cambio pueden suponer barreras para el establecimiento de comunidades energéticas. El compromiso, la aceptación y la colaboración de la comunidad son cruciales, especialmente si se tienen en cuenta las desigualdades socioeconómicas y las comunidades vulnerables. La viabilidad social de una comunidad energética consiste en un diagnóstico socioeconómico de la población local, la definición de estrategias de participación y educación, y la creación de acuerdos comunitarios entre los participantes y los promotores del proyecto.

2.2.1. COMPRENDER EL CONTEXTO SOCIAL

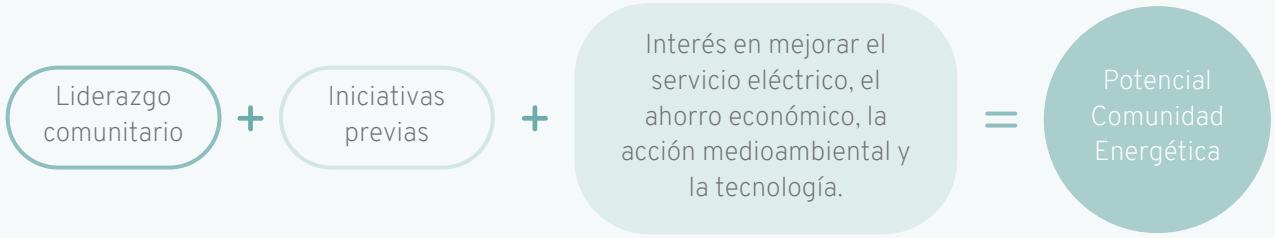
El contexto local incluye su cultura, tradiciones, historia, iniciativas y redes comunitarias. Los promotores de comunidades energéticas deben tener en cuenta la diversidad cultural y la identidad de los participantes. Es esencial fomentar el diálogo intercultural, el respeto y la inclusión entre todos los participantes. A continuación, se enumeran los aspectos relevantes del contexto social para desarrollar una comunidad energética.

- Evaluación socioeconómica básica: número de hogares, tamaño del hogar, hogares multifamiliares o unifamiliares, sexo, edad, ocupación, nivel educativo, ingresos y estrato socioeconómico.
- Estado de propiedad de las viviendas (propietarios o inquilinos).
- Liderazgo e instituciones comunitarias existentes (por ejemplo, Juntas de Acción Comunal).
- Proyectos e iniciativas comunitarias existentes.
- Actitud hacia las nuevas tecnologías digitales y las energías renovables.
- Sensibilización y preocupación por el medio ambiente.

- Confianza en las instituciones públicas y privadas (empresas de energía, gobierno nacional y local). Especialmente relevante para comunidades que han sufrido abandono estatal.
- Historial de conexiones ilegales a la red e impagos.
- Tiempo disponible para actividades de voluntariado.

Un estudio previo realizado en Medellín reveló la existencia de un segmento de población diferenciado dispuesto a pagar más por atributos energéticos relacionados con los intercambios de electricidad entre pares, como la generación de energía limpia, local y con impacto social. Este segmento representaba a usuarios de energía de entre 30 y 60 años, propietarios de hogares en estratos socioeconómicos 2 a 4 con una educación técnica superior a la media, un ingreso familiar medio ($USD 250-2200), alta conciencia medioambiental y social y alta afinidad tecnológica [12]. Estas características pueden informar a los posibles promotores sobre qué segmentos de la población estarían más abiertos a participar en comunidades energéticas. Sin embargo, la investigación y la evidencia son todavía significativamente escasas en Colombia.

A partir de los resultados obtenidos en el proyecto piloto de comunidad energética de La Estrecha, se puede generalizar que un grupo local tiene potencial para crear comunidades energéticas si existen iniciativas y liderazgos comunitarios previos y si los individuos están concienciados e interesados en mejorar su servicio eléctrico, el ahorro económico, la acción medioambiental y la tecnología. La colaboración activa con las estructuras de liderazgo existentes es fundamental para comprender el contexto local y animar a los ciudadanos a aplicar soluciones energéticas en su territorio.



2.2.2. INVOLUCRAMIENTO EFECTIVO

El compromiso de la comunidad es fundamental para las comunidades energéticas. Los miembros deben mantener una participación activa y cumplir con sus responsabilidades dentro de la comunidad. El compromiso de los participantes debe ser a largo plazo e implicar su iniciativa para resolver posibles problemas. No todos los miembros se involucrarán por igual, por lo que es esencial establecer unas obligaciones mínimas claras y mantener el interés, los vínculos de confianza y el involucramiento de los participantes.

Estrategias para una participación eficaz en las comunidades energéticas:

Definir un comité de líderes:
Establecer un grupo comunitario compuesto por representantes de la comunidad y partes interesadas en el proyecto. Estos grupos pueden servir de plataforma para un diálogo continuo y aprovechar las capacidades de liderazgo, intercambio de información y colaboración existentes a lo largo del proyecto.

Comunicación temprana y transparente:
Desde las primeras fases del proyecto, debe mantenerse una comunicación abierta y transparente. Los canales de comunicación deben proporcionar información transparente sobre el progreso del proyecto, su funcionamiento, la toma de decisiones y los posibles problemas. La comunicación debe adaptarse para garantizar la inclusión y la participación de todos los miembros de la comunidad. Los principales objetivos de los miembros de la comunidad deben ocupar el centro de los debates, las interacciones y la toma de decisiones para mantener la motivación a lo largo del tiempo, especialmente durante los contratiempos y las dificultades.

Reuniones inclusivas con las partes interesadas:
Es esencial celebrar reuniones periódicas en persona con la comunidad para debatir los avances del proyecto. En las reuniones y talleres de las partes interesadas deben participar miembros de la comunidad, organizaciones locales y otras partes interesadas en la toma de decisiones. Las reuniones deben ser un espacio de diálogo seguro e inclusivo en el que se escuchen y respeten todas las voces. Debe darse prioridad a la asistencia y participación en reuniones, eventos y actividades comunitarias para fortalecer los lazos comunitarios y fomentar el trabajo colaborativo.

Fomentar el sentido de propiedad:
Capacitar a los miembros de la comunidad para que se sientan realmente responsables y dueños del proyecto, en lugar de sentirlo como un servicio prestado por agentes externos. Los participantes deben tener responsabilidades claramente definidas en el proyecto para empoderar a la comunidad. Delegar tareas en los miembros de la comunidad local (por ejemplo, dirigir y organizar reuniones) aumenta el sentido de propiedad y responsabilidad. Además, la comunidad debe participar activamente en la planificación para aportar sus ideas, conocimientos locales y prioridades.

Compromiso y seguimiento a largo plazo:
Las estrategias de compromiso deben continuar durante la vida del proyecto. La comunicación y las reuniones deben continuar durante la explotación y el seguimiento, incluso después de la ejecución del proyecto. El promotor del proyecto debe recabar continuamente la opinión de la comunidad, abordar sus preocupaciones y evaluar el impacto social del proyecto a lo largo del tiempo.

2.2.3. EDUCACIÓN PARA EL EMPODERAMIENTO

Son necesarias campañas y estrategias educativas para informar a la comunidad sobre energías renovables, eficiencia energética y otros temas relacionados. Los promotores de proyectos deben ofrecer oportunidades de aprendizaje y capacitación para que los miembros de la comunidad participen activamente en el proyecto. La educación es un componente fundamental para que las comunidades acepten tener soluciones energéticas en sus territorios, como herramienta de empoderamiento para tomar el control de la solución energética y para disminuir la dependencia de entidades externas.

Las estrategias, programas, talleres y actividades de formación y capacitación deben proporcionar a los miembros de la comunidad de diferentes grupos de edad conocimientos sobre energía y sostenibilidad, especialmente sobre las tecnologías y soluciones energéticas de las que se benefician. En este sentido, las comunidades energéticas constituyen una excelente plataforma educativa para aprender sobre eficiencia energética, consumo responsable, comportamientos conscientes y saludables, sostenibilidad, transiciones energéticas justas, energías renovables, espíritu empresarial y desarrollo local sostenible.

Un ejemplo de taller es el estudio de la factura del servicio de electricidad. Los miembros de la comunidad traen sus facturas y los expertos les ayudan a entender cómo se calcula y las variables que afectan a la cantidad final que tienen que pagar. El objetivo es que los miembros de la comunidad comprendan su papel como usuarios finales de electricidad y cómo la participación en una comunidad energética cambia ese papel a uno más activo.

Otra estrategia educativa es la demostración práctica del funcionamiento y las ventajas de las soluciones de energía renovable con cargadores o vehículos solares a pequeña escala. Los talleres deben implicar a la comunidad, permitiéndole experimentar y comprender las ventajas de primera mano y generar confianza en la implantación a mayor escala. Lo ideal sería que las estrategias educativas se enfocaran en compartir conocimientos que puedan convertirse en habilidades prácticas que, con el tiempo, puedan convertirse en creación de empleo y emprendimiento social.

Por último, las estrategias educativas deben tener indicadores de éxito claros. Deben realizarse evaluaciones del impacto social para determinar los efectos de la estrategia en la creación de conocimientos y competencias.

2.2.4. ACUERDOS COMUNITARIOS

La toma de decisiones de la comunidad debe quedar registrada en los acuerdos comunitarios. Antes de que comience un proyecto energético comunitario, deben definirse claramente varios acuerdos importantes. Estos acuerdos se celebrarán entre los promotores del proyecto y los miembros de la comunidad.

Acuerdo de voluntad de participar:
Suele implicar un documento de consentimiento informado en el que los miembros de la comunidad local aceptan formalmente participar en el proyecto en colaboración con los promotores externos del proyecto. Los promotores externos se aseguran de que todas las partes interesadas (miembros de la comunidad, empresas privadas e instituciones públicas) estén informadas sobre el proyecto y hayan dado su consentimiento. Este acuerdo debe redactarse de forma que se garantice que todos los participantes comprenden perfectamente la información. En cuanto al contenido, este acuerdo debe establecer explícitamente la definición del proyecto, los objetivos y el papel de cada actor. También debe aclarar los aspectos básicos de todas las condiciones de participación.

Acuerdo de propiedad de los activos:
Una declaración clara de quién es el propietario de los activos energéticos y si se supone que se transferirán a los miembros de la comunidad o a otras entidades durante el funcionamiento de la comunidad energética.

Acuerdo de distribución de beneficios:
Reglas y mecanismos para distribuir los beneficios. En el caso colombiano, donde las comunidades energéticas están basadas en la generación distribuida, esto significa distribuir los beneficios de la venta de electricidad. Este acuerdo debe aclarar si los beneficios deben repartirse a partes iguales entre todos los participantes o si deben incluirse otras consideraciones. En cuanto a los promotores externos del proyecto, el acuerdo debe determinar si los ingresos de la comunidad deben cubrir algunos costos operativos o de mantenimiento.

Acuerdo de derechos y deberes:
Los miembros de la comunidad pueden tener derechos como el ahorro en la factura de la luz, la instalación de medidores inteligentes, la participación en talleres educativos y de capacitación y el derecho a votar y a expresar su opinión sobre cuestiones comunitarias. Los deberes pueden incluir la firma de un formulario de consentimiento, la participación en reuniones y en la toma de decisiones, el cambio de proveedor de energía y el apoyo a la instalación del equipo energético (por ejemplo, prestar el techo para la instalación fotovoltaica y permitir visitas técnicas).

2.3. VIABILIDAD TÉCNICA

Esta guía resalta los criterios de diseño clave para los proyectos solares en general y su impacto potencial en los modelos de comunidad energética.

2.3.1. PLANEACIÓN Y DISEÑO

Evaluación del recurso solar
Los datos históricos de irradiancia solar pueden utilizarse para estimar el potencial de generación de energía de un sistema solar disponible en la zona.

Zona de instalación

Los promotores comunitarios, los miembros de la comunidad y el contratista de energía solar fotovoltaica elegido deben definir las superficies adecuadas de tejado o suelo para instalar el sistema solar fotovoltaico. La zona de instalación es un punto de debate crítico en la fase de planificación y determina la viabilidad de la comunidad energética. Los tejados o terrenos disponibles deben contar con la aprobación de los miembros de la comunidad y ser técnicamente viables para la instalación.

Los tejados deben ser estructuralmente robustos y capaces de soportar el peso de los paneles solares y de las distintas condiciones meteorológicas. Debe haber suficiente espacio libre para alojar el sistema fotovoltaico. Además, la orientación y la inclinación del techo o del terreno son relevantes para la captación de energía solar.

Los sistemas fotovoltaicos montados en el suelo deben tener en cuenta factores como el viento y la lluvia, la actividad sísmica y las condiciones del suelo. El sistema de montaje debe fijarse firmemente al suelo, permitir ángulos de inclinación ajustables y facilitar el acceso para el mantenimiento. Los diseños montados en el suelo plantean procedimientos adicionales relacionados con el uso del suelo, la vegetación, los permisos de construcción, los estudios de suelos e inundaciones y el uso del suelo. Estos permisos dependen de cada municipio y de la corporación autónoma regional pertinente.

Para ambos modos de instalación, el sombreado de los objetos cercanos es un factor esencial que puede afectar significativamente a la generación de energía del sistema. Es necesario analizar los patrones de sombreado a lo largo del día y del año.

Diseño y tamaño del sistema

El diseño y el tamaño de un sistema solar fotovoltaico dependen de varios factores. El tamaño adecuado del sistema es esencial, teniendo en cuenta factores como la superficie disponible de tejado o terreno, el consumo de energía y los límites de capacidad (1 MW para la generación distribuida). El dimensionado es crucial para tener en cuenta las necesidades energéticas de la comunidad, el espacio disponible y el presupuesto. La selección de componentes consiste en elegir módulos fotovoltaicos, inversores, estructuras de montaje y componentes del sistema de alta calidad que cumplan las normas de rendimiento y fiabilidad. Normalmente, es una empresa contratista la que decide sobre la selección de los componentes y los promotores de las comunidades energéticas deben obtener presupuestos de varios proveedores.

Consideraciones eléctricas

El diseño eléctrico implica la configuración de los módulos solares, el cableado y los dispositivos de protección eléctrica, como disyuntores y fusibles. La capacidad del inversor debe ajustarse al tamaño del sistema y a la potencia prevista. La seguridad eléctrica requiere una toma de tierra adecuada, protección contra sobretensiones y mecanismos de aislamiento para salvaguardar al sistema, a los ocupantes y a los trabajadores. Además, es necesario evaluar la infraestructura eléctrica del edificio para asegurarse de que puede acomodar la carga eléctrica adicional del sistema solar fotovoltaico.

Otra consideración importante es la infraestructura de conexión eléctrica necesaria para conectar el sistema solar a la red interconectada. En Colombia, los generadores distribuidos deben realizar un estudio simplificado de conexión eléctrica y conectarse a la red de distribución.

Evaluación de la carga

Como se ha explicado anteriormente, el autoconsumo comunitario no es posible actualmente en Colombia. Sin embargo, determinar el consumo energético y el perfil de carga de la comunidad ayuda a diseñar un sistema que satisfaga las necesidades energéticas específicas de la comunidad, incluso si se comparte indirectamente a través de la venta de energía. Además, las evaluaciones de carga pueden ayudar a comprender los picos de demanda de energía, los patrones de consumo y las variaciones estacionales para identificar oportunidades de ahorro de energía y aplicar estrategias eficaces de gestión de la demanda.

2.3.2. INSTALACIÓN

La fase de instalación consiste en la colocación física y en la conexión del sistema fotovoltaico. Los paneles solares se montan en el techo o en estructuras en el suelo. Dependiendo del diseño del sistema, pueden instalarse uno o varios inversores. Los inversores suelen colocarse cerca del cuadro eléctrico. El cableado eléctrico, los conectores y las cajas de empalmes conectan los paneles solares, los inversores y los cuadros eléctricos. Se instalan disyuntores, fusibles, conductores de puesta a tierra y otros dispositivos de protección para garantizar la seguridad y la protección contra posibles riesgos eléctricos.

La fase de instalación es un reto importante para la comunidad energética. Hay visitas técnicas, instalación de equipos y riesgos menores de daño a la propiedad de los participantes. Cabe esperar retrasos que probablemente afectarán a la relación con la comunidad y los promotores del proyecto. Durante la fase de instalación, los canales de comunicación, el compromiso y las estrategias educativas son fundamentales para mantener a los participantes implicados y motivados.

2.3.3. REQUISITOS DE AUTORIZACIÓN Y CONEXIÓN A LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Incluye la obtención de los permisos de construcción y conexión eléctrica necesarios. La viabilidad también depende de la disponibilidad de una conexión a la red y de las regulaciones de venta de la electricidad a la red. Hay que garantizar el cumplimiento de los requisitos de conexión a la red, incluidos los protocolos de seguridad, la medición y los requisitos del operador de red. El sistema solar fotovoltaico y el cableado eléctrico del lugar deben cumplir el Reglamento Técnico Colombiano de Instalaciones Eléctricas. Este requisito puede suponer un reto para las comunidades energéticas, ya que muchos edificios tienen una construcción y un cableado informales, especialmente en las zonas de bajos ingresos.

En cuanto a la conexión a la red, como ya se ha explicado, la única alternativa viable para las comunidades energéticas conectadas a la red es la generación distribuida. La capacidad instalada agregada de los generadores distribuidos no puede superar el 50% de la capacidad nominal del circuito de la red de distribución local. Esta norma limita la cantidad de generación distribuida desplegada en una zona determinada.

El proceso de conexión a la red de un Generador Distribuido tiene dos pasos generales: la obtención del permiso de conexión por parte del operador de la red de distribución y el registro en el mercado eléctrico colombiano en XM.

Permiso de conexión y legalización al operador de red:

1. Se envía una solicitud de conexión a la red al operador de red. Tras presentar la documentación pertinente, el operador de red aprueba la instalación del sistema fotovoltaico de la comunidad.
2. El sistema fotovoltaico es instalado.
3. El operador de red visita el sitio para verificar el sistema y la conexión.
4. Un verificador externo visita el sitio para validar que el sistema y la conexión cumplen las condiciones del operador de red.
5. El operador de la red visita el lugar para verificar que el generador puede empezar a inyectar energía a la red.

Inscripción en el mercado eléctrico colombiano
Para que la comunidad pueda vender energía, debe registrarse en XM, el operador del mercado. Este proceso consta de los siguientes pasos:

1. Recopilar la información para solicitar el registro y el acceso a la plataforma de XM.
2. Cargar la información técnica y las aprobaciones en la plataforma.
3. Activación de la frontera comercial para vender energía en el Sistema Interconectado Nacional.
4. Registro del contrato de venta de energía con el comercializador de energía.
5. Facturación de la energía vendida.

Actualmente, no hay tiempos de respuesta establecidos para los generadores distribuidos, y el proceso puede durar hasta tres meses. Por último, cuando el generador distribuido entra en funcionamiento, la electricidad vendida del generador distribuido se liquida a través de XM.

2.3.4. OPERACIÓN Y GESTIÓN

Una vez que el sistema está legalmente conectado y entregando energía a la red, el funcionamiento y la gestión de una comunidad energética tienen dos componentes principales: la captación y la distribución de los beneficios. El tipo de mecanismos de captura y distribución dependen en gran medida de la figura jurídica de la comunidad energética (subsección 2.4) y definirán fundamentalmente la viabilidad económica (subsección 2.5).

Captar los beneficios

Los sistemas solares fotovoltaicos tienen dos fuentes potenciales de ingresos: el autoconsumo y la venta de electricidad. El autoconsumo se refiere al ahorro en la factura de electricidad de la comunidad al disminuir el consumo de la red pues se consume directamente del sistema solar comunitario. Aún no está regulada la figura de autoconsumo comunitario en Colombia. Por lo tanto, la venta de electricidad a través de generadores distribuidos es la única fuente de ingresos de las comunidades energéticas (las fuentes de ingresos de las comunidades energéticas se tratan con más detalle en la subsección 2.5).

Distribución de los beneficios

La distribución de los beneficios consiste en repartir los beneficios o el ahorro energético de la solución energética comunitaria. La distribución de beneficios puede implicar plataformas digitales en las que los participantes pueden controlar su consumo y generación, y existe transparencia sobre la distribución de beneficios.

Los acuerdos comunitarios deben definir el mecanismo de distribución antes de iniciar la operación. Una comunidad podría determinar, por ejemplo, que los participantes que presten sus techos o terrenos para el sistema solar fotovoltaico reciban una parte mayor de los beneficios. Otras consideraciones tienen que ver con los patrones y el volumen de consumo de cada hogar y la distribución del ahorro en consecuencia.

En el caso de los generadores distribuidos, existe un ingreso mensual por la venta de electricidad. En el estudio de caso de La Estrecha, estos ingresos se transforman directamente en un ahorro igual a la factura energética de cada participante, ya que la empresa de distribución también facilita las ventas de los generadores distribuidos. Sin embargo, en otras comunidades energéticas, la distribución podría repartir pagos en efectivo, crear un fondo comunitario u otros mecanismos para gestionar los beneficios de la comunidad.

2.3.5. MANTENIMIENTO Y RIESGOS

El mantenimiento y la accesibilidad son aspectos relevantes de los sistemas solares fotovoltaicos. Los módulos fotovoltaicos deben limpiarse e inspeccionarse periódicamente, lo que requiere un acceso seguro a la superficie del techo o en suelo. Deben tenerse en cuenta consideraciones de seguridad contra incendios y protección frente a factores ambientales como el viento, la lluvia y las condiciones meteorológicas extremas. Además, deben considerarse medidas de seguridad como el vallado, cámaras de vigilancia o las alarmas para disuadir de robos o actos vandálicos.

Los sistemas fotovoltaicos sobre tejado pueden conllevar riesgos menores para los participantes, como fugas o daños en el tejado durante la instalación y el funcionamiento. Estos riesgos deben explicarse y comentarse con los participantes.

El mantenimiento y la seguridad de los sistemas energéticos suponen una oportunidad para involucrar a los miembros de la comunidad. Un beneficio potencial de las comunidades energéticas es la creación de empleo mediante el mantenimiento y la protección de la solución energética de la comunidad. Sin embargo, la implicación de los miembros de la comunidad en tareas técnicas depende en gran medida del tipo de programas educativos y de formación que se lleven a cabo y del nivel de compromiso que los miembros de la comunidad puedan tener dentro de la misma. Algunas preguntas sobre el mantenimiento y la comunidad energética son: ¿quién se encargará del mantenimiento de los paneles y con qué frecuencia?, ¿Cómo se cubrirán los costos de limpieza y mantenimiento? y ¿cuál será el sistema de remuneración de los participantes?

2.4. VIABILIDAD JURÍDICA

Las dos consideraciones jurídicas principales para las comunidades energéticas son constituir la comunidad bajo una forma jurídica y registrarse como Empresa de Servicios Públicos (E.S.P.).

En el nuevo proyecto de Decreto que busca reglamentar las comunidades energéticas en Colombia, una de las disposiciones más destacadas es la posibilidad de que las comunidades energéticas se asocien entre sí para llevar a cabo proyectos conjuntos. Asimismo, podrán establecer alianzas público-populares y privado-populares con terceros, lo que permitirá la colaboración entre entidades públicas, privadas y las comunidades.

Por otro lado, las comunidades energéticas o asociaciones deberán estar constituidas como personas jurídicas para participar en la comercialización de energía y la Superintendencia de Servicios Públicos reglamentará la figura de Empresa de Servicios Públicos Comunitaria (E.S.P.C.) y determinará los casos en los cuales las comunidades energéticas deban constituirse como tal.

2.4.1. FORMAS JURÍDICAS DE ASOCIACIÓN

Las comunidades energéticas deben constituirse bajo una forma jurídica. Con representación legal, las comunidades energéticas pueden firmar contratos, distribuir dinero entre sus miembros y participar en el sistema eléctrico. En la actualidad, no existen figuras jurídicas explícitamente definidas para las comunidades energéticas y, salvo en el caso de La Estrecha, ninguna comunidad energética está operando bajo las formas actualmente disponibles. Existe un reto importante en cuanto a cómo las comunidades impulsadas por los ciudadanos pueden navegar por las complejidades de los procedimientos y asumir responsabilidades económicas y legales.

Existen algunas cuestiones críticas para los promotores y participantes de comunidades energéticas en relación con el registro legal de la comunidad. ¿Cuáles son las obligaciones de los participantes?, ¿Cómo pueden adherirse nuevos miembros?, ¿Qué ocurre si los miembros incumplen sus compromisos o desean abandonar la comunidad? o ¿Quién cubrirá los gastos financieros relacionados con el registro legal de la comunidad?

La siguiente tabla presenta algunas opciones en Colombia que las comunidades energéticas pueden utilizar para registrarse legalmente y operar en el sector. En el siguiente cuadro se comparan diferentes formas jurídicas que pueden utilizar las comunidades energéticas.

Forma jurídica	Descripción
Cooperativa	Un grupo de personas con intereses comunes se asocia para satisfacer democráticamente sus necesidades económicas, sociales o culturales.
Organizaciones sin ánimo de lucro	Una entidad sin ánimo de lucro destina recursos a realizar actividades de interés general, como educación, sanidad, cultura o desarrollo social.
Asociación	Permite la agrupación de individuos con un fin común, ya sea social, cultural, educativo, deportivo u otros.
Sociedad por Acciones Simplificada (SAS)	Las sociedades mercantiles con una estructura flexible y simplificada requieren al menos dos accionistas.
Sociedad Anónima (S.A.)	El capital se divide en acciones y la responsabilidad de los accionistas se limita a su participación.
Sociedad de Responsabilidad Limitada (SRL)	La responsabilidad de los socios se limita al importe de su aportación de capital, y el capital de la empresa se divide en unidades de participación.

Las cooperativas y las sociedades por acciones simplificadas son las alternativas jurídicas más viables para las comunidades energéticas.

2.4.2. REGISTRO COMO EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS

Como se ha explicado anteriormente, sólo las Empresas de Servicios Públicos pueden vender energía a la red a partir de generadores distribuidos. Por lo tanto, una comunidad energética sólo puede ser viable si, además de establecerse como forma jurídica presentada en el último apartado, se registra como Empresa de Servicios Públicos.

En el nuevo proyecto de Decreto que busca reglamentar las comunidades energéticas en Colombia, se plantea la creación de una nueva figura de Empresa de Servicios Públicos Comunitaria (E.S.P.C.) que potencialmente tendrá consideraciones especiales para proyectos comunitarios. Sin embargo, esta figura todavía no está reglamentada en el país.

La Ley 142 de 1994 estipula los requisitos para registrarse como Empresa de Servicios Públicos y las obligaciones, prohibiciones y régimen fiscal. El proceso de registro toma alrededor de diez días hábiles. Una vez registradas, las Empresas de Servicios Públicos deben reportar sus actividades a la Superintendencia de Servicios Públicos. Las empresas de generación de energía deben reportar anualmente información comercial, técnica y financiera.

Es probable que una comunidad no pueda registrarse bajo una forma jurídica y como empresa de servicios públicos. En ese caso, de forma similar al caso de La Estrecha, una empresa externa puede actuar como representante comercial de la comunidad. El representante comercial representará al generador distribuido de propiedad comunitaria en el mercado eléctrico y será responsable del cumplimiento técnico y normativo. También se encarga de entregar el dinero por la venta de energía a los usuarios de la comunidad energética.

2.5. VIABILIDAD ECONÓMICA

El reto más crítico para las comunidades energéticas es la viabilidad económica. Los elevados costos iniciales, la limitada disponibilidad de capital y las dificultades para conseguir financiación son obstáculos para la ejecución de proyectos energéticos comunitarios. En la actualidad, la mayoría de las comunidades energéticas confían en modelos económicos de energía solar fotovoltaica de bajo riesgo para funcionar y movilizar capital en condiciones viables.

Esta subsección presenta las directrices generales para comprender la viabilidad económica de una comunidad energética basándose en un enfoque de planificación financiera integrada. Este enfoque consiste en comprender las inversiones iniciales, la estructura de costos, los flujos de ingresos y los indicadores financieros que determinan si el proyecto es económicamente viable. Mientras que esta subsección se centra en los principales aspectos económicos de las comunidades energéticas, la Sección 3 describe diferentes formas de acceder a la financiación en Colombia.

Es esencial mencionar que la viabilidad económica depende de los objetivos y la estructura de la comunidad. Por ejemplo, en el caso de la Comunidad de La Estrecha, los promotores del proyecto financiaron y explotaron la comunidad. En otros casos, los promotores del proyecto pueden esperar un rendimiento de su inversión o una recuperación mínima de los costos, en cuyo caso los indicadores financieros previstos cambian. Otro caso puede ser el de una comunidad energética que financie y opere su solución energética sin ayuda o financiación externa sustancial.

2.5.1. INVERSIÓN INICIAL

Los gastos de capital son los costos iniciales, incluidos los gastos de equipamiento, instalación, ingeniería, adquisición y construcción. Los costos de los sistemas solares fotovoltaicos han disminuido drásticamente en las últimas décadas. Por ejemplo, los costos de los sistemas llave en mano de energía solar fotovoltaica cayeron de 4.600 USD/KWp en 2010 a 1.000 USD/KWp en 2019. Sin embargo, las inversiones iniciales siguen siendo considerablemente altas para la mayoría de la población colombiana, con precios que oscilan entre 3.200.000 y 3.500.000 COP/kWp.

La inversión inicial está directamente relacionada con el tamaño del sistema solar fotovoltaico y su capacidad de generación descrita en la subsección Viabilidad Técnica. El tamaño del sistema debe optimizarse en función de la demanda energética de la comunidad. Es esencial tener suficiente capacidad instalada para crear un modelo económico viable y lograr un equilibrio entre satisfacer las necesidades energéticas y evitar el sobredimensionamiento.

Un factor crucial relacionado con la inversión inicial es el costo de la deuda. Los ingresos del proyecto deben cubrir los intereses de la deuda en función de cómo se obtenga el capital del proyecto (aportaciones en efectivo de los miembros, capital propio, proveedores de deuda, captación de fondos, crowdfunding). Además, el proyecto debe incluir pólizas de seguro para proteger los activos energéticos.

2.5.2. COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los gastos operativos incluyen el mantenimiento, las reparaciones, la supervisión, los seguros y los gastos administrativos. Como se menciona en la subsección de Viabilidad Técnica, los acuerdos comunitarios deben indicar explícitamente quién cubre los gastos de funcionamiento y mantenimiento y cómo.

La viabilidad económica a largo plazo depende en gran medida del ciclo de vida previsto del sistema fotovoltaico solar. La vida útil de los componentes, las garantías y los índices de degradación son cruciales para considerar un horizonte temporal adecuado para la modelización financiera. En el caso de los proyectos solares fotovoltaicos, el horizonte temporal oscila entre 20 y 25 años.

2.5.3. FUENTES DE INGRESOS

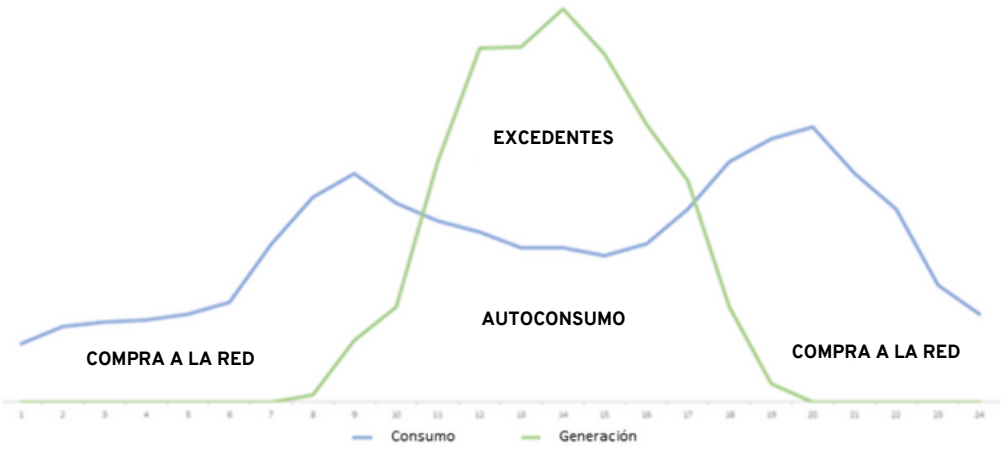
Las alternativas de ingresos de las comunidades energéticas pueden agruparse en las siguientes categorías:

- Ahorro en la factura energética

En el autoconsumo colectivo, los participantes de la comunidad utilizan colectivamente la electricidad generada para cubrir parte de su consumo energético. La principal fuente de ingresos de las comunidades energéticas procede de este ahorro al desplazar las importaciones de la red con electricidad procedente del sistema solar. El ahorro depende del perfil de carga de los hogares de la comunidad y de su adecuación al perfil de generación del sistema solar.

El gráfico siguiente representa una curva de carga diaria típica y un perfil de generación solar fotovoltaica. El autoconsumo es la parte de la demanda cubierta por la generación solar. El excedente de energía se produce cuando la generación supera la demanda, y la energía sobrante se devuelve a la red.

Sin embargo, como ya se ha señalado, el autoconsumo colectivo sigue siendo imposible según la normativa colombiana.



- Ventas de electricidad:

Un factor económico crítico es el precio de la electricidad por kWh que recibirá la comunidad por la venta de electricidad. Las comunidades pueden vender sus excedentes de energía después del autoconsumo o la totalidad de la electricidad producida, como en el caso de los generadores distribuidos en Colombia.

La electricidad inyectada en la red de distribución local puede estar sujeta a medición neta, tarifas feed-in u otros mecanismos de apoyo. En el caso de la medición neta, el exceso de electricidad se utiliza para compensar el consumo futuro de la red o se paga directamente al cliente. Las tarifas feed-in son incentivos gubernamentales que ofrecen mejores precios a la oferta de electricidad renovable. En los contratos bilaterales, la comunidad acuerda con un comprador un precio de compra por la generación. Además, la electricidad puede venderse en el mercado mayorista. El precio previsto por kWh es fundamental para garantizar un flujo de ingresos estable para los proyectos de energía solar fotovoltaica.

Para los generadores distribuidos en Colombia, las alternativas de venta de electricidad son:

1. Vender electricidad a una empresa comercializadora de energía que suministra a usuarios del Mercado Regulado (Resolución CREG 096 de 2019). [36].
2. La venta de electricidad a precios libremente acordados a una empresa generadora o comercializadora de energía suministra a los usuarios en el Mercado No Regulado.
3. Venta de electricidad a una empresa comercializadora integrada con operador de red. En este caso, la empresa debe comprar la electricidad vertida a la red por un Generador Distribuido registrado. El precio de compra se calcula teniendo en cuenta los beneficios para la red de distribución local y se basa en el precio de bolsa.

- Certificados de energía renovable

Los atributos medioambientales de la generación de energía renovable pueden venderse por separado de la electricidad producida, lo que proporciona fuentes de ingresos adicionales.

- Ingresos adicionales

Del uso de la electricidad en actividades productivas (maquinaria, agricultura, pequeñas empresas, movilidad eléctrica) y la prestación de servicios de flexibilidad.

2.5.4. INDICADORES FINANCIEROS

La modelación financiera calcula indicadores de rendimiento para determinar si una inversión o negocio es rentable. Los indicadores financieros permiten a un inversor prever las ganancias financieras que podría producir una inversión durante su vida útil. Esta subsección describe conceptos financieros generales para las comunidades energéticas en Colombia.

- Conceptos básicos de análisis financiero

Los flujos de caja futuros incluyen entradas (ventas de electricidad, certificados de energía renovable) y salidas (inversión inicial, costo de la deuda, costos de explotación y mantenimiento). Al descontar los flujos de caja se obtiene el valor presente neto de los flujos de caja futuros previstos utilizando una tasa de descuento durante un periodo de tiempo determinado.

El inversor determina la tasa de descuento que representa el costo del capital, la tasa de rentabilidad exigida, el valor temporal del dinero y el riesgo asociado. La tasa de descuento suele reflejar el costo de oportunidad de las opciones de inversión alternativas.

Un valor presente neto positivo indica que el proyecto producirá un rendimiento superior a la tasa de descuento prevista durante el horizonte temporal definido. Por lo tanto, el proyecto es atractivo para el inversor. Cuanto mayor sea el valor actual neto, más atractivo será el proyecto.

Un valor presente neto cero se produce cuando los rendimientos son iguales a la tasa de descuento exigida, lo que significa que el inversor obtendrá el rendimiento mínimo esperado de la inversión.

Un valor presente neto negativo significa que el proyecto no proporcionará el rendimiento mínimo de la inversión, teniendo en cuenta el horizonte temporal y el tipo de descuento previsto.

Algunos indicadores relacionados son la tasa interna de retorno del proyecto, la tasa de descuento que hace que el valor actual neto sea igual a cero, y el periodo de recuperación, el tiempo que tarda una inversión en alcanzar el punto de equilibrio (es decir, cuando el valor actual neto es cero).

- La importancia del costo nivelado de la electricidad (LCOE)

El LCOE representa el costo neto actual medio por unidad de electricidad necesario para pagar los gastos de implementación y funcionamiento de la solución energética durante la vida útil del proyecto. Se determina dividiendo la producción total de electricidad descontada por todos los costos. El LCOE proporciona una forma estandarizada de comparar diferentes tecnologías de generación de energía en igualdad de condiciones, teniendo en cuenta todos los costos. El LCOE mide la competitividad de una solución energética.

- Resultados financieros de las comunidades energéticas

Dado que las comunidades energéticas de Colombia necesitarán un importante apoyo y financiación externos, puede haber una serie de posibles acuerdos y colaboraciones entre las comunidades y los promotores de proyectos. Esta colaboración implica diferentes configuraciones comunitarias, modelos de participación, estructuras de capital y modelos económicos.

Por ejemplo, en el estudio de caso de La Estrecha, los promotores del proyecto financiaron totalmente los activos energéticos y el funcionamiento, transfiriendo todos los beneficios de los ingresos a la comunidad. Los promotores del proyecto no tenían ningún interés en recuperar su inversión. Los activos, la mano de obra y los gastos de explotación se donaron a la comunidad. En el caso de La Estrecha, los promotores del proyecto tenían motivaciones de investigación e innovación más que intereses económicos.

Si las comunidades energéticas van a implantarse masivamente en el país, se necesitarán modelos económicos viables, y el análisis financiero es una herramienta crucial para que los promotores de comunidades energéticas fijen objetivos claros y analicen los posibles proyectos. Los siguientes escenarios explican cómo pueden cambiar las condiciones y expectativas financieras de las comunidades energéticas en función de las fuentes de capital y de los objetivos y expectativas de los promotores del proyecto.

- Sin apoyo económico exterior

El modelo financiero de las comunidades energéticas debe ajustarse a las normas financieras habituales. Los promotores de proyectos deben recuperar su inversión en un plazo razonable y esperar un rendimiento mínimo de la inversión. Tanto si el promotor del proyecto es una empresa externa como si son los propios miembros de la comunidad, el modelo económico de la solución energética debe satisfacer los indicadores estándar.

Por ejemplo, los indicadores financieros típicos para los generadores distribuidos de energía solar fotovoltaica (menos de 1 MWac) tienen tasas internas de rendimiento durante 30 años de un mínimo del 11% y periodos de amortización entre 9 y 11 años. Los generadores distribuidos suelen requerir LCOEs entre COP 270 y COP 320 para ser competitivos en el sector colombiano.

- Apoyo económico mediante donación de capital y trabajo voluntario

El promotor del proyecto financia los costos iniciales de la comunidad. Por tanto, la inversión inicial se elimina del análisis financiero, lo que mejora la probabilidad de contar con un modelo económicamente viable que dé cuenta del funcionamiento, el mantenimiento y la aportación de beneficios suficientes a la comunidad.

Por otro lado, los promotores de proyectos pueden definir una estructura mixta en la que el modelo de comunidad energética deba recuperar parte de los costos de capital y el financiador externo asuma otros. Otras formas de apoyo incluyen la aportación de mano de obra voluntaria para el funcionamiento, el mantenimiento y el apoyo técnico. En este escenario, el promotor externo ayuda a disminuir los gastos de la comunidad energética.

- Apoyo económico mediante mejores precios de compra e ingresos adicionales

Los promotores comunitarios externos pueden proporcionar apoyo económico mejorando los flujos de ingresos para la comunidad. La mejora de los ingresos puede lograrse asegurando contratos bilaterales con precios por kWh generado por la comunidad superiores al LCOE de la comunidad. Otras fuentes de ingresos pueden ser los certificados de energía renovable. En este escenario, se mejoran los flujos de ingresos del modelo comunitario para aumentar la probabilidad de cubrir los costos con una tasa de descuento razonable.

Lista de control para la planificación energética comunitaria		
	Identificar los posibles objetivos comunitarios.	✓
Viabilidad social	Evaluación del contexto	
	Realizar una evaluación socioeconómica básica.	✓
	Realizar una evaluación de actitudes: conciencia medioambiental, afinidad tecnológica y confianza en las instituciones.	✓
	Identificar a los líderes e iniciativas comunitarios existentes y establecer vínculos con ellos.	✓
	Identificar casos anteriores de conexiones ilegales a la red y de impago.	✓
	Evaluar el tiempo disponible y la voluntad de realizar actividades de voluntariado.	✓
	Compromiso	
	Diseñar una estrategia de comunicación.	✓
	Diseñar una estrategia de compromiso.	✓
	Educación	
	Diseñar una estrategia educativa.	✓
	Acuerdos comunitarios	
	Redactar un acuerdo de voluntad de participación.	✓
	Redactar un acuerdo de propiedad.	✓
	Redactar un acuerdo de distribución de prestaciones.	✓
	Redactar un acuerdo de derechos y deberes.	✓

Viabilidad técnica	Evaluación del recurso solar	
	Estima el potencial de generación de un sistema solar en la zona.	✓
	Zona de instalación	
	Identificar las zonas viables preliminares para la instalación (determinar si son tejados o superficies de tierra).	✓
	Tamaño del sistema	
	Realizar estudios preliminares de ingeniería para determinar la capacidad instalada óptima.	✓
	Instalaciones eléctricas	
	Identificar el punto de conexión potencial con la red de distribución local.	✓
	Evaluación de la carga	
	Comprender el consumo de energía y la facturación de los participantes.	✓
Viabilidad jurídica	Representación jurídica	
	Determinar la representación legal de la comunidad para actuar en el sector energético.	✓
Viabilidad económica	Intereses económicos y ayudas	
	Definir claramente los intereses económicos y las capacidades de los promotores y los miembros de la comunidad.	✓
	Estructura de capital y posibles fuentes de financiación	
	Definir una estructura de capital preliminar y las posibles fuentes de financiación.	✓
	Modelo económico	
	Definir el plan financiero y el modelo de operación de la comunidad.	✓
	Realizar el análisis financiero y calcular los indicadores financieros para la toma de decisiones.	✓

3 MARCO DE EVALUACIÓN PARA LA VIABLIDAD DE COMUNIDADES ENERGÉTICAS

Esta sección presenta un marco de evaluación para analizar la importancia relativa de los objetivos y los factores sociales, técnicos, jurídicos y económicos en el análisis de viabilidad de una comunidad energética.

3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS COMUNITARIOS

La clasificación de los resultados de la comunidad consiste en determinar los objetivos comunitarios más significativos. Los indicadores proceden de los beneficios descritos anteriormente y se validaron mediante una encuesta pública en la que se preguntaba a los ciudadanos cuáles eran sus beneficios preferidos por participar en una comunidad energética.

La clasificación de los resultados es un ejercicio esencial entre la comunidad y los promotores del proyecto. Los resultados más relevantes servirán de base para la planificación y puesta en marcha de la comunidad energética. Serán el centro de las estrategias de participación y educación. También determinan el grado de motivación, la alineación de intereses entre las partes interesadas y la voluntad de participar y desarrollar la comunidad energética.

Posibles objetivos comunitarios	Clasificación
Ahorro económico e ingresos adicionales.	/ 12
Impacto medioambiental.	/ 12
Desarrollo socioeconómico de la comunidad.	/ 12
Mejorar las relaciones entre el gobierno y las comunidades.	/ 12
Reforzar los lazos comunitarios.	/ 12
Capacitar a los ciudadanos.	/ 12
Impactos sinérgicos (actividades económicas locales).	/ 12
Atracción turística.	/ 12
Mejorar el acceso a la energía y la pobreza energética.	/ 12
Beneficios de la red.	/ 12
Democracia energética.	/ 12
Eficiencia energética y comportamiento sostenible.	/ 12

3.2. ANÁLISIS DE DECISIONES MULTICRITERIO

Se utilizó un análisis de decisión multicriterio para evaluar los factores clave de viabilidad. Se eligió la decisión multicriterio como herramienta útil para la toma de decisiones en la resolución de problemas complejos. El análisis multicriterio se creó siguiendo la bibliografía existente [15, 16] y entrevistas a expertos.

El análisis multicriterio se diseñó para ayudar a los posibles promotores de comunidades energéticas a disponer de un marco de planificación integrado para evaluar el potencial de un proyecto comunitario. El análisis pretende motivar a los promotores de comunidades energéticas para que tengan en cuenta todas las dimensiones del despliegue de una comunidad energética. La siguiente lista describe los principales pasos para desarrollar la evaluación multicriterio:

1. ***Problema de decisión:*** determinar la viabilidad preliminar de un proyecto de comunidad energética.
2. ***Selección de criterios:*** A partir de los objetivos potenciales de la comunidad y de las directrices de viabilidad descritas en la sección 4, se definieron cinco dimensiones para la evaluación multicriterio: objetivos y motivación de la comunidad y viabilidad social, técnica, jurídica y económica.
3. ***Ponderación de los criterios:*** la ponderación de los criterios se determinó en función de su importancia relativa para la viabilidad de una comunidad energética. Los valores de ponderación se eligieron basándose en el estudio de caso de La Estrecha.
4. ***Evaluación de alternativas:*** este análisis de decisión multicriterio se diseñó para evaluar las características de las comunidades energéticas potenciales. Puede utilizarse para comparar distintas alternativas de ubicación de comunidades o para analizar una única comunidad potencial. La comunidad energética de La Estrecha se evaluó como ejemplo de utilización de la evaluación multicriterio.
5. ***Normalización y agregación:*** las puntuaciones de los criterios se normalizaron y agregaron para determinar un valor global de viabilidad para la comunidad energética.

Marco de evaluación de la viabilidad de la comunidad energética					
Objetivos y motivación	¿Los miembros de la comunidad y los promotores del proyecto tienen claros los objetivos de la comunidad energética y hay coincidencia de intereses, motivación y voluntad de participar?				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Excelente claridad, alineación, motivación y voluntad de participación			
	4	Buena claridad, alineación, motivación y voluntad de participar			
	3	Aceptable claridad, alineación, motivación y voluntad de participar		4%	0.00%
	2	Poca claridad, alineación, motivación y voluntad de participación			
	1	Muy poca claridad, alineación, motivación y voluntad de participación			

Viabilidad social	¿Los techos o superficies de tierra potencialmente viables son propiedad de los miembros de la comunidad?				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Todos los espacios potencialmente viables		4%	0.00%
	4	Varios espacios potencialmente viables			
	3	Aproximadamente la mitad de los espacios potencialmente viables			
	2	Pocos espacios potencialmente viables			
	1	Ningún espacio potencialmente viable			
	¿Existen estructuras de liderazgo en la comunidad?				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Excelente - Liderazgo consolidado durante varios años		6%	0.00%
	4	Bueno - Liderazgo fuerte			
	3	Aceptable - Liderazgo ocasional e informal			
	2	Pobre - Liderazgo poco frecuente en contadas ocasiones			
	1	Deficiente - Liderazgo inexistente			
	¿Existen iniciativas comunitarias previas?				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Numerosas iniciativas consolidadas y sostenidas en el tiempo		4%	0.00%
	4	Muchas iniciativas establecidas			
	3	Algunas iniciativas			
	2	Pocos intentos de desarrollar iniciativas			
	1	Ninguna iniciativa en la comunidad			
	Sensibilización medioambiental de los ciudadanos				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Muy importante		2%	0.00%
	4	Importante			
	3	Moderadamente importante			
	2	De poca importancia			
	1	Sin importancia			
	Afinidad tecnológica de los miembros de la comunidad				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Excelente		2%	0.00%
	4	Buena			
	3	Aceptable			
	2	Pobre			
	1	Deficiente			

Viabilidad social	¿Cómo es la relación entre los miembros de la comunidad y las instituciones públicas y privadas pertinentes?				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Excelente			
	4	Buena			
	3	Aceptable		1%	0.00%
	2	Pobre			
	1	Deficiente			
	¿Están dispuestos los miembros de la comunidad a invertir tiempo en actividades comunitarias de voluntariado?				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Muy alta disponibilidad			
	4	Alta disponibilidad			
	3	Media disponibilidad		2%	0.00%
	2	Baja disponibilidad			
	1	Nula disponibilidad			
	¿Los miembros de la comunidad pagan sus facturas de servicios públicos a tiempo?				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Siempre			
	4	Normalmente			
	3	Aproximadamente la mitad del tiempo		1%	0.00%
	2	Rara vez			
	1	Nunca			
Viabilidad técnica	¿Cómo es la irradiación solar en la zona?				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Excelente			
	4	Buena			
	3	Aceptable		10%	0.00%
	2	Pobre			
	1	Deficiente			
	¿Están dispuestos los miembros de la comunidad a invertir tiempo en actividades comunitarias de voluntariado?				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Numerosos espacios potencialmente viables			
	4	Varios espacios potencialmente viables			
	3	Algunos espacios potencialmente viables		11%	0.00%
	2	Pocos espacios potencialmente viables			
	1	Ningún espacio potencialmente viable			

Viabilidad técnica	¿A qué distancia están los posibles espacios de las líneas de la red de distribución?				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Menos de 10 metros			
	4	10 - 15 metros			
	3	15 - 20 metros		2%	0.00%
	2	20 - 25 metros			
	1	Más de 25 metros			
	¿Hay capacidad disponible en el circuito de distribución local para la capacidad de generación estimada? (límite del 50%)				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Sí			
	3	No, pero el DNO puede aumentar el límite		5%	0.00%
	1	No			
Viabilidad jurídica	¿La comunidad está registrada bajo una figura jurídica o tiene un representante legal?				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Sí, está registrada con una forma jurídica o tiene un representante legal			
	4	No, pero es muy probable que pueda registrarse			
	3	No, pero es probable que pueda registrarse		8%	0.00%
	2	No y es poco probable que pueda registrarse			
	1	No y es muy improbable que pueda registrarse			
	¿Hay alguna institución externa dispuesta a representar a la comunidad?				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Definitivamente			
	4	Muy probable			
	3	Probable		7%	0.00%
	2	Improbable			
	1	Muy improbable			
Viabilidad económica	Capacidad y voluntad de los miembros de la comunidad para financiar el proyecto				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Muy alta			
	4	Alta			
	3	Moderada		7%	0.00%
	2	Baja			
	1	Muy baja			

Viabilidad económica	Porcentaje de los costos de capital cubiertos por donaciones y ayudas externas				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	75 - 100%			
	4	50 - 75%			
	3	25 - 50%		8%	0.00%
	2	0 - 25%			
	1	0			
	Nivel de expertos externos que aportan voluntariamente mano de obra y apoyo técnico				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Muy alta			
	4	Alta			
	3	Moderada		6%	0.00%
	2	Baja			
	1	Muy baja			
	Probabilidad de acceder a mejores precios de compra e ingresos adicionales				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Muy alta			
	4	Alta			
	3	Moderada		5%	0.00%
	2	Baja			
	1	Muy baja			
	Identificación de fuentes de financiación alternativas viables				
	Niveles	Condición	Nivel	Peso	Calificación
	5	Una gran cantidad de fuentes de financiación viables			
	4	Varias fuentes de financiación viables			
	3	Algunas fuentes de financiación viables		5%	0.00%
	2	Pocas fuentes de financiación viables			
	1	Ninguna fuente de financiación viable			

Dimensión	Peso del factor	Valor de rendimiento	Resultado
Objetivos y motivación	4%		
Viabilidad social	22%		
Viabilidad técnica	28%		
Viabilidad jurídica	15%		
Viabilidad económica	31%		
Total	100%		

Puntuación	Relevancia	Explicación
80 - 100 %		Viabilidad muy alta
60 - 80 %		Alta viabilidad
40 - 60 %		Viabilidad moderada
20 - 40 %		Baja viabilidad
0 - 20 %		Viabilidad muy baja

Nota sobre las limitaciones del análisis

El análisis de viabilidad se construyó teniendo en cuenta que actualmente sólo existe la opción de Generadores Distribuidos en el contexto colombiano. En el corto y mediano plazo habrá nuevas actualizaciones de política pública y ajustes regulatorios para acelerar el desarrollo de las comunidades energéticas. Un primer indicio es la reciente publicación del proyecto de Decreto para comunidades energéticas del Ministerio de Minas y Energía. El análisis multicriterio debe considerar los cambios constantes y ser utilizado considerando cada caso independiente.

4 HOJA DE RUTA PARA ACCEDER A FINANCIACIÓN

Las comunidades energéticas enfrentan retos financieros debido a los considerables costos iniciales necesarios para adquirir e instalar activos energéticos. El acceso a opciones de financiación favorables por parte de bancos o inversores y a incentivos gubernamentales puede resultar difícil. Además, la falta de conocimientos financieros en la comunidad puede dificultar la gestión eficaz de los proyectos. Superar estos obstáculos requiere modelos de financiación innovadores, políticas de apoyo y esfuerzos de capacitación. En esta sección se describen los mecanismos financieros actuales para acceder a sistemas fotovoltaicos solares que pueden utilizar las comunidades energéticas, se identifican barreras críticas para el acceso financiero y se recomiendan formas de facilitar el acceso a la financiación en el contexto colombiano.

4.1. ALTERNATIVAS DE FINANCIACIÓN ACTUALES

Esta sección presenta varias alternativas de financiación para sistemas solares fotovoltaicos en Colombia. Las alternativas de financiación pueden ser préstamos, acuerdos de compra de energía o modelos de crowdfunding comunitario suministrados por entidades financieras tradicionales como bancos, cooperativas financieras, empresas de energía, nuevas empresas de tecnología financiera (Fintechs) y el gobierno.

ALTERNATIVAS DE FINANCIACIÓN PARA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS				
FINANCIACIÓN CON DEUDA	**ARRENDAMIENTO FINANCIERO**	**ACUERDOS DE COMPRA DE ENERGÍA**	**CROWDFUNDING**	**GOBIERNO**
Créditos especializados Crédito de libre inversión	Cuota mensual Opción de compra	Cuota mensual Opción de compra	Plataformas digitales	Incentivos fiscales Fondos públicos

4.1.1. FINANCIACIÓN CON DEUDA

Los promotores de proyectos comunitarios pueden pedir dinero prestado mediante financiación con deuda para cubrir costos del proyecto. Los bancos comerciales, los bancos de desarrollo y las instituciones especializadas en financiación de energías renovables son fuentes habituales de financiación de deuda. Para acceder a la financiación de la deuda, es crucial que los promotores comunitarios tengan una calificación crediticia adecuada, y es previsible que muchos sistemas energéticos a pequeña escala y grupos comunitarios tengan dificultades para acceder a préstamos bancarios a tipos de interés razonables.

En Colombia, las instituciones financieras tradicionales como los bancos y las cooperativas de financiación ofrecen generalmente dos opciones de financiación: préstamos de libre inversión y préstamos especializados. Las opciones de financiación de la deuda son similares entre bancos y cooperativas de financiación, hay diferencias en los tipos de interés, pero están sujetas a la misma regulación. En 2022 había 20 instituciones bancarias con productos financieros disponibles para sistemas solares fotovoltaicos.

4.1.1.1. PRÉSTAMOS DE LIBRE INVERSIÓN

El préstamo de libre inversión proporciona efectivo que el usuario puede utilizar libremente. Suele ser el crédito más accesible en los sistemas de financiación porque no requiere codeudor ni ningún bien inmueble como garantía. Generalmente son créditos pequeños, pero pueden llegar hasta COP 850.000.000 con plazos de hasta 96 meses. Comúnmente se utiliza una tasa de interés fija con un promedio anual de 30,86%.

4.1.1.2. PRÉSTAMOS ESPECIALIZADOS

Los préstamos especializados son aquellos programas específicamente diseñados para invertir en sistemas de energías renovables. Existen 49 programas de préstamos especializados ofrecidos por seis entidades. El capital, los requisitos del proyecto y los tipos de interés varían considerablemente, y algunos de ellos tienen tipos de interés anuales de hasta el 55%. [17].

4.1.2. LEASING O ARRENDAMIENTO FINANCIERO

Financiar un sistema solar fotovoltaico mediante arrendamiento financiero significa que un tercero (banco, empresa energética u otra entidad financiera) adquiere los activos energéticos y el beneficiario paga una cuota mensual durante un periodo determinado. El contrato de arrendamiento permite a la comunidad utilizar plenamente los activos (funcionamiento, consumo de electricidad y ventas). El contrato de arrendamiento implica la transferencia de los activos energéticos a la comunidad al final del contrato de arrendamiento.

Este modelo es atractivo porque representa un costo de inversión cero y el beneficiario se convierte en propietario legal de los activos durante el periodo de arrendamiento, incluidos algunos riesgos relacionados con el mantenimiento y posibles daños. La cuota mensual es fija sin relación con el consumo de energía. La duración típica es de diez años y suele estar restringida a empresas [18]. En los modelos de arrendamiento, los beneficios fiscales asociados a la tecnología de energías renovables van a parar al beneficiario si existe un contrato de venta. Una cuestión crucial es si las comunidades energéticas podrían disponer de figuras jurídicas y fiscales que les permitieran aprovechar eficazmente estos beneficios.

Lo más relevante de este modelo de negocio es la línea verde del banco Bancolombia. Este producto de leasing hace parte de su programa de leasing sostenible, con un plazo de hasta 60 meses y un monto de hasta 30.000 millones de pesos. [41]. Sin embargo, está restringido a empresas con un historial crediticio relevante.

4.1.3. ACUERDOS DE COMPRA DE ELECTRICIDAD

En los acuerdos de compra de energía (PPAs), una entidad externa adquiere el sistema solar y el beneficiario paga por la electricidad generada por el sistema durante un periodo determinado. Los contratos PPA pueden basarse en la energía generada por el sistema o en la energía consumida por la comunidad. El periodo del acuerdo oscila entre 10 y 20 años. Los PPA suelen ser ofrecidos por empresas energéticas que financian, operan y mantienen la propiedad del sistema solar fotovoltaico. Los PPA pueden ayudar a las comunidades energéticas a poner en marcha un sistema fotovoltaico solar comunitario sin inversión inicial.

4.1.4. CROWDFUNDING

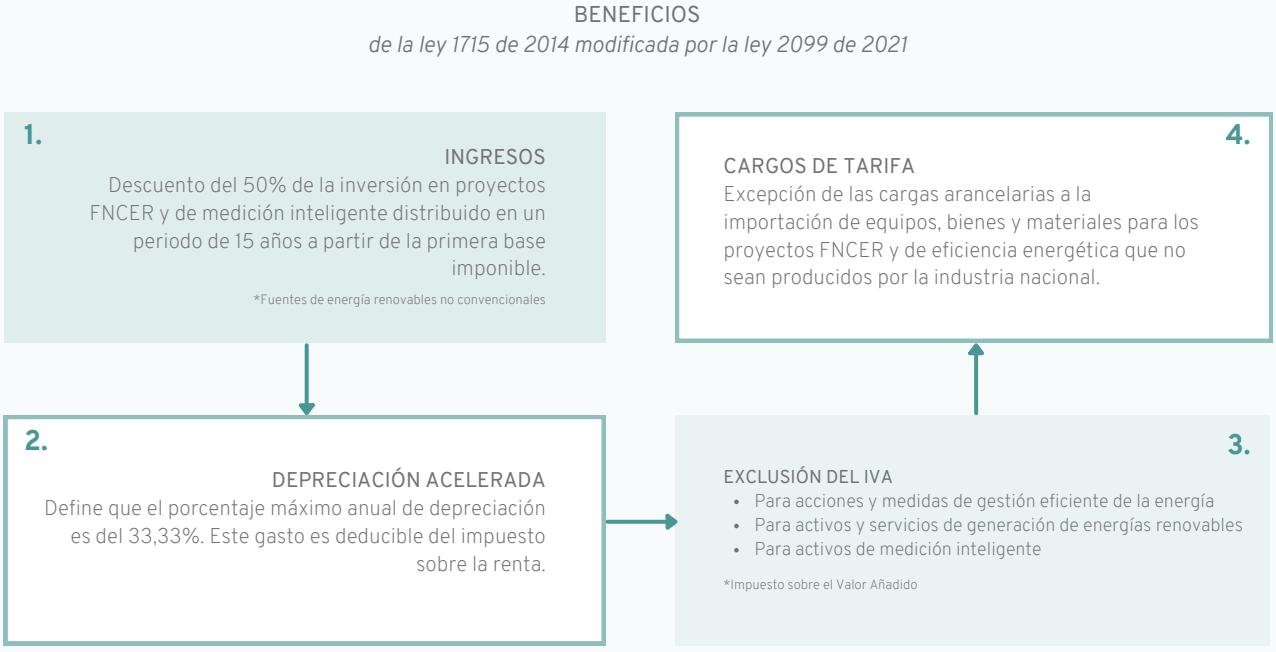
El crowdfunding o micro financiación es una opción cada vez más atractiva para financiar comunidades energéticas. El crowdfunding recauda pequeñas sumas de dinero de numerosos particulares para financiar una comunidad energética. Aprovecha la comodidad de las redes sociales y las plataformas de crowdfunding para poner en contacto a promotores de comunidades energéticas con posibles financiadores. [20].

El crowdfunding suele estar mediado por Fintechs, empresas del sector financiero que utilizan la tecnología para mejorar o automatizar servicios y operaciones financieras. Las Fintecs pretenden ser proveedores de servicios financieros innovadores, añadir valor a los servicios financieros existentes, simplificar los procesos financieros, hacer más accesibles y transparentes los productos financieros y ofrecer mejores soluciones a las personas gracias a las capacidades tecnológicas.

La recaudación colaborativa de capital tiene un potencial considerable para las comunidades energéticas, ya que las expectativas de retorno de la inversión de los inversores pueden variar significativamente, y los fondos pueden ser contribuciones, premios, acciones, regalías o préstamos. En Colombia, la empresa Unergy ofrece una plataforma pionera de crowdfunding para sistemas fotovoltaicos solares distribuidos, que podría adaptarse para financiar comunidades energéticas en el futuro [21].

4.1.5. INCENTIVOS Y FONDOS GUBERNAMENTALES

Los incentivos de apoyo de la política gubernamental, como créditos fiscales, subvenciones o ayudas, pueden afectar significativamente a la viabilidad financiera de los sistemas fotovoltaicos solares. Evaluar la disponibilidad y aplicabilidad de estas ayudas financieras es crucial para compensar la inversión inicial y mejorar la rentabilidad global del sistema. En Colombia, los incentivos fiscales para las fuentes de energía renovables han sido principalmente beneficios fiscales, exenciones y depreciación acelerada. Estos incentivos fueron definidos por las leyes 1715 de 2014 y 2099 de 2021.



Adicionalmente, el gobierno colombiano ofrece alternativas de financiación a través de FENOGE, el Fondo para las Energías No Convencionales y el Manejo Eficiente de la Energía. Su función es financiar, administrar y ejecutar planes, programas y proyectos para mejorar la eficiencia energética y el uso de fuentes no convencionales de energía en el país. FENOGE ofrece capital no reembolsable, una opción de financiación en la que la fuente de capital inicial no está sujeta a reembolso, pago, devolución o restitución por parte del solicitante [22].

4.2. RETOS DEL ACCESO A FINANCIACIÓN

El acceso a mecanismos de financiación adecuados para las comunidades energéticas en Colombia se enfrenta a varios retos. Las principales brechas fueron identificadas a través de entrevistas con expertos en financiación de bancos, cooperativas, start-ups y el gobierno.

- La falta de figuras regulatorias adecuadas para las comunidades energéticas, el autoconsumo colectivo y la autogeneración crea incertidumbre sobre el rendimiento y la rentabilidad de los sistemas de comunidades energéticas y puede hacer que los inversores duden a la hora de apoyar estos proyectos.

- Insuficientes instrumentos financieros y oportunidades de financiación específicamente adaptados a los proyectos energéticos comunitarios.

- Dificultad de las comunidades energéticas para acceder a los instrumentos financieros tradicionales. Obtener financiación puede ser complejo, oneroso y lento. Además, las comunidades energéticas, como organizaciones sociales emergentes, serían incapaces, en la mayoría de las circunstancias, de proporcionar historiales crediticios y garantías adecuadas para acceder a proveedores de deuda tradicionales.

- Conocimiento y comprensión limitados de las opciones de energía renovable y sus beneficios potenciales entre el público en general y las comunidades locales de Colombia.

- Los elevados riesgos percibidos en relación con las cuestiones sociales y la incertidumbre sobre la rentabilidad asociada a las comunidades energéticas pueden disuadir a posibles inversores e instituciones financieras de proporcionar financiación.

4.3. PLAN DE ACCIÓN PARA FACILITAR Y SIMPLIFICAR EL ACCESO A FINANCIACIÓN

Para atender las brechas identificadas se requiere un enfoque diverso que implique concienciar sobre las energías renovables, desarrollar figuras regulatorias y mecanismos de financiación específicos, agilizar los procesos burocráticos y mitigar los riesgos percibidos asociados a los proyectos de energías renovables. Al solucionar estas brechas, las comunidades energéticas de Colombia podrían tener un mejor acceso a los mecanismos de financiación de los sistemas de energías renovables. La siguiente lista presenta a las autoridades colombianas del sector energético cuatro pasos accionables para facilitar y simplificar el acceso a la financiación para las comunidades energéticas en Colombia:

1. Crear figuras regulatorias específicas para comunidades energéticas.
El gobierno debe definir figuras regulatorias para las comunidades energéticas, el autoconsumo colectivo y la autogeneración, garantizando que las comunidades energéticas puedan tener un modelo de negocio viable y acceder a tarifas preferentes (por encima de los precios habituales del mercado mayorista). Este paso es crucial para mitigar las preocupaciones de los potenciales financiadores sobre el rendimiento y la rentabilidad de los proyectos de comunidades energéticas. Además, el gobierno puede ofrecer garantías o planes de seguros para proteger a los inversores frente a posibles pérdidas e incertidumbres asociadas a los proyectos de comunidades energéticas para incentivar las inversiones.

2. Establecer mecanismos de financiación específicos.
Establecer programas de financiación específicos dirigidos a las comunidades energéticas con agencias gubernamentales, instituciones financieras y organizaciones internacionales. Los mecanismos de financiación deben tener directrices claras, criterios de elegibilidad y procesos de solicitud racionalizados y adaptados a las necesidades de las comunidades energéticas. El gobierno debe colaborar con los bancos locales y las instituciones financieras para crear productos de préstamo especializados o instrumentos financieros con términos y condiciones favorables para los proyectos de energías renovables en las comunidades energéticas.

3. Aumentar la sensibilización, la educación, el desarrollo de capacidades y la asistencia técnica.

En primer lugar, colaborar con instituciones educativas locales, ONG y organizaciones comunitarias para realizar talleres, seminarios y campañas de concienciación para educar a las comunidades energéticas sobre los beneficios de los sistemas de energías renovables y los mecanismos de financiación disponibles. En segundo lugar, diseñar programas de capacitación para facultar a las comunidades a desarrollar propuestas de proyectos financiables. Apoyar espacios con expertos locales e internacionales para proporcionar formación y orientación sobre el desarrollo de proyectos, estrategias de financiación y acceso a oportunidades de financiación.

4. Fomentar las asociaciones y las redes de comunidades energéticas.

Crear espacios de colaboración entre las comunidades energéticas, los promotores de energías renovables, las instituciones financieras y los inversores a través de eventos de creación de redes, foros y sesiones de relacionamiento. Facilitar el acceso de las comunidades al asesoramiento de expertos a través de programas institucionales en los que promotores de proyectos de energías renovables o consultores experimentados puedan orientar en la obtención de financiación y la ejecución de proyectos.

5. Promover plataformas de colaboración y crowdfunding.

Desarrollar plataformas de colaboración que pongan en contacto a las comunidades energéticas con inversores potenciales, plataformas de crowdfunding y fondos de inversión de impacto interesados en apoyar proyectos de energías renovables. Además, proporcionar una plataforma para supervisar y medir el impacto de las iniciativas de financiación en curso y compartir historias de éxito y buenas prácticas para inspirar y motivar a otras comunidades energéticas a emprender proyectos de energías renovables y acceder a financiación.

5 REFERENCIAS

[1] MME, "La transición energética justa en Colombia seguirá avanzando de manera gradual," 2023. [Online]. Available: https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/la-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica-justa-en-colombia-seguir%C3%A1-avanzando-de-manera-gradual/. [Accessed 06 June 2023].

[2] IPSE, "El IPSE priorizó las dos primeras Comunidades Energéticas de las zonas no interconectadas de Colombia en 2023," 16 March 2023. [Online]. Available: https://ipse.gov.co/blog/2023/03/16/el-ipse-priorizo-las-dos-primeras-comunidades-energeticas-de-las-zonas-no-interconectadas-de-colombia-en-2023/. [Accessed 06 June 2023].

[3] Ministerio de minas y energía, República de Colombia, "Diáologo social para definir la hoja de ruta de la transición energética justa en Colombia," 2022.

[4] Senado de la República, "Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 "Colombia potencia mundial de vida"," Senado de la República de los días 02 y 03 de mayo de 2023, Bogotá, 2023.

[5] Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, "Resolución 030 de 2018," 26 febrero 2018.

[6] Comisión de Regulación de Energía y Gas, "Resolución 174 de 2021," 7 octubre 2021.

[7] J. P. Cárdenas-Álvarez, J. George, J. Giraldo, J. A. Estrada, J. M. España and S. Ortega, "Rethinking energy communities for a just energy transition," 2023.

[8] V. Mahajan, E. Muller and F. Bass, "New product diffusion models in marketing: a review and directions for research," The Journal of Marketing, vol. 54, pp. 1-26, 1990.

[9] ISA, "Recursos Energéticos Escenarios de Incorporación," Energética 2030, 2020.

[10] Consejo Privado de Competitividad, "El Índice de Competitividad de Ciudades (ICC)," 2021.

[11] S. Adams, J. P. Cárdenas, R. Chichyan, M. Fell, U. Hahnel and K. Hojckova, "Social and economic value in Emerging Decentralized Energy Business Models: A Critical Review," Energies, 2021.

[12] J. P. Cárdenas-Álvarez, J. M. España and S. Ortega, "What is the value of peer-to-peer energy trading? A discrete choice experiment with residential electricity users in Colombia," Energy Research & Social Science, 2022.

[13] R. Willis and J. Willis, "Co-operative renewable energy in the UK, A guide to this growing sector," CO-OPERATIVES UK, 2012.

[14] CREG, "Resolución 096 de 2019," 28 August 2019.

[15] N. Mutatkar, "Sustainability assessment of decentralised solar projects: introducing a multi-criteria approach," KTH Royal Institute of Technology, Department of Energy Technology, Stockholm, 2017.

[16] P. M. Dauenhauer, D. Frame, A. Eales, S. Strachan, S. Galloway and H. Buckland, "Sustainability evaluation of community-based, solar photovoltaic projects in Malawi," Energy, sustainability and society, 2020.

[17] Credifinanciera, "Microcrédito," 1 December 2022. [Online]. Available: https://www.credifinanciera.com.co/index.php/productos/microcredito. [Accessed 9 December 2022].

[18] ERCO, "ERCO," 2022. [Online]. Available: https://www.ercoenergia.com.co/formas-de-pago/.

[19] Bancolombia, "Bancolombia," 2022. [Online]. Available: https://www.bancolombia.com/empresas/productos-servicios/leasing/leasing-sostenible.

[20] T. Smith, "Crowdfunding: What It Is, How It Works, Popular Websites," Investopedia.

[21] Unergy, "Unergy".

[22] FENOGE, "Qué son Recursos No Reembolsables y por qué es un mecanismo de financiación en el FENOGE?," 2022.