

Desarrollo de proyectos comunitarios de energía mediante esquemas de generación distribuida en Iberoamérica

Development of community energy projects through distributed generation schemes in Iberoamerica

Mariana C. Jiménez Martínez¹, Juan Manuel España Forero², Juanita Giraldo Quiroz³,
Ana María Ramírez Tovar⁴

Recibido: 21/04/2023 y Aceptado: 16/01/2024

ENERLAC. Volumen VII. Número 2. Diciembre, 2023

ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522(digital)



137

1.-Fundació Institut de Recerca en Energia de Catalunya (IREC). España.

Investigadora mcjimenez@irec.cat

<https://orcid.org/0000-0002-2224-6955>

2.- Universidad EIA. Colombia Director de la Iniciativa de Energía Transactiva para Colombia y profesor de cátedra.

juan.espana@eia.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-4083-3715>

3.- Universidad EIA. Colombia Investigadora de la Iniciativa de Energía Transactiva para Colombia.

juanita.giraldo1@eia.edu.co

<https://orcid.org/0009-0009-2533-1221>

4.- Universidad EIA. Colombia Investigadora de la Iniciativa de Energía Transactiva para Colombia.

ana.ramirez68@eia.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-8695-702X>



Resumen

Globalmente, se observa una tendencia hacia el empoderamiento de los ciudadanos y su incorporación activa al proceso de transición energética a través del desarrollo de proyectos comunitarios de energía. Las alternativas disponibles para su implementación varían según el entorno regulatorio, social y económico de cada país. Este artículo estudia la implementación de proyectos comunitarios de energía a través de esquemas de generación distribuida presentes en cuatro países iberoamericanos: Brasil, Colombia, España y México. Para esto se describe la regulación vigente y se presentan casos de estudio con ejemplos representativos dentro de cada contexto. Como resultado de esta evaluación y análisis comparativo, se destaca la importancia de los esquemas de autoconsumo colectivo como una alternativa eficiente de repartir los beneficios económicos de un sistema distribuido entre varios usuarios, fomentando así el desarrollo de proyectos energéticos comunitarios que aporten beneficios económicos, sociales y ambientales en la región. Esta necesidad de fortalecer la regulación es especialmente importante para la región de América Latina, donde pocos mercados cuentan ya con una normativa específica para autoconsumo colectivo, y su utilización ha sido menos estudiada que en otras regiones como Europa.

PALABRAS CLAVE: Transición Energética, Proyectos Comunitarios de Energía, Generación Distribuida, Autoconsumo Colectivo, Iberoamérica.

Abstract

139

Globally, there is an observable trend towards citizens' empowerment and their active involvement in the energy transition through the development of energy community projects. The available options for their implementation depend on each country's economic, social and regulatory conditions. This article studies the use of distributed generation schemes for the development of energy community projects in four Iberoamerican countries: Brazil, Colombia, Mexico and Spain. To do so, the national regulations currently applied to distributed generation is summarized and one representative case study is analyzed for each country. As a result of this evaluation and comparative analysis, the importance of counting with rules for collective self-consumption agreements is pointed out as an efficient alternative to distribute the benefits of distributed generation to several users, promoting the implementation of energy community projects that bring economic, environmental and social benefits to the region. The need to incorporate collective-self consumption is particularly relevant for Latin America, in which few countries have rules already in place for this scheme, and their implementation has been less studied than in other regions such as Europe.

KEYWORDS: Energy Transition, Community Energy Projects, Distributed Generation, Collective Self-Consumption, Iberoamerica.

1. INTRODUCCIÓN

Motivados por los acuerdos climáticos y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, diversos países buscan impulsar la transformación del sector energético hacia fuentes sustentables de energía mediante estrategias como la incorporación de nuevos agentes en los mercados eléctricos, incluidos los usuarios finales. En esta línea, los proyectos comunitarios de energía surgen como un mecanismo para empoderar a los usuarios en la transición energética y motivarlos a generar, almacenar y gestionar energía producida localmente a través de fuentes renovables o de bajas emisiones. En consecuencia, el papel de los proyectos comunitarios de energía ha sido estudiado en la literatura como un componente clave para la transición energética (Leonhardt et al, 2022).

Los proyectos comunitarios de energía pueden entenderse como aquellos proyectos enfocados en el suministro y consumo sustentable de la energía, donde las comunidades (en el sitio de influencia del proyecto) mantienen un alto grado de control y propiedad y se benefician directamente del mismo (Seyfang et al. 2013). Recientemente, otros autores como Leonhardt et al. (2022) han extendido esta definición para incluir a los proyectos de energía a escala distribuida con una alta participación local, así como a proyectos locales de energías con particular énfasis en aquellos basados en energías renovables. Bajo esta definición extendida, el entorno regulatorio aplicable a la Generación Distribuida (GD) resulta clave para la promoción de este tipo de proyectos. Dentro de la GD, existen diversos modelos para la incorporación de más de un usuario a un proyecto de generación eléctrica, estos son la generación bajo tenencia compartida (a través de asociaciones o cooperativas), el Auto Consumo Colectivo (ACC), las micro-redes, o las plantas virtuales de generación (Arbeille et al., 2020). El ACC puede entenderse como el intercambio de energía entre prosumidores a través de un arreglo mercantil (Capper et al., 2022). Es decir, que el intercambio de energía entre los miembros del

esquema colectivo puede darse no solo de forma física sino virtual. A diferencia de una micro-red, definida como una red autónoma, en el ACC tanto los usuarios como el generador se encuentran conectados a las redes públicas de distribución y realizan intercambios de energía a través de estas (Arbeille et al., 2020). Dentro de los esquemas de ACC es frecuente la compensación de energía mediante mecanismos típicamente aplicables a la GD como la medición neta (net metering) o la facturación neta (net billing). La primera tratándose de una compensación directa entre la energía generada y consumida, mientras que la segunda implica la valoración a precio de mercado de la energía inyectada a la red (IRENA, 2019).

Considerando las definiciones de Seyfang et al. (2013) y Leonhardt et al. (2022), un proyecto comunitario puede conformarse bajo alguno o una combinación de los modelos anteriormente mencionados. Un ejemplo sería un proyecto de ACC gestionado a través de una cooperativa (tenencia compartida). No obstante, también pueden existir proyectos desarrollados bajo estos modelos que no se consideren comunitarios al no contar, por ejemplo, con el grado de control o participación local requerido para ello.

Dentro de la región iberoamericana, los esquemas de tenencia compartida, particularmente a través de cooperativas, han tomado relevancia en los últimos años como lo evidencia el creciente número de cooperativas de energía actualmente en operación en España y Portugal, y la publicación de guías para su desarrollo en países como Brasil (GIZ, DGRV, OCB, 2018) o México (Ithaca Environmental, 2020). Asimismo, existe un interés creciente en los esquemas de ACC, aunque este sigue siendo incipiente en el caso de América Latina, donde solo Brasil y Chile cuentan con una normativa específica. En España y Portugal, este esquema se encuentra vigente como sucede en todos los países miembros de la UE, región donde se concentra la gran mayoría de proyectos desarrollados bajo este modelo (Arbeille et al., 2020).

En este artículo, se propone abordar la información disponible sobre el marco regulatorio aplicable a la GD en cuatro países iberoamericanos – Brasil, Colombia, España, México – poniendo especial énfasis en las normas relevantes para la formación de proyectos comunitarios de energía. Asimismo, se presentan ejemplos de proyectos representativos desarrollados dentro de este contexto, cuyas principales características son resumidas en la Tabla 1 y serán detalladas en las siguientes secciones. La información sobre los casos de estudio es obtenida de fuentes de información públicas, cuyas referencias podrán

ser consultadas a lo largo del texto, así como directamente de los gestores del proyecto, con quienes los autores colaboran en diversas iniciativas. Todos los casos presentados se consideran proyectos comunitarios al contar con un alto grado de participación local. No obstante, presentan diferencias significativas en su estructuración, destacando la utilización de esquemas de ACC en los casos de Brasil y España.

Tabla 1. Principales características de los proyectos representativos analizados

VariableB	Brasil	Colombia	España	México
Contexto	Urbano	Urbano	Rural	Rural
Beneficiarios	Hogares.	Hogares.	Hogares, edificios públicos y estación de carga eléctrica	Comunidad agrícola (ejidos), empresas privadas.
Otros actores	Organización sin fines de lucro.	Empresas privadas, instituciones académicas.	Empresas privadas.	Empresas privadas, instituciones públicas, entidades financieras.
Tecnologías	Solar PV	Solar PV	Solar PV	Solar PV
Estructura	Cooperativa	Comunidad solar.	Comunidad vecinal	Fideicomiso
Esquema reparto de beneficios	ACC.	Sistema de monedas virtuales (tokens).	ACC.	Pagos a través del fideicomiso y un vehículo de propósito especial.

Fuente: Elaboración propia

2. CASOS DE ESTUDIO

2. Casos de estudio

2.1 Brasil

La figura de GD de energía renovable ha estado contemplada en la regulación brasileña desde 2010, aunque no fue hasta la emisión de la Resolução Normativa ANEEL N° 482 DE 2012 donde se establecieron las condiciones generales para el acceso de estos generadores a un mecanismo de compensación de energía eléctrica. Los generadores distribuidos se dividen en dos categorías de acuerdo a su potencia instalada: Microgeneración Distribuida para potencias instaladas inferiores o iguales a 75 kW; y Minigeneración Distribuida para potencias mayores a 75 kW y menores a 3 MW tratándose de fuentes hídricas o 5MW para cogeneración y otras renovables. En ambos casos, los generadores deben conectarse a la red de distribución a través de instalaciones de unidades consumidoras.

Inicialmente, la Micro y Minigeneración Distribuida se restringían a compensar la energía entre un generador y un único punto de consumo. No obstante, la Resolução Normativa ANEEL N° 687 de 2015 permitió la incorporación de distintos puntos de consumo a través del Autoconsumo a Distancia, la Generación Compartida a través de consorcios o cooperativas, y la Generación en Condominios. Dado que el Autoconsumo a Distancia requiere que todos los puntos de consumo pertenezcan a la misma persona, este esquema no se considera relevante para el desarrollo de proyectos comunitarios de energía. Bajo estas figuras, la energía generada es compensada con la consumida mediante un sistema de medición neta. Para efectuar la compensación entre varios usuarios, es necesario que estos definan, bajo libre criterio y de común acuerdo, un porcentaje de energía que deberá ser asignado a cada uno. Estos coeficientes son notificados a la compañía distribuidora quien lleva a cabo la compensación correspondiente. El porcentaje asignado es fijo para todos los períodos de facturación, aunque puede modificarse posteriormente, previa notificación al distribuidor (ANEEL, 2016).

Es posible incorporar a usuarios de distintos grupos tarifarios, considerando algunas particularidades. Específicamente, la compensación en los grupos de tarifas sin diferenciación horaria se realiza entre toda la energía inyectada a la red y toda la energía consumida dentro de un mismo período de facturación. En cambio, para los grupos con tarifas horarias, la energía deberá compensarse primero entre el total de energía inyectada y consumida dentro de un mismo periodo horario (pico, intermedio, base). Posteriormente, los remanentes de energía podrán compensarse en otro periodo horario dentro del mismo ciclo de facturación, utilizando un factor de ajuste. Los remanentes podrán ser compensados en períodos posteriores hasta por 60 meses tras su generación (ANEEL, 2016).

El esquema de Generación Compartida permite la asociación de un grupo de consumidores cuyas unidades de consumo (puntos de medición y consumo de energía) están dentro de una misma área de concesión – es decir, que son atendidos por una misma empresa distribuidora de energía – y que reciben energía de un sistema de Micro o Minigeneración ubicado en un punto diferente a las unidades de consumo. Un requisito clave para que los usuarios accedan al mecanismo de generación compartida, es que formen parte de un consorcio o cooperativa (ANEEL, 2016).

En este sentido, la normativa brasileña considera a las cooperativas de energía como un grupo de al menos 20 personas físicas que producen su propia energía, distribuida en forma de créditos en kilowatt-hora en la factura de la luz entre los socios, en porcentajes previamente aprobados por todos los miembros de la cooperativa, denominados cooperantes (ANEEL, 2015; GIZ, DGRV, OCB, 2018). Por su parte, los grupos de empresas o entidades destinadas a propiciar el acceso a bienes o servicios básicos (personas jurídicas) que deseen usar la generación compartida, deberán formar parte de un consorcio.

La generación en condominios aplica únicamente para usuarios dentro de condominios residenciales y comerciales, tanto verticales como horizontales. Estos pueden instalar un generador distribuido y compartir los créditos producidos entre los miembros del condominio. Todas las unidades de consumo deben estar en la misma propiedad o ser vecinas directas (es decir, sin que los separe ninguna vía pública). En este caso, los usuarios no deberán conformar una asociación o cooperativa para acceder al esquema de compensación de energía, pero su conformación está delimitada a una ubicación específica.

2.1.1 Cooperativa de energía solar en una favela:

Fundada el 16 de enero de 2021, la cooperativa Percila e Lúcio ubicada en las favelas Babilônia y Chapéu Mangueira en Río de Janeiro es la primera cooperativa de energía solar operando en una favela de Brasil. Esta iniciativa surgió como respuesta al incremento en los precios de la energía observado de 2011 a 2015, año en el que nació Revolusolar, una organización sin fines de lucro que ofrece soluciones solares a las comunidades y ha acompañado a los miembros de la cooperativa en la implementación y gestión del proyecto.

La Cooperativa Percila e Lúcio agrupa a 33 usuarios residenciales y provee como único servicio el autoconsumo de energía eléctrica. El sistema de GD consiste en una planta solar fotovoltaica con potencia 26 kWp, es decir, Microgeneración Distribuida, instalada en el tejado de la Asociación de Residentes de Babilônia. El activo es propiedad de Revolusolar, mientras que

La regulación para GD ha atravesado una serie de modificaciones que afectan a los proyectos desarrollados bajo esta figura, destacando la Resolução Normativa ANEEL N° 1059 de 2023. En ella se establece un cobro gradual por el uso de las redes de distribución, a través de una tarifa que será aplicada sobre la energía inyectada por todos los nuevos generadores distribuidos que se conecten a la red tras su entrada en vigencia. Se espera que este cambio tenga un impacto en la economía de los proyectos de GD compartida, afectando su rentabilidad.

la cooperativa mantiene un contrato de renta para el aprovechamiento de este. La energía es repartida en partes iguales entre los cooperantes bajo el mecanismo de compensación de energía aplicable dentro a la generación compartida. Como parte de los acuerdos de formación de la cooperativa, sus miembros han acordado destinar el 50% de los ahorros percibidos por cada uno a solventar los gastos administrativos de la cooperativa, así como el mantenimiento y una eventual ampliación del sistema fotovoltaico actual. Dentro de su funcionamiento, la cooperativa incluye reuniones mensuales entre sus asociados, un comité de sostenibilidad y una dirección encargada de los procesos administrativos y organizacionales. Adicionalmente, a la generación de energía, dentro de la cooperativa realiza otros proyectos de interés comunitario tal como talleres educativos (Revolusolar, 2021).

2.2 Colombia

En 2018, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) expidió la Resolución CREG 030 de 2018, por la cual se regulan las actividades de Autogeneración a Pequeña Escala (AGPE), Autogeneración a Gran Escala (AGGE) y la Generación Distribuida (GD) en el Sistema Interconectado Nacional. Dichos esquemas permiten la participación de los usuarios en el mercado energético generando energía de

forma distribuida. Esta normativa fue actualizada posteriormente por la Resolución CREG 174 de 2021.

La figura de AGPE contempla la generación de energía eléctrica para atender las necesidades energéticas propias de un único usuario, mediante sistemas con capacidades inferiores a 1 MW. En el caso de AGGE, el límite máximo de

potencia instalada es de 5 MW (Resolución CREG 174 de 2021). Los AGPE utilizan un modelo de contraprestación híbrido entre la medición y facturación neta. Para AGPE con potencia nominal inferior a 100 kW, las exportaciones de energía son permutadas con las importaciones de energía que se realizan durante un período de facturación mensual y se deduce únicamente el costo de comercialización. Cuando la exportación es mayor a la importación, estos excedentes son vendidos a la red al precio horario de bolsa de energía del mercado mayorista. Para AGPE superior a 100 kW y AGGE, la remuneración de los excedentes es a precio de bolsa. Por lo tanto, los AGPE menores a 100 kW obtienen mayores beneficios, ya que las exportaciones son remuneradas con una tarifa que corresponde aproximadamente al 90% del costo unitario de las importaciones.

144 El Generador Distribuido contempla la generación de energía eléctrica en un punto cercano a los centros de consumo y conectado a un sistema de distribución local. En este caso toda la energía es inyectada a la red y no se permite el autoconsumo directo. Su capacidad instalada máxima es de 1 MW (Resolución CREG 174 de 2021). Dicha energía es remunerada al precio de bolsa del mercado mayorista, más beneficios que corresponden a un monto reconocido por la contribución del GD en la red de distribución al cual esté conectada el generador, debido a su ubicación cercana a los centros de consumo. Este beneficio es el 50% del costo de pérdidas del sistema (componente de la tarifa) que puede ser un 25% adicional sobre el precio de bolsa. Un requisito importante para un GD es que debe ser representado por una persona jurídica que además debe tener la figura de Empresa de Servicios Públicos (ESP).

El mecanismo de remuneración utilizado por los AGPE, ha motivado y favorecido su despliegue en los últimos años debido a los beneficios económicos y ahorros que pueden obtener los usuarios con capacidad instalada menor a 100 kW. En la actualidad, se estima que hay 2682 AGPE operativos en el país, con una capacidad instalada total de 57,47 MW (XM, 2023). Por el contrario, los únicos dos Generadores Distribuidos operativos están ubicados en el proyecto piloto de

Comunidad Solar La Estrecha – El Salvador, que se presenta en este artículo como caso de estudio. Lo anterior, a pesar de que la regulación para ambas figuras fue emitida de forma simultánea.

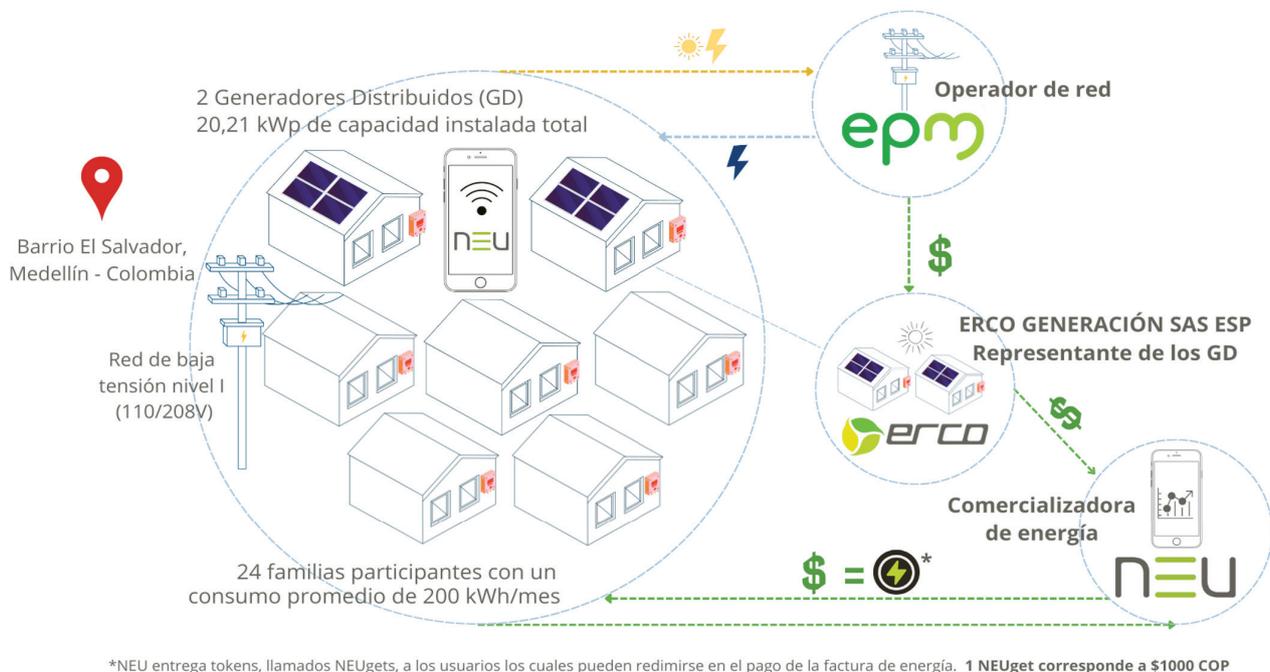
Al día de hoy, la figura de Generador Distribuido es la única opción viable en Colombia para desarrollar proyectos de energía comunitarios, ya que permite que toda la energía sea vendida a la red y que los beneficios económicos puedan repartirse equitativamente entre los miembros de un proyecto comunitario, a diferencia del AGPE donde el sistema debe vincularse a un único usuario. No obstante, el requerimiento de ser representado por una ESP es una barrera para el desarrollo de proyectos comunitarios bajo la figura de Generador Distribuido, dado que estas entidades tienen responsabilidades legales que requieren mayor experticia para su gestión y manejo, limitando a los usuarios finales de implementar y operar un proyecto de este tipo sin ayuda de un agente externo.

2.2.1 Comunidad de energía solar en un barrio urbano:

La Iniciativa de Energía Transactiva, perteneciente a la Universidad EIA impulsa la formación de la Comunidad Solar La Estrecha – El Salvador en el barrio El Salvador dentro de la ciudad de Medellín, el primer piloto de su tipo. Esta iniciativa se desarrolla en alianza con EPM, empresa de servicios públicos

que genera, distribuye y comercializa energía; NEU Energy comercializadora privada de energía, ERCO Energía, empresa privada de energía solar, y su filial ERCO Generación, empresa de servicios públicos que genera energía (Figura 2).

Figura 2. Funcionamiento Comunidad Solar La Estrecha – El Salvador



145

Fuente: Elaboración propia con información de Transactive Energy Colombia.

El piloto consiste en un proyecto de comunidad energética conectado a la red, donde todos los participantes son usuarios residenciales pertenecientes a un nivel socioeconómico medio-bajo. En los tejados de tres usuarios de la comunidad, se instalaron dos sistemas solares fotovoltaicos con capacidad de 6 kWp y 14 kWp. Para la instalación del sistema más grande, dos de los usuarios comparten sus tejados. Se estima que estos sistemas generen en conjunto 2100 kWh/mes.

Las ganancias obtenidas por la venta de la energía se repartirán en partes iguales entre las 24 familias participantes a través de un sistema de tokens digitales – que podría considerarse un tipo de moneda virtual llamada NeuGet con valor

de \$ 1.000 COP – gestionado por NEU Energy. Los usuarios podrán redimir estos tokens para el pago de su factura de energía percibiendo el ahorro. La generación de energía de los sistemas corresponde a un 40% del consumo que tienen los participantes en el mes, sin embargo, en términos económicos se proyecta que los usuarios tendrán ahorros mensuales aproximados del 10% sobre su factura debido a la diferencia tarifaria entre la energía vendida por los generadores y la energía consumida por los usuarios.

Para solventar el requisito de que los Generadores Distribuidos sean representados por una ESP, ERCO Generación actúa como representante de los activos. De esta forma se evitó que los usuarios participantes tuvieran que conformar una entidad

legal de este tipo para operar la comunidad solar. Para trasladar los beneficios asociados a la generación solar de los sistemas distribuidos se implementó el siguiente esquema:

- a) ERCO Generación vende la energía inyectada por los sistemas solares a la red.
- b) La empresa comercializadora, NEU Energy, recibe la contraprestación generada por la venta de energía y lo transforma en tokens, que son transferidos a los usuarios bajo un esquema de fidelización de clientes.
- c) Los usuarios utilizan sus tokens para descontar el coste de sus facturas eléctricas.

Para acceder a este beneficio y formar parte de la Comunidad Solar, se requirió que todos los usuarios designaran a NEU Energy como su

empresa comercializadora de energía mediante un procedimiento de cambio de comercializador. A cada uno de los participantes se le instaló un medidor inteligente que permitiera obtener datos acerca de sus consumos y ser visualizados por ellos a través de la plataforma digital de NEU Energy.

Es importante resaltar que el rol de las ESP asociadas con el proyecto hace parte de sus responsabilidades estipuladas en el convenio de participación. Estas empresas no reciben una remuneración económica adicional debido a que se trata de una iniciativa académica. Esta particularidad podría convertirse en una barrera para la replicación de este esquema en otras regiones del país.

2.3 España

146 En la regulación española, la figura de Instalación Próxima podría considerarse símil a la GD. Este concepto se define en el Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica (RD 244/2019), donde se indica que para ser considerado como una Instalación Próxima, el equipo o los equipos de generación deberán cumplir con alguno de los siguientes requisitos: i) estar conectados a la red interior de los consumidores asociados o estar unidos a esta por línea directa, ii) estar conectados a las redes de baja tensión derivadas del mismo centro de transformación, iii) estar ubicadas a menos de 500 metros de todos los usuarios, o iv) estar en la misma referencia catastral que los consumos. Para plantas fotovoltaicas instaladas en cubiertas, suelo industrial y estructuras artificiales destinadas a otros usos (e.g. techos en estacionamientos), la máxima distancia permitida entre equipo de generación y usuarios es de 2,000 metros (Real Decreto-ley 20/2022).

Dentro del RD 244/2019 se define al ACC como “el consumo por parte de uno o varios consumidores de energía eléctrica provenientes de instalaciones de producción próximas a las de consumo y asociadas a los mismos.” Mediante este esquema, la regulación española permite asociar a distintos

usuarios a un equipo de generación a través de un contrato donde se asigna, mediante común acuerdo, un porcentaje de la energía generada a cada miembro. Este porcentaje es utilizado para repartir los beneficios económicos generados e inyectados a la red bajo dos modalidades: venta total (Modalidad con Excedentes No Acogidos a Compensación Simplificada) o a través de un esquema híbrido entre la medición y facturación neta (Modalidad con Excedentes Acogidos a Compensación Simplificada). Existe también la posibilidad del autoconsumo compartido sin excedentes, que podría considerarse una micro-red, por lo que queda fuera del alcance de este artículo.

Por su parte, bajo el Mecanismo de Compensación Simplificada, los usuarios pueden descontar la energía generada que tienen asignada de la energía que hayan consumido, realizando un balance energético de forma horaria. En aquellas horas donde la energía generada asignada sea menor a la demandada (déficit de consumo), el usuario pagará el coste correspondiente por cada kilowatt-hora adicional consumido al precio acordado con el comercializador. Por el contrario, si la energía generada ha sido mayor a la demandada (energía excedente), el usuario recibirá un valor económico por cada kilowatt-

hora no consumido. Esta bolsa económica puede utilizarse dentro del mismo período de facturación para compensar los costes generados durante las horas con déficit de consumo.

La normativa establece que el precio de compra de la energía que puede descontarse con la generación asignada siempre tendrá un mayor valor que el asignado a la energía excedente. El precio de compra será dictado por el comercializador de acuerdo a su estrategia de negocios, tal como el precio de venta. En caso de que al terminar el período de facturación existan excedentes no compensados, estos no podrán ser utilizados en períodos posteriores o liquidados al usuario. Debe tenerse en cuenta, que únicamente es posible compensar los costes de la factura asociados al consumo de energía, y no otros conceptos como los costes asociados a la potencia contratada o el alquiler del medidor.

La figura de ACC no impone un límite respecto al número o tipo de usuarios que pueden asociarse.

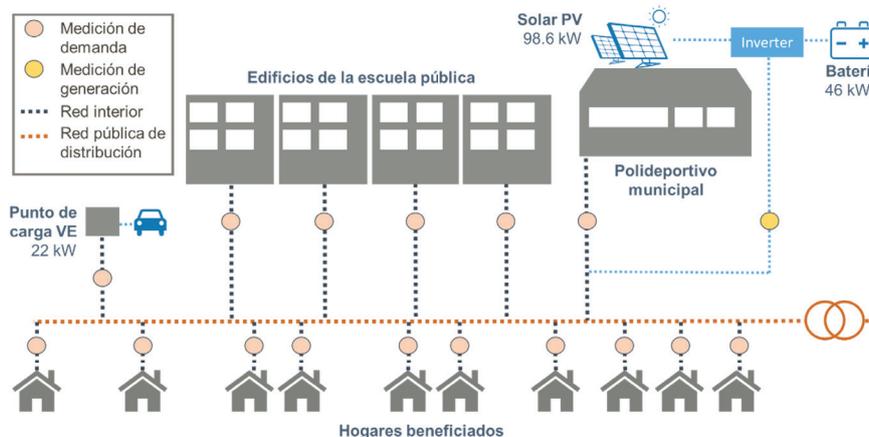
No obstante, para acogerse al mecanismo de compensación simplificada es necesario cumplir con requisitos adicionales al criterio de proximidad, incluyendo que los equipos de generación sean de tipo renovable y la potencia total de las instalaciones de producción asociadas sea igual o menor a 100 kWp. Asimismo, es necesario que el equipo de generación se encuentre interconectado a la red interior de al menos uno de los usuarios. Bajo la Modalidad con Excedentes No Acogidos a Compensación Simplificada, no existen restricciones de ningún tipo respecto al tipo o tamaño de la instalación o el punto de interconexión. Únicamente deberán cumplirse con los criterios de proximidad. En este caso, los ingresos generados por la venta de energía al mercado son repartidos entre los miembros usando los coeficientes de reparto asignados. El coste asociado al consumo eléctrico es medido y cubierto de forma independiente para cada usuario.

2.3.1 Comunidad vecinal de energía en un municipio rural:

ManzaEnergía es una comunidad energética ubicada en el municipio de Manzanares el Real, Madrid. La comunidad es uno de los seis pilotos que forman parte de LIGHTNESS (s.f.), un proyecto financiado por la Unión Europea que promueve la creación de comunidades energéticas mediante la generación de conocimiento y el desarrollo de distintas herramientas para el empoderamiento de los ciudadanos, y la venta e intercambio de

energía generada mediante fuentes renovables de energía. La formación y gestión de la comunidad energética es apoyada por el gobierno municipal y dos empresas privadas (R2M Spain Solutions y TRAZA) con experiencia en proyectos comunitarios y energías renovables. Las personas y entidades que forman parte de esta comunidad se organizan a través de una asociación civil.

Figura 1. Esquema simplificado del proyecto de comunidad energética en Manzanares el Real



Fuente: Elaboración propia con información de ManzaEnergía (2023).

En su primera fase, el piloto contempla la instalación de un sistema fotovoltaico de 98.64 kWp y una batería de 46 kWh en el tejado del centro polideportivo municipal (Figura 1). La energía generada es distribuida entre el polideportivo, la escuela pública local, y 10 familias en situación de vulnerabilidad económica a través del sistema de compensación simplificada explicada con anterioridad. Adicionalmente, se espera que el

sistema suministre electricidad a una estación de carga rápida de vehículos eléctricos (22 kW). Este proyecto también contempla la instalación de una oficina energética de asesoramiento y la promoción de proyectos de eficiencia energética en los edificios públicos participantes. Adicionalmente, existen planes para extender su alcance mediante nuevos proyectos de generación colectiva o la provisión de otros servicios energéticos.

2.4 México

En México existen dos tipos de suministradores de energía: Suministradores de Servicios Básicos y Suministradores de Servicios Calificados. El primer tipo es el encargado de servir a los Usuarios de Suministro Básico (con demanda menor a 1 MW), mientras que el resto son Usuarios de Servicios Calificados. Por ahora, el único Suministrador de Servicios Básicos operando en México es Comisión Federal de Electricidad a través de una rama dedicada específicamente a este servicio, mientras que para febrero 2023 existían 53 Suministradores de Servicios Calificados operando en el mercado (CENACE, 2023).

La regulación mexicana permite el desarrollo de proyectos de GD a través de la figura del Generador Exento, que, en la Ley de la Industria Eléctrica, se define como aquellos generadores con potencia instalada menor a 0.5 MW y que están interconectados a un circuito de distribución con una alta concentración de centros de carga. Esta figura permite el desarrollo de proyectos de generación de energía con conexión a las redes públicas de distribución con una menor carga regulatoria asociada. La normativa aplicable a estos proyectos se delimita en las Disposiciones administrativas de carácter general, los modelos de contrato, la metodología de cálculo de contraprestación y las especificaciones técnicas generales, aplicables a las centrales eléctricas de generación distribuida y generación limpia distribuida (DACG de Generación Distribuida), incluyendo los mecanismos de contraprestación disponibles.

Para los generadores exentos asociados a Usuarios de Suministro Básico existen tres mecanismos de compensación contemplados

en las DACG de Generación Distribuida: Medición Neta, Facturación Neta y Venta Total. Dichos sistemas deberán firmar un contrato con un Suministrador de Servicios Básicos en el mercado eléctrico, quien tiene la obligación de representarlos, indicando el esquema de contraprestación aplicable.

Para los sistemas distribuidos asociados a Usuarios de Suministro Calificado, la representación en el mercado deberá correr a cargo de un Suministrador de Servicios Calificados (ICM & UKPACT, 2022). En este caso, el precio a pagar por la energía inyectada a la red será decidida según la estrategia comercial del suministrador, pudiendo ser liquidada, por ejemplo, a precio marginal (precio spot) o a un precio fijo a través de un contrato de compraventa conocido como PPA (Power Purchase Agreement en inglés).

El sistema eléctrico mexicano está dividido en tres sistemas independientes (Sistema de Baja California, Sistema de Baja California Sur, y Sistema Interconectado Nacional), que a su vez se dividen en zonas y nodos. Los precios marginales dentro del mercado eléctrico mexicano son definidos para cada zona y nodo, considerando la sumatoria de los precios de generación, pérdidas y congestiones del sistema. El precio de generación es el mismo para todas las zonas y nodos del sistema, y se define de acuerdo a la demanda y el coste de la generación disponible para satisfacerla. No obstante, los precios de pérdidas y congestión son diferentes para cada nodo o zona. Para los proyectos de GD, esto implica que su rentabilidad podría variar de una ubicación a otra, ya que los precios que los Suministradores Calificados pagan a los Generadores Exentos

suele tener relación con el precio de mercado al que pueden acceder sus usuarios.

Por último, cabe notar que, aunque no existe un esquema de ACC vigente en México, existe una propuesta en discusión para su implementación. Esta normativa permitiría a más de un usuario asociarse a un proyecto de GD mediante la implementación de coeficientes de reparto, como sucede en Brasil o España. Para usuarios en baja tensión, la propuesta contempla la aplicación de los mismos esquemas de contraprestación que

a nivel individual. No obstante, para usuarios en media tensión, el esquema de medición neta sería sustituido por un esquema similar al utilizado en España. Aunque la propuesta es un paso hacia la facilitación de proyectos de ACC, impone algunos requisitos que podrían ser barreras para su desarrollo, por ejemplo, el requerimiento de que todos los usuarios tengan la misma tarifa contratada.

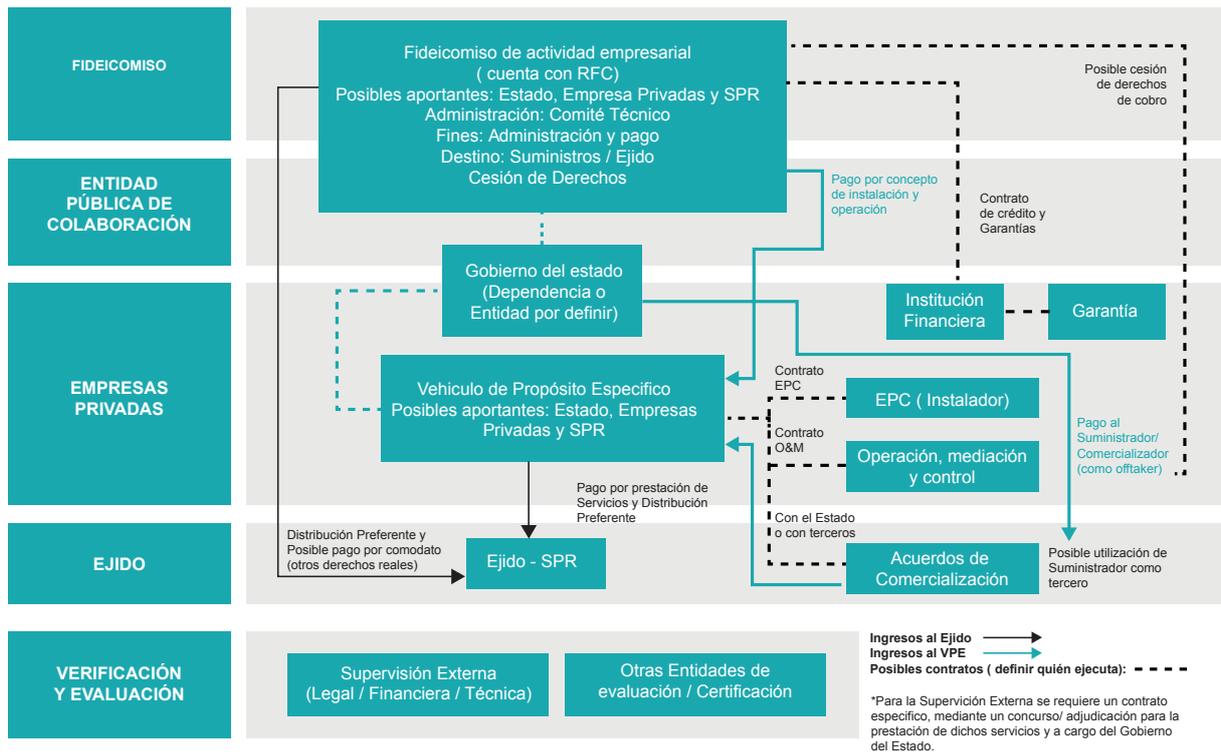
2.4.1 Proyectos comunitarios de energía en zonas agrícolas bajo tenencia compartida:

El concepto de Ejido Solar es una propuesta desarrollada por la Iniciativa Climática de México (ICM) con apoyo del programa UKPACT en México para integrar proyectos energéticos en comunidades agrarias (ICM & UKPACT, 2022). De acuerdo con la Ley Agraria, un núcleo agrario es un ejido o comunidad constituido legalmente mediante resolución agraria administrativa, resolución jurisdiccional o acuerdo de voluntades. En México hay más de 30,000 núcleos agrarios distribuidos en todas las regiones del país, 92% de los cuales son ejidos. Estos son figuras clave dentro de la estructura social mexicana, pues sustentan el modo de vida de un gran número de familias. Asimismo, el ejido es una figura con larga tradición en la sociedad mexicana, puesto que tiene raíces históricas que se remontan a otras figuras de propiedad comunitaria de las épocas colonial y prehispánica (Candelas, 2019).

ejidatarios. Alternativamente, en ejidos con usos de energía que los categorice como Usuarios Calificados, estos podrían ser los receptores de la energía generada por el proyecto (ICM & UKPACT, 2022).

La gestión del proyecto se realizaría a través de un fideicomiso como se muestra en la Figura 3, donde la comunidad ejidal tendría preferencia frente a los demás aportantes o accionistas. De igual manera, se requeriría la implementación de un Vehículo de Propósito Específico que se encargaría del desarrollo, construcción, operación, mantenimiento y comercialización del proyecto, y sería titular de los activos en representación del ejido. Las ganancias generadas por esta venta de energía retornarán al ejido, quien podría repartirlo entre los ejidatarios o utilizarlo para algún fin común que haya sido decidido por la asamblea de

Figura 3. Modelo de gobernanza propuesto para el Ejido Solar mediante un fideicomiso



Fuente: Elaborado por Deloitte Legal para el Proyecto Ejido Solar (ICM & UKPACT, 2022).

Dentro del sistema ejidatario, existen procesos de toma de decisiones que contemplan la participación comunitaria, tal como la existencia de una asamblea ejidal que es núcleo de los procesos de toma de decisiones sobre actividades que impacten al ejido. De acuerdo con la legislación mexicana, las tierras ejidales pueden ser objeto de cualquier contrato de asociación o aprovechamiento, siempre y cuando se cuente con la previa aprobación de la asamblea de ejidatarios y con el acuerdo de los correspondientes ejidatarios titulares (ICM & UKPACT, 2022). Aprovechando esta particularidad, la propuesta de Ejido Solar propone el desarrollo de proyectos de GD propiedad de comunidades ejidales que vendan la energía en modalidad de Generador Exento a un Suministrador de Servicios Calificados, quien, a su vez, venderá la energía a un Usuario Calificado a través de un contrato PPA (ICM & UKPACT, 2022).

Un Ejido Solar supone la utilización de 0.65 hectáreas de tierra clasificadas como propiedad ejidal y cuyo uso no comprometa las actividades agrícolas del ejido. Asimismo, propone considerar parámetros sociales tal como el índice de marginación o rezago, de forma que los proyectos beneficien a poblaciones vulnerables. ICM propone la instalación de sistemas fotovoltaicos con potencia instalada de 497.5 kW-DC, de forma que puedan ser considerados como Generadores Exentos (ICM & UKPACT, 2022). El financiamiento del sistema se lleva a cabo mediante una combinación de inversión de recursos financieros, subvenciones o fondos no recuperables, y esquemas de crédito. De momento se encuentran en desarrollo dos pilotos de ejidos solares en la comunidad agraria San Juan de los Potreros, Jalisco y en el ejido El Chupadero, Guanajuato (ICM, 2022).

3. DISCUSIÓN

Los casos de estudio analizados son muestra del gran interés que existe hacia el desarrollo de proyectos comunitarios en Iberoamérica. No obstante, las alternativas disponibles para su desarrollo se encuentran limitadas por el entorno regulatorio del país. Dentro de los casos analizados, destaca la posibilidad de desarrollar proyectos comunitarios a través de esquemas de ACC en España y Brasil. En México, una regulación similar se encuentra en discusión, lo que podría ser indicativo de una tendencia hacia el desarrollo de esquemas similares en la región. La principal ventaja de los esquemas de ACC es que simplifican la implementación de los proyectos comunitarios de energía al tener reglas claras para la repartición de energía, limitando el número de variables sobre las que deben decidir los usuarios, facilitando los procesos de decisión y agilizando el desarrollo de los proyectos. Más aún, una vez en marcha, los usuarios reciben los beneficios directamente en su factura, dado que el mecanismo de compensación es aplicado directamente por

la distribuidora y comercializadora eléctrica. Esta facilidad permite que estos proyectos requieran de un menor número de actores externos para su puesta en marcha. Aun así, se observa que en proyectos pioneros como los presentados para Brasil y España, existen actores con experiencia técnica que acompaña a los usuarios en la implementación y gestión del proyecto. Este es el caso de Revolusolar en la cooperativa Percila e Lúcio (Brasil) y R2M Spain Solutions y Traza Energía en la comunidad energética ManzaEnergía (España).

Por otro lado, la aplicación de mecanismos de compensación, donde la energía generada es valorada al mismo precio de compra, beneficia la rentabilidad económica de los proyectos. Sin embargo, la normativa suele incluir una serie de restricciones para limitar su uso a generadores que utilicen fuentes de energía limpias y que se encuentren dentro de ciertos límites de capacidad tal como se indica en la Tabla 2.

151

Tabla 2. . Variables técnico-regulatorias para esquemas de ACC en Brasil y España

Variable	Brasil	España
Mecanismo de compensación.	Medición neta.	<ul style="list-style-type: none"> • Venta total. • Mecanismo de Compensación Simplificada (híbrido entre medición y facturación neta).
Tecnologías	Renovables y cogeneración.	Solo renovables pueden acceder al Mecanismo de Compensación Simplificada.
Potencia máxima	<ul style="list-style-type: none"> • 3 MW para generadores hídricos. • 5 MW para otras renovables 	Solo unidades con potencia inferior a 100 kW pueden acceder al Mecanismo de Compensación Simplificada.
Tipo de usuario	<ul style="list-style-type: none"> • Personas físicas que formen parte de una cooperativa. • Personas jurídicas que formen parte de un consorcio. • Diferentes usuarios ubicados dentro de un mismo condominio. 	Sin restricciones
Restricciones geográficas	Misma área de concesión para el servicio de distribución eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> • Misma red interior o unidos por línea directa. • Conectados a redes de baja tensión derivadas del mismo centro de transformación. • Generación con distancia máxima de 500 metros para todos los usuarios (2,000 metros tratándose de solar PV en tejados reaprovechados). • Misma referencia catastral que los consumos

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se observa el uso de salvaguardas regulatorias que fomenten un uso eficiente o la recuperación de costes de operación de las redes de distribución. En el caso de Brasil, esto se hace a través de una tarifa por uso de red que es aplicada sobre la energía inyectada a la red por la GD. En España, el mecanismo de compensación simplificada se aplica de forma horaria, dando un mayor valor económico a aquella energía que es generada a la misma hora del consumo. Asimismo, no contempla el pago de excedentes no compensados. Este modelo fomenta el autoconsumo directo, así como el dimensionamiento óptimo de los sistemas de generación y la utilización de equipos para la gestión de la demanda o el almacenamiento de energía, lo que repercute positivamente en la gestión de las redes de distribución. No obstante, su aplicación requiere la utilización de medidores inteligentes con capacidad de registrar los flujos de energía al menos en escala horaria.

152 En aquellos países donde el uso de esquemas de ACC no es viable al no ser una actividad regulada, los proyectos comunitarios se desarrollan mediante la implementación de modelos financieros innovadores que aseguren una repartición justa de los beneficios económicos generados entre los usuarios asociados al proyecto. Tanto en el caso colombiano como mexicano, la implementación exitosa de estos modelos requiere la participación de distintos actores adicionales a los beneficiarios, lo que añade complejidad a su desarrollo.

En el caso colombiano, el reparto de los beneficios generados por el sistema distribuido es realizado mediante un sistema de tokens que son gestionados por una empresa comercializadora. Como se explicó anteriormente, es requisito contar con la participación de una Empresa de Servicios Públicos que actúe como representante del Generador Distribuido ante el mercado. En el proyecto piloto analizado, este rol es efectuado por la empresa ERCO, cuya participación es posible por tratarse de una iniciativa con fines de investigación. No obstante, la replicación de este modelo en otros contextos sería difícil, dado que no existe un beneficio económico directo para la empresa que cubra este rol.

Por su parte, el concepto de Ejido Solar en México plantea que los beneficios generados por el sistema distribuido sean retornados a la comunidad agraria a través de dos figuras administrativas: Fideicomiso y Vehículo de Propósito Específico. En este caso, la participación de figuras adicionales a la comunidad ejidal es principalmente requerida para asegurar el financiamiento del proyecto. Aunque esto requiere cierta complejidad, este modelo no resulta ajeno al contexto ejidal, dado que su utilización es usual para otro tipo de actividades económicas con participación de los grupos agrarios. Contrario a los otros casos de estudio, los ingresos generados por el Ejido Solar no son necesariamente utilizados para el pago de las facturas energéticas de los miembros, sino que pueden utilizarse para financiar otros proyectos o actividades de interés comunitario.

Pese a las diferencias en el modelo de desarrollo utilizado, existen también puntos en común entre los casos de estudio, como es la utilización de sistemas fotovoltaicos como tecnología de preferencia. Esto debido a que esta tecnología ofrece un diseño modular y de fácil instalación cuando se compara con otras tecnologías renovables. Además, ofrece costos nivelados de energía competitivos para la región, gracias a la disminución en costes de inversión experimentados en los últimos años y los niveles de radiación solar disponible en los países analizados. Asimismo, es destacable la fuerte dimensión social de los proyectos, por ejemplo, mediante la inclusión de personas en situación de vulnerabilidad económica, o la provisión de servicios adicionales a la comunidad como talleres educativos o información energética.

4. CONCLUSIONES

Se observa un interés creciente en el desarrollo de proyectos comunitarios de energía en la región iberoamericana, lo cual es evidenciado por los proyectos representativos estudiados en este artículo y que han sido impulsados por diversos actores – instituciones públicas, academia, empresas privadas, personas físicas – en contextos tanto urbanos como rurales. Asimismo, es destacable la promoción de proyectos pilotos y herramientas informativas para el fomento de proyectos comunitarios de energía a través de diversas iniciativas, como se observó en los casos de Colombia, España y México.

El uso de esquemas de ACC con mecanismos para la compensación de energía facilita la implementación de proyectos comunitarios de energía, dado que es una forma directa y relativamente sencilla de repartir los beneficios de un sistema de GD entre distintos usuarios. No obstante, en etapas tempranas de la regulación, el acompañamiento de otros actores con experiencia en el desarrollo y gestión de proyectos de energía parece ser un elemento en la implementación exitosa de estas iniciativas.

Asimismo, es destacable que los esquemas de compensación de energía analizados en Brasil y España ofrecen beneficios económicos a los usuarios finales. Sin embargo, estos también implementan una serie de restricciones que limitan su uso a un cierto tipo de sistemas que cumplen con características técnicas específicas, destacando el uso de tecnologías limpias y límites máximos de potencia. Por otro lado. Se observa la implementación de salvaguardas regulatorias para fomentar un uso eficiente y ordenado de las redes de distribución. Empero, la implementación de

mecanismos como el utilizado en España requiere del uso extendido de medidores inteligentes, lo cual aún representa una barrera tecnológica para la región de América Latina.

Por último, es positivo destacar que la falta de esquemas de ACC no evita el desarrollo de proyectos comunitarios en la región, pero añade complicaciones que pudieran evitar su replicación en diferentes contextos. Asimismo, el uso de mecanismos financieros más complejos requiere de un mayor número de actores que acompañen a los usuarios en el desarrollo de los proyectos. Aunque esto no es negativo per se, esta mayor complejidad puede limitar o restringir la participación activa de las comunidades locales, e incrementa el riesgo de diluir los beneficios que llegan directamente a los usuarios finales, poniendo en riesgo el enfoque comunitario del proyecto.

5. AGRADECIMIENTOS

El proyecto LIGHTNESS, donde colabora XXXX, ha recibido apoyo del programa Horizon H2020 de investigación e innovación de la Unión Europea a través del convenio Núm. 953020.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL. (2016). Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica. Brasília: ANEEL.
- Arbeille, J., Benhamou, J., Martyniuck, S., Dieme, F. B., Chomette, J. C., & Julien, E. (2020). Collective Self Consumption Projects: The Lever to Unlock Access to Local Renewable Electricity. París: ENEA.
- Capper, T., Gorbacheva, A., Mustafa, M. A., Bahloul, M., Schwidtal, J. M., Chitchyan, R., Andoni, M., Robu, V., Montakhabi, M., Scott, I., Francis, C., Mbavarira, T., España, J.M., & Kiesling, L. (2022). Peer-to-peer, community self-consumption, and transactive energy: A systematic literature review of local energy market models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162, 112403.
- CENACE. (2023). Participantes del Mercado con contrato vigente. Reporte mensual: febrero 2023. Ciudad de México: CENACE – Área Pública del Sistema de Información del Mercado.
- 154 Candelas, R. (2019). La relevancia de los ejidos y las comunidades rurales en la estructura social de México. Ciudad de México: Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública.
- GIZ, DGRV, OCB. (2018). Cooperativas de energía. GUIA DE CONSTITUIÇÃO DE COOPERATIVAS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA. Brasília. doi:ISBN: 978-85-00000-00-0
- Resolución [Comisión Reguladora de Energía, México] por la que expide las disposiciones administrativas de carácter general los modelos de contrato, la metodología de cálculo de contraprestación y las especificaciones técnicas generales, aplicables a las centrales eléctricas de generación distribuida y generación limpia distribuida. 07 de marzo de 2023. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5474790&fecha=07/03/2017#gsc.tab=0
- ICM (2022). Ejido Solar. <https://www.iniciativaclimatica.org/ejidosolar/>
- ICM, UKPACT. (2022). Ejido Solar - Manual de Replicabilidad. Ciudad de México: ICM, UKPACT.
- IRENA. (2019). Net Billing Schemes – Innovation Landscape Brief. Abu Dhabi: IRENA.
- Ithaca Environmental. (2020). Guía: Cooperativas de energía sustentable en México. Ciudad de México: GIZ, DGRV.
- Leonhardt, R., Noble, B., Poelzer, G., Fitzpatrick, P., Belcher, K., & Holdmann, G. (2022). Advancing local energy transitions: A global review of government instruments supporting community energy. *Energy Research & Social Science*, 83, 102350.
- Ley de la Industria Eléctrica. Diario Oficial de la Federación (México). 11 de agosto de 2014. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014#gsc.tab=0
- LIGHTNESS. (s.f.). ManzaEnergía, Spain. <https://www.lightness-project.eu/pilot-sites/manza-energia-spain/>
- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Boletín Oficial del Estado (España), 83, 6 de abril de 2019
- Resolução Normativa ANEEL Nº 482 DE 2012 [Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Brasil]. 17 de abril de 2012.

Resolução Normativa ANEEL Nº 687 de 2015. [Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Brasil]. 24 de noviembre de 2015.

Resolução Normativa ANEEL Nº 1059 de 2023. [Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Brasil]. 02 de febrero de 2023.

Resolución CREG 030 de 2018 [Comisión de Regulación de Energía y Gas, Gobierno de Colombia]. Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional. 6 de febrero de 2018.

Resolución CREG 174 de 2021 [Comisión de Regulación de Energía y Gas, Gobierno de Colombia]. Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional. 7 de octubre de 2021.

Seyfang, G., Park, J. J., & Smith, A. (2013). A thousand flowers blooming? An examination of community energy in the UK. *Energy policy*, 61, 977-989.

Revolusolar. (2021). 1º Trimestre 2021. Relatório de Atividades e Impactos. <https://revolusolar.org.br/wp-content/uploads/2021/05/Relatorio-1T21.pdf>

Seyfang, G., Park, J. J., & Smith, A. (2013). A thousand flowers blooming? An examination of community energy in the UK. *Energy policy*, 61, 977-989

XM. (31 de marzo de 2023). Autogeneradores a Pequeña Escala (AGPE). <https://sinergox.xm.com.co/oferta/Paginas/Informes/AGPE.aspx>