MODELOS de DESARROLLO para MICROREDES



Instituto de Desarrollo Energía y Ambiente

MODELOS DE DESARROLLO PARA MICRO-REDES

Derechos Reservados 2026

Instituto de Desarrollo, Energía y Ambiente (IDEA)
Patricio Sanz 207, Col. Del Valle Norte, CP. 03103,
Benito Juárez, Ciudad de México
Tel. +52 55 5088 5869

Los contenidos de este documento han sido elaborados con base en fuentes oficiales y de acceso público. Las aseveraciones y conclusiones expresadas no necesariamente reflejan la posición institucional del Instituto de Desarrollo, Energía y Ambiente (IDEA). Este documento tiene fines informativos y analíticos, y no pretende sustituir asesoría técnica, legal o profesional especializada.

Asimismo, IDEA no se responsabilizan por cualquier daño tangible o intangible causado directa o indirectamente por el uso de la información descrita en este reporte.

COORDINACIÓN INSTITUCIONAL
Luisa Sierra, Directora Ejecutiva
Marco Jano, Subdirector de Investigación
Ricardo Cruz, Gerente de Electricidad
Erika Ortiz, Gerente de Descarbonización y Desarrollo Energético Verde
Niuni Butrón, Gerente de Implementación de Proyectos

COORDINACIÓN TÉCNICA
Ricardo Cruz, IDEA

INVESTIGACIÓN
Rosa María Jiménez Olmos, IDEA
Karen Liliana Chip Domínguez, IDEA

COMUNICACIÓN
Sofía Medina, IDEA

DISEÑO GRÁFICO
Mariana Romero, IDEA

Contenido

Resumen ejecutivo 5

1.0 Introducción 7

2.0 Micro-redes y niveles de acceso a la energía 10

2.1 La micro-red como sistema eléctrico colectivo 12
2.2 Niveles de acceso a la energía y decisiones de diseño 13

3.0 Experiencia internacional: arreglos institucionales y aprendizajes para México 16

3.1 Tres experiencias de referencia 18
3.1.1 Perú 18
3.1.2 Alemania 18
3.1.3 Estados Unidos 18
3.2 Arreglos institucionales observados internacionalmente 21
3.3 Aprendizajes relevantes para la lectura del caso mexicano 22

4.0 Marco legal mexicano: posibilidades actuales para implementar micro-redes como solución territorial 24

4.1 Antecedentes normativos y programáticos de la generación descentralizada y los sistemas aislados 26
4.2 Figuras vigentes para generación local y distribuida 27
4.3 Régimen específico de Pequeños Sistemas Eléctricos y micro-redes 28
4.4 Disposiciones administrativas aplicables 29
4.5 Instrumentos de planeación, programas y fondos 30
4.6 Rutas regulatorias y vacíos por resolver 31
4.6.1 Rutas según la condición de la comunidad 31
4.6.2 Ambigüedades y vacíos regulatorios 33

5.0 Modelos de desarrollo para micro-redes en comunidades aisladas y conectadas 36

5.1 Modelo público 38
5.1.1 Estructura del modelo público 38
5.1.2 Arquitectura relacional del modelo público 40
5.1.2.1 Tarifa de Suministro Básico y apoyos públicos 42
5.1.3 Esquema de gobernanza del modelo público 42
5.1.4 Lienzo Canvas correspondiente al modelo público 43
5.2 Modelo comunitario 45
5.2.1 Estructura del modelo comunitario 46
5.2.2 Arquitectura relacional del modelo comunitario 47
5.2.2.1 Gestión y aprovechamiento de excedentes en el modelo comunitario 49
5.2.3 Esquema de gobernanza del modelo comunitario 49

5.2.4 Lienzo Canvas del modelo comunitario 50
5.3 Modelo de desarrollo con organización ancla 52
5.3.1 Estructura del modelo ancla 53
5.3.2 Arquitectura relacional del modelo ancla 55
5.3.2.1 Mecanismos de pago del modelo ancla 57
5.3.3 Esquema de gobernanza del modelo ancla 57
5.3.4 Lienzo Canvas del modelo ancla 58
5.4 Lectura comparada de los modelos 60

6.0 Conclusiones **62**

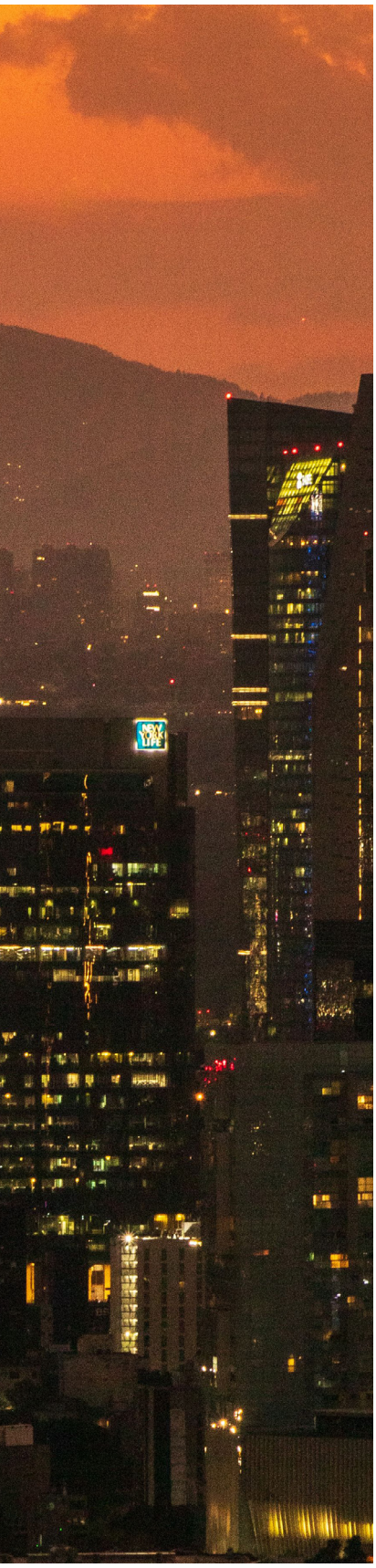
7.0 Referencias bibliográficas o cibergráficas **67**

Tabla de figuras

Figura 2.1. Micro-red aislada y sistemas stand-alone 12
Figura 2.2. Niveles de acceso a la energía (MTF) 13
Figura 5.1. Modelo de desarrollo de micro-red pública 39
Figura 5.2. Arquitectura relacional del modelo público 41
Figura 5.3. Esquema de gobernanza, modelo de desarrollo público 43
Figura 5.4. Lienzo Canvas para el modelo de desarrollo público 44
Figura 5.5. Modelo de desarrollo de micro-red comunitaria 46
Figura 5.6. Arquitectura relacional del modelo comunitario 48
Figura 5.7. Esquema de gobernanza del modelo de desarrollo comunitario 50
Figura 5.8. Lienzo Canvas del modelo de desarrollo comunitario 51
Figura 5.9. Modelo de desarrollo de micro-red con organización ancla 53
Figura 5.10. Arquitectura relacional del modelo con organización ancla 56
Figura 5.11. Esquema de gobernanza,
modelo de desarrollo con organización ancla 58
Figura 5.12. Lienzo Canvas del modelo de desarrollo con organización ancla 59

Contenido de tablas

Tabla 2.1. Tecnologías usadas en sistemas aislados 15
Tabla 3.1. Instrumentos de referencia en Perú, Alemania y Estados Unidos 19
Tabla 3.2. Arreglos institucionales observados internacionalmente 21
Tabla 4.1. Comparativo de figuras de generación en México, de 1975 a 2025 26
Tabla 4.2. Rutas regulatorias para micro-redes
según la condición de la comunidad 32
Tabla 5.1. Lectura comparada de los modelos de desarrollo 60



RESUMEN EJECUTIVO

México ha alcanzado una cobertura eléctrica cercana a la universalidad; sin embargo, persisten brechas de acceso significativas. Alrededor de 107 mil viviendas, unas 375 mil personas, carecen de electricidad (INEGI, 2025), y cerca del 37 % de la población enfrenta alguna condición de pobreza energética (García Bustamante, 2025). Estas cifras muestran que el reto del acceso a la energía no termina con la conexión. También implica garantizar energía suficiente, confiable y asequible, capaz de sostener servicios esenciales y actividades productivas y de promover el bienestar de toda la población.

En este contexto, las micro-redes son una alternativa relevante para dos tipos de comunidades. Por un lado, las aisladas, donde la extensión convencional de la red resulta técnica o económicamente compleja. Por otro, las conectadas cuyo suministro es deficiente, es decir, con interrupciones frecuentes, variaciones de tensión o capacidad insuficiente para sus usos domésticos y productivos. No obstante, su desarrollo requiere modelos acordes con el contexto socioterritorial, económico, institucional y productivo de cada territorio.

El marco jurídico de 2025 abre, por primera vez, la oportunidad de atender estos retos mediante micro-redes. La Ley del Sector Eléctrico y su Reglamento reconocen a los Pequeños Sistemas Eléctricos y, dentro de ellos, el régimen de micro-red, que opera con un permiso de autoconsumo aislado. Las disposiciones de autoconsumo de la Comisión Nacional de Energía añaden un esquema comunitario para estos sistemas y permiten que grupos de usuarias generen su propia energía en la modalidad interconectada. Este marco incorpora además el concepto de justicia energética, definido como el

conjunto de acciones encaminadas a reducir la pobreza energética y las desigualdades en el acceso a la energía.

Para ello, el documento vincula los niveles de acceso a la energía con decisiones de diseño, revisa las experiencias de Perú, Alemania y Estados Unidos, analiza el marco jurídico mexicano y, a partir de ello, propone tres modelos de desarrollo (público, comunitario y con organización ancla), que constituyen su aporte central. El documento no evalúa la viabilidad de proyectos específicos; su propósito es mostrar las alternativas que hoy existen para llevar energía a la población sin electricidad o con suministro deficiente, y las condiciones para que funcionen.

El principal hallazgo es que México no está limitado a una sola fórmula. El marco de 2025 no crea una única figura de micro-red, sino varias rutas legales que cambian según el tamaño del sistema, su relación con la red y quién presta el servicio. Esto abre opciones tanto para comunidades aisladas como para comunidades conectadas con un servicio deficiente, que podrían contar con una micro-red sin perder su contrato con la CFE.

Sobre esas rutas, el documento propone tres modelos de desarrollo, pensados para territorios distintos. En el modelo público, la CFE es propietaria de la micro-red y presta el servicio, con la posibilidad de que las autoridades fijen tarifas adecuadas a estos sistemas; es una opción para territorios con urgencia de acceso y baja capacidad de pago. En el modelo comunitario, la comunidad organizada es dueña del sistema y lo administra, una opción para territorios con tradición organizativa. En el modelo con organización ancla, una cooperativa u otra organización productiva local, cuya actividad da estabilidad a la demanda, invierte en la micro-red y presta el servicio a los hogares. Los tres pueden combinarse o evolucionar entre sí según las condiciones de cada territorio.

Para que estos modelos se conviertan en proyectos, la regulación todavía debe responder algunas preguntas. Por ejemplo: qué reglas aplican a las micro-redes más pequeñas, que no necesitan permiso; qué organizaciones pueden vender electricidad a los hogares; cómo se fijan las tarifas y ante quién pueden quejarse las usuarias; y si los recursos del Fondo de Servicio Universal Energético pueden financiar sistemas que no sean de la CFE. La mayoría puede resolverse sin reformar la ley. Por ello, el documento propone una agenda concreta para la SENER y la CNE, junto con recomendaciones para abrir el financiamiento público a micro-redes comunitarias y crear una figura que acompañe a las comunidades a lo largo de cada proyecto.




1.0

INTRODUCCIÓN

El acceso a la energía eléctrica es una condición material para el ejercicio de diversos derechos y para el bienestar de la población, la provisión de servicios básicos y el desarrollo de actividades productivas, y ocupa un lugar central en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 (CODHEM, 2025; Carmona Díaz de León, 2021; Naciones Unidas, 2023). En México, la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares indica que aún existen 107 mil viviendas sin energía eléctrica, equivalentes al 0.3 % del total y a cerca de 375 mil personas (INEGI, 2025). Aun si se alcanza la meta de 99.88 % de cobertura prevista en el Programa Prioritario de Obras de Justicia Energética 2025–2028 de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), alrededor de 161 mil personas seguirían sin electricidad, principalmente en territorios donde la extensión de la red convencional enfrenta barreras técnicas, económicas, geográficas o sociales (CFE, 2026).

Además, cobertura no es sinónimo de calidad ni de suficiencia. Según la Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental 2025, en Yucatán y Tabasco solo el 52.2 % y el 54.8 % de la población se declaró satisfecha con el servicio de energía eléctrica, frente a 74.5 % a nivel nacional, en buena medida por la frecuencia de los apagones y las variaciones de voltaje (INEGI, 2026). A ello se suma el peso del gasto energético. En 2024, los hogares del decil de menores ingresos destinaron 5.7 % de su gasto corriente a electricidad y combustibles, frente a 2.8 % en el decil de mayores ingresos (INEGI, 2025). Estas condiciones contribuyen a que cerca del 37 % de la población se encuentre en alguna situación de pobreza energética, con efectos en la habitabilidad y el confort térmico de las viviendas e impactos diferenciados para las mujeres en el uso del tiempo y las tareas de cuidado (García Bustamante, 2025; De Buen Rodríguez, Navarrete Barbosa y Hernández López, 2018; UN Women, 2026).

La política energética y el Plan Nacional de Desarrollo vigentes colocan la Justicia Energética y la reducción de brechas territoriales como ejes del sector eléctrico (Gobierno de México, 2025). La Ley del Sector Eléctrico define la justicia energética como las acciones o estrategias encaminadas a reducir la pobreza energética y las desigualdades sociales y de género en el uso de la energía, e impulsar el desarrollo regional mediante el acceso a energía confiable,

asequible, segura y limpia, con participación inclusiva de los pueblos originarios (DOF, 2025a, art. 3, fracc. XXVIII). Este enfoque se articula con instrumentos como el Fondo de Servicio Universal Energético, que financia acciones de cobertura eléctrica para las poblaciones con mayores rezagos (DOF, 2025a).

En este contexto, las micro-redes son una alternativa para garantizar o fortalecer el suministro a escala local, tanto en comunidades aisladas, donde la extensión de la red resulta técnica, económica o socialmente inviable, como en territorios con suministro deficiente (GIZ, 2025). Una micro-red integra generación, almacenamiento, distribución y gestión de la demanda en un ámbito geográfico definido y, cuando se basa en energías renovables, puede sustituir generación fósil local y fortalecer la resiliencia energética (World Bank et al., 2020). Se trata, sin embargo, de sistemas sociotécnicos, pues su éxito depende menos de la tecnología instalada que del modelo de desarrollo que la acompaña, es decir, de quién invierte, quién es propietario de la infraestructura, quién opera el sistema, cómo se recuperan los costos y cómo participan las personas usuarias (Sovacool et al., 2020; REN21 et al., 2014; World Bank et al., 2020).

En 2025, la Ley del Sector Eléctrico y su Reglamento reconocieron la figura de Pequeños Sistemas Eléctricos en régimen de micro-red, que abre la puerta a la participación de actores públicos, sociales, comunitarios y privados en la electrificación de poblaciones sin servicio o con suministro deficiente (DOF, 2025a, 2025b). Al tratarse de una figura nueva, sus posibilidades aún son poco conocidas. Este documento ofrece a tomadores de decisión, gobiernos subnacionales, organizaciones sociales y comunidades una visión exploratoria y propositiva de cómo pueden organizarse estos proyectos. No evalúa la viabilidad técnica o financiera de proyectos específicos ni pretende ser una guía de implementación.

El argumento central es que el marco jurídico de 2025, junto con la diversidad de contextos locales del país, permite desarrollar micro-redes bajo distintos modelos y no bajo una sola fórmula. Para mostrarlo, el documento propone tres modelos de desarrollo (público, comunitario y con organización ancla), que constituyen su principal aportación. Cada uno define quién es propietario de los activos, quién opera el sistema, cómo se financia y cómo se cobra el servicio, y cada uno responde a condiciones territoriales distintas. Estos modelos no se sustentan en una evaluación de viabilidad técnica o económica; su propósito es mostrar y difundir el abanico de alternativas que autoridades, comunidades, organizaciones y actores privados pueden considerar.

Al mismo tiempo, el análisis muestra que estas alternativas dependen de preguntas que el marco aún no responde. Por ejemplo: qué reglas aplican a las micro-redes más pequeñas, que no requieren permiso; qué tipo de organización puede vender electricidad a los hogares de una micro-red; cómo se fijan las tarifas y ante quién pueden quejarse las usuarias; y si los recursos públicos del Fondo de Servicio Universal Energético pueden financiar sistemas que no sean propiedad de la CFE. El documento identifica estos vacíos (sección 4.6) y propone cómo atenderlos, como condición para que los modelos puedan convertirse en proyectos.

2.0



MICRO-REDES Y NIVELES DE ACCESO A LA ENERGÍA

Las micro-redes, como cualquier sistema energético, son sistemas sociotécnicos, es decir, arreglos en los que infraestructura, tecnología, instituciones, prácticas sociales y formas de organización se configuran mutuamente (Sovacool et al., 2020). Desde una perspectiva técnica, una micro-red es un sistema eléctrico local integrado por cargas, micro-fuentes[1] y recursos distribuidos, con fronteras eléctricas claramente definidas, que se comporta como una sola entidad y puede operar conectado a la red o de manera aislada (Martínez-Vega et al., 2024).

En México, el Reglamento de la Ley del Sector Eléctrico (RLSE) considera Pequeño Sistema Eléctrico en régimen de micro-red al sistema que suministra una demanda no mayor a 5 MW; estos sistemas requieren permiso de generación en autoconsumo aislado, salvo que su capacidad de generación sea igual o menor a 0.7 MW (DOF, 2025b, arts. 171–172).

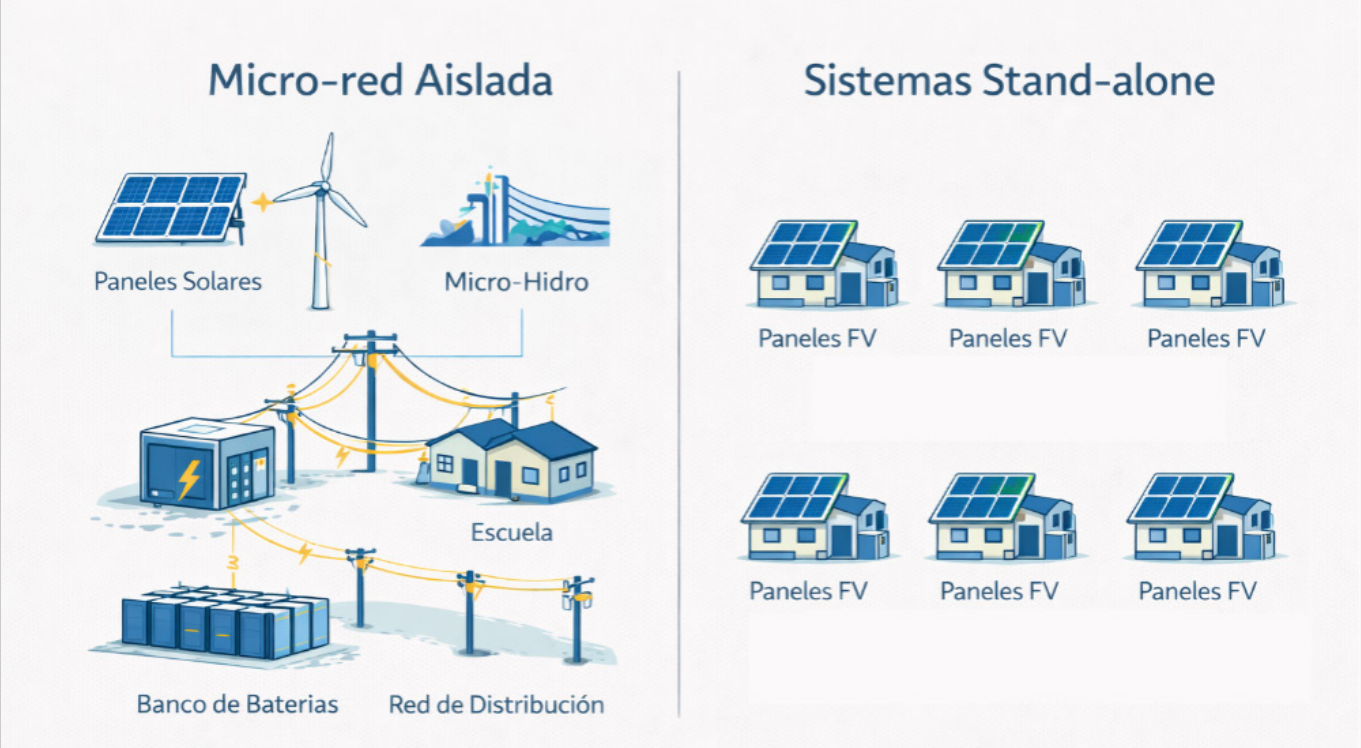
Una micro-red puede operar fuera de red (off-grid), pero no todo sistema fuera de red es una micro-red. Esta categoría incluye también sistemas autónomos individuales (stand-alone), orientados a atender una vivienda o instalación específica, mientras que la micro-red organiza generación, distribución y consumo dentro de un sistema colectivo, como se muestra en la Figura 2.1 (IRENA, 2015). Por ello, y para mantener coherencia con la normativa mexicana, este documento adopta el término micro-red.[2]



[1] Micro-fuente: unidad local de generación eléctrica de pequeña escala integrada a una micro-red, como un motogenerador de combustión interna, una microturbina o una celda de combustible (Nikkhajoei y Lasseter, 2009).

[2] Aunque IRENA distingue distintas clasificaciones para estos sistemas de acuerdo con su aplicación y capacidad instalada (donde se incluyen las mini redes -mini grids-), en este documento se utilizará únicamente el concepto de micro-red, donde se reconoce que un Pequeño Sistema Eléctrico en régimen de micro-red es aquel que suministra una demanda no mayor a 5 MW, cuenta con fronteras eléctricas claramente definidas y se comporta como una sola entidad (DOF, 2025b, art. 171).

Figura 2.1. Micro-red aislada y sistemas *stand-alone*



Fuente: Elaboración propia a partir de IEA (2023, p. 11)

2.1 La micro-red como sistema eléctrico colectivo

Esta característica colectiva permite atender cargas compartidas, servicios comunitarios y actividades económicas que requieren mayor capacidad, continuidad y calidad de suministro (ESMAP, 2022; UNIDO et al., 2020). Las micro-redes pueden integrar fuentes renovables, almacenamiento y sistemas de control que les permiten operar de forma autónoma y, en zonas remotas, pueden resultar más económicas que la extensión de la red (IRENA, 2019; World Bank et al., 2020). Su concepción también ha evolucionado de sistemas pequeños y aislados orientados a ampliar la cobertura, a micro-redes de tercera generación con medición inteligente, monitoreo remoto y nuevos modelos de negocio, y a una cuarta generación que las concibe como instrumentos para activar usos productivos[3] y cadenas de valor locales (ESMAP, 2022; UNIDO et al., 2020). A nivel mundial, forman parte de las soluciones para atender a las cerca de 660 millones de personas que, según las proyecciones, seguirían sin electricidad en 2030 (SEforALL y Mini-Grids Partnership, 2024).

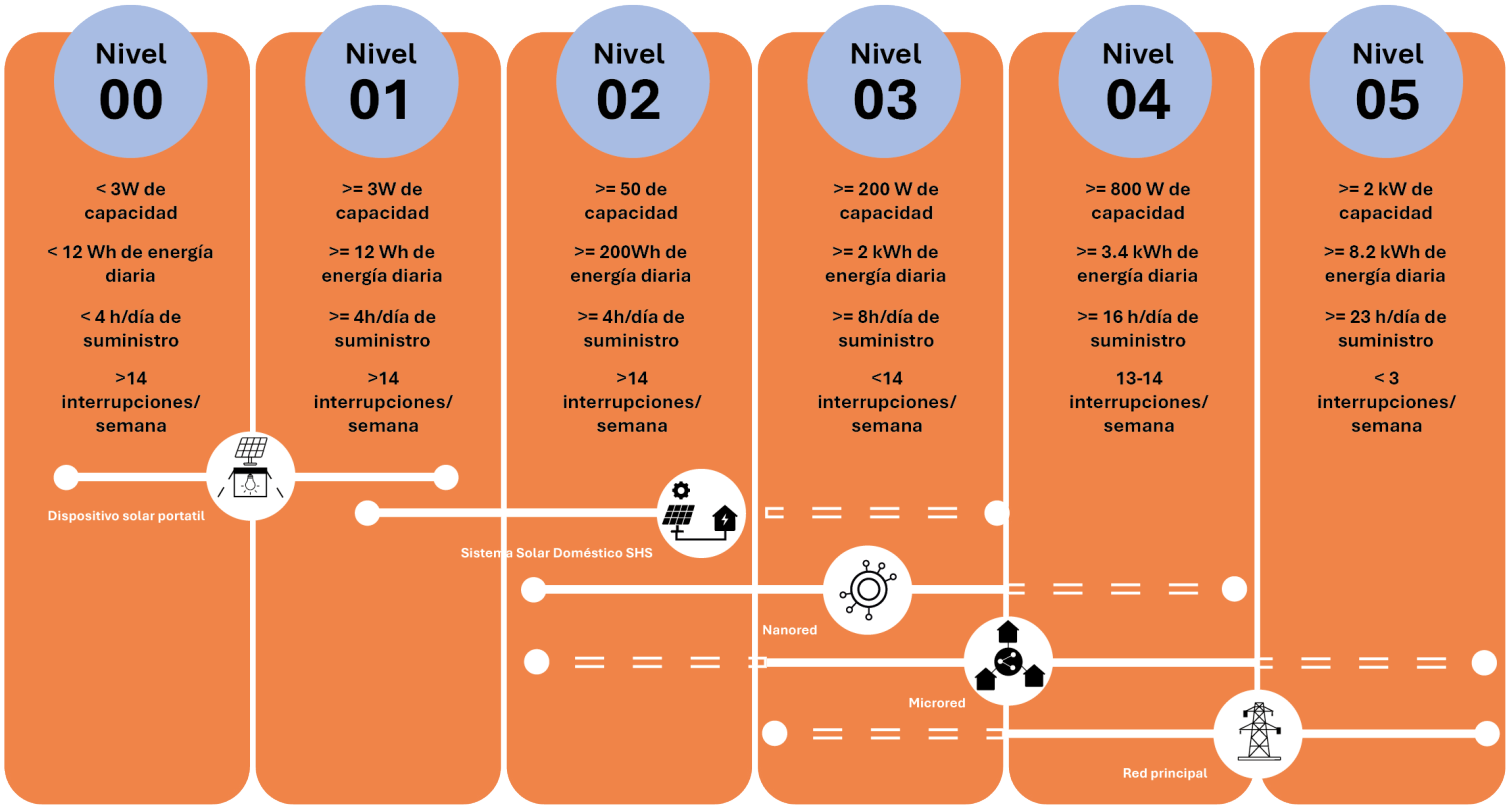
[3] Usos productivos de la energía: el acceso a la electricidad mejora la calidad de vida y puede generar ahorros en los hogares, pero no se traduce por sí mismo en mayores ingresos. Esto ocurre cuando la electricidad se emplea en actividades que agregan valor, como la soldadura, la refrigeración, la molienda o la carpintería, y que permiten ofrecer productos o servicios para su venta en la comunidad; a esto se le conoce como uso productivo de la energía (PUE, por sus siglas en inglés). La disponibilidad de equipos de corriente continua para buena parte de estos usos ha llevado a los desarrolladores de micro-redes a experimentar con nuevos modelos de negocio. No obstante, pasar de niveles bajos a niveles altos de consumo suele implicar costos adicionales (EnDev, 2021).

Su integración exitosa depende del contexto económico, político y social: políticas y marcos regulatorios adecuados, instituciones sólidas, modelos de prestación y financiamiento viables, tecnologías apropiadas y coordinación intersectorial (IRENA, 2018). En suma, las micro-redes deben entenderse como soluciones situadas, cuyo diseño debe responder al nivel de acceso requerido, a los usos domésticos, comunitarios y productivos, y a las condiciones que permitan sostener el servicio en el tiempo.

2.2 Niveles de acceso a la energía y decisiones de diseño

El acceso a la energía se expresa en la calidad del servicio que permite sostener actividades concretas. El Marco Multinivel para Medir el Acceso a la Energía (MTF) clasifica el suministro eléctrico en seis niveles, del 0 al 5, a partir de atributos como capacidad, disponibilidad, confiabilidad, calidad, asequibilidad, formalidad, salud y seguridad. Esta aproximación permite distinguir entre usos básicos, como iluminación o carga de teléfonos, y niveles de acceso capaces de sostener electrodomésticos, servicios comunitarios y actividades productivas (Angelou *et al.*, 2026).

Figura 2.2. Niveles de acceso a la energía (MTF)



Fuente de imagen: Elaboración propia con información de Angelou et al. (2026)

- **Nivel 0:** acceso nulo o insuficiente a electricidad.
- **Nivel 1:** suministro mínimo para iluminación básica y carga de teléfonos.
- **Nivel 2:** suministro para iluminación general, carga de teléfonos y aparatos de baja potencia, como radio, televisión o ventilador.
- **Nivel 3:** aplicaciones del nivel 2 y aparatos de potencia media, como refrigeración o bombeo.
- **Nivel 4:** aplicaciones del nivel 3 y aparatos de alta potencia, como lavadora, plancha u horno.
- **Nivel 5:** aplicaciones del nivel 4 y aparatos de muy alta potencia, como aire acondicionado o calefacción.

Esta clasificación orienta decisiones de diseño porque vincula el tipo de solución eléctrica con las necesidades energéticas del territorio. En específico, el marco multinivel (MTF) funciona como una referencia práctica para dimensionar la generación, el almacenamiento, la distribución, el control y el modelo de operación de una micro-red conforme al conjunto de servicios que se busca garantizar (Angelou et al., 2026). Los niveles 1 y 2 suelen atenderse de forma costo-efectiva con sistemas solares domésticos, que requieren menores inversiones que la red o las micro-redes (IEG, 2025). Las micro-redes, en cambio, resultan más adecuadas cuando se busca un servicio de nivel 3 en adelante, que exige mayor capacidad y continuidad, aunque los niveles más altos implican inversiones significativas que solo se sostienen si la demanda crece (ESMAP, 2022; IEG, 2025). De esta manera, la decisión tecnológica se vincula con los usos domésticos, comunitarios y productivos que la energía puede habilitar.

Para soluciones fuera de red, Energising Development (EnDev) distingue cuatro modalidades asociadas a distintos niveles de acceso: dispositivos solares portátiles, sistemas solares domésticos, nano-redes y micro-redes[4] (Tabla 2.1). Las dos primeras son sistemas autónomos, que pueden ser adquiridos por la persona beneficiaria o instalados por un operador que vende la electricidad como servicio; las dos últimas son soluciones colectivas. La distinción importa porque el tipo de propiedad, operación y cobro incide en la sostenibilidad financiera y en la calidad del acceso que puede mantenerse en el tiempo (EnDev, 2021).



[4] Para fines de este documento, el término “mini-red” (mini-grid) utilizado en EnDev (2021) y en múltiples documentos técnicos e informativos en inglés será el equivalente de “micro-red”.

Tabla 2.1. Tecnologías usadas en sistemas aislados

	Los dispositivos solares portátiles, también conocidos como picoPV, suelen tener capacidades entre 1 y 50 Wp y pueden proveer acceso en niveles 0 y 1.
	Los sistemas solares domésticos integran panel, batería y puntos de uso; su capacidad típica se ubica entre 20 y 800 Wp, aunque existen sistemas menores o mayores, y suelen proveer acceso en niveles 2 y 3. En aplicaciones institucionales o comerciales de mayor tamaño, como escuelas, centros de salud u otras instalaciones públicas, pueden alcanzar niveles 3 y 4.
	Las nano-redes se presentan generalmente como sistemas de corriente directa con capacidades entre 500 Wp y 10 kWp, orientados a comunidades pequeñas o a un número limitado de usuarios. Pueden cubrir niveles 2 y 3, incorporar algunos usos productivos y, en ciertos casos, alcanzar nivel 4 para un grupo reducido de personas usuarias.
	Las micro-redes, por su parte, abastecen a múltiples usuarios mediante una misma fuente o sistema de generación, comúnmente con corriente alterna. Su capacidad puede ir de 10–20 kWp hasta 1 MWp, y pueden proveer acceso en niveles 3, 4 e incluso 5, particularmente cuando incorporan cargas productivas como refrigeración, molienda, carpintería o trabajo metalmecánico.

Fuente: Elaboración propia con información de EnDev (2021)

Diseñar para niveles bajos puede resolver necesidades inmediatas, pero limita las oportunidades productivas. Los sistemas autónomos suelen ofrecer servicios de niveles 1 y 2, con menor capacidad y un suministro más variable, mientras que las micro-redes de tercera generación pueden ofrecer servicios de niveles 4 y 5, con disponibilidades cercanas al 97 %, superiores al 40–50 % que registran empresas eléctricas típicas en los países analizados por ESMAP (IEG, 2025; ESMAP, 2022). Planificar desde el inicio para niveles superiores implica mayores inversiones, pero habilita usos productivos que, a su vez, elevan la demanda y mejoran la viabilidad económica del sistema; por ello, se recomienda integrar equipos productivos desde la planeación (ESMAP, 2022).

En síntesis, el diseño de una micro-red responde a una necesidad material, se expresa en un nivel de acceso, requiere una configuración técnica específica y depende de condiciones financieras, regulatorias e institucionales para sostenerse. El siguiente capítulo revisa cómo distintos países han organizado esas condiciones.


3.0

EXPERIENCIA INTERNACIONAL: Arreglos Institucionales y Aprendizajes Para México

La experiencia internacional muestra que las micro-redes no se despliegan solo por la disponibilidad tecnológica, sino mediante arreglos institucionales que definen reglas, actores, responsabilidades, mecanismos económicos y formas de supervisión. Informes de la Red de Políticas de Energías Renovables para el Siglo XXI (REN21), la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés), la iniciativa Energía Sostenible para Todos (SEforALL, por sus siglas en inglés) y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO, por sus siglas en inglés) coinciden en que los marcos más efectivos permiten separar funciones (propiedad de activos, operación, suministro y regulación) y habilitar la participación de operadores privados, esquemas comunitarios y arreglos híbridos, manteniendo al Estado como garante de la calidad del servicio y del acceso universal (REN21 et al., 2014; IRENA, 2023; SEforALL y Mini-Grids Partnership, 2024; UNIDO et al., 2020). Este capítulo condensa los resultados de la revisión de tres experiencias distintas:

- Perú, con un modelo regulatorio de sistemas aislados, electrificación rural y compensación tarifaria;
- Alemania, con la incorporación de comunidades ciudadanas de energía en un mercado interconectado; y
- Estados Unidos, con programas federales de financiamiento y asistencia técnica para comunidades rurales y remotas.

Los casos no se asumen como modelos transferibles; su utilidad está en identificar instrumentos normativos, financieros y de gobernanza que pueden informar el caso mexicano. Los tres países se eligieron porque representan rutas institucionales distintas para habilitar soluciones descentralizadas, y la revisión se hizo sobre fuentes normativas primarias (leyes, reglamentos, disposiciones regulatorias y reglas de operación de programas) vigentes en 2026.

3.1 Tres experiencias de referencia

3.1.1 Perú

En Perú, el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) regula y supervisa las actividades eléctricas y sus tarifas. La Ley General de Electrificación Rural (Ley N° 28749) reconoce la electrificación de localidades aisladas como prioridad nacional, asigna al Estado un rol subsidiario y fomenta el uso de fuentes renovables (Osinergmin, 2015). Por su parte, la Ley N° 28832 creó el Mecanismo de Compensación para Sistemas Aislados, que equilibra las tarifas de estos sistemas con las del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional y permite licitaciones específicas para abastecerlos (Osinergmin, 2006). Su reglamentación define los criterios de cálculo y asignación de los subsidios. El caso muestra la importancia de reconocer jurídicamente los sistemas aislados, definir responsabilidades institucionales y contar con un mecanismo que haga asequible el servicio donde la red interconectada no llega. Para México, el caso de Perú sirve de base para el modelo público propuesto en el capítulo 5, en particular para la posibilidad de fijar tarifas específicas para los Pequeños Sistemas Eléctricos (DOF, 2025b, art. 169).

3.1.2 Alemania

Alemania cuenta con acceso universal a la electricidad (World Bank et al., 2026). Su relevancia para este análisis está en la forma en que ha incorporado la participación ciudadana en proyectos de energías renovables dentro de un mercado interconectado. La Ley de Energías Renovables (Erneuerbare Energien Gesetz, EEG), en su versión de 2023, reconoce a las comunidades ciudadanas de energía (Bürgerenergiegesellschaften) (BMWK, 2023). Se trata cooperativas u otras sociedades que cumplen requisitos de participación local, número mínimo de integrantes y límites a la concentración de derechos de voto. Estas comunidades acceden a condiciones diferenciadas, como la exención de licitación para proyectos eólicos terrestres de hasta 18 MW y solares de hasta 6 MW (art. 22b). El caso muestra que la promoción de comunidades energéticas no depende solo de incentivos económicos, sino de reglas claras de gobernanza, criterios de elegibilidad bien definidos y procedimientos diferenciados. Para México, este caso aporta criterios útiles para el modelo comunitario y para precisar qué organizaciones podrían considerarse una sola entidad legal.

3.1.3 Estados Unidos

En Estados Unidos no existe una legislación federal específica para la electrificación aislada con energías renovables. El apoyo se organiza mediante programas federales de financiamiento, préstamos y asistencia técnica, principalmente del Departamento de Agricultura (USDA) y del Departamento de Energía (DOE), como el Rural Energy for America Program y los programas de electrificación rural del Rural Utilities Service (USDA, 2023; USDA, 2026; USDOE, 2026). Estos programas priorizan proyectos en zonas rurales, remotas, costeras o insulares, así como en comunidades tribales o con alta dependencia de combustibles fósiles; admiten soluciones renovables, almacenamiento, micro-redes y sistemas fuera de red, y facilitan la participación de cooperativas eléctricas, municipios, organizaciones comunitarias, organizaciones sin fines de lucro y pequeñas empresas rurales, con requisitos de viabilidad técnica y financiera. El caso muestra que la electrificación descentralizada puede impulsarse mediante incentivos financieros y acompañamiento téc-

nico, siempre que existan criterios claros de elegibilidad e impacto territorial. Además, Puerto Rico cuenta con un reglamento específico para micro-redes renovables, híbridas y cooperativas (Reglamento 9028), el marco revisado más cercano a las micro-redes comunitarias mexicanas (NEPR, 2018). Para México, el caso estadounidense es la referencia más útil para el modelo con organización ancla y para el financiamiento de organizaciones locales.

La Tabla 3.1 resume los instrumentos de referencia de cada país, su base legal y su posible aporte al caso mexicano.

Tabla 3.1. Instrumentos de referencia en Perú, Alemania y Estados Unidos

Instrumento	Base legal	Qué hace	Aporte para el caso mexicano
Perú: Ley General de Electrificación Rural	Ley N.° 28749; Reglamento aprobado por D.S. N.° 018-2020-EM, modificado por D.S. N.° 003-2026-EM	Marco para la electrificación de zonas rurales, aisladas y de frontera; reconoce los Sistemas Eléctricos Rurales y asigna al Estado un rol subsidiario	Modelo público: responsabilidad estatal explícita en localidades aisladas
Perú: Mecanismo de Compensación para Sistemas Aislados	Ley N.° 28832; D.S. N.° 069-2006-EM; procedimientos de OSINERG-MIN	Compensa parte del diferencial entre los precios de los sistemas aislados y los del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional	Modelo público: referencia para tarifas específicas que eviten que las usuarias aisladas paguen más
Perú: Subasta RER para áreas no conectadas a red	D.L. N.° 1002; D.S. N.° 020-2013-EM, modificado por D.S. N.° 021-2016-EM; D.S. N.° 036-2014-EM	Adjudicación competitiva del suministro con instalaciones renovables autónomas; la primera subasta (2014) contempló contratos de 15 años y hasta 500 mil instalaciones	Modelos público y ancla: contratación de operadores por desempeño con remuneración regulada
Alemania: comunidades ciudadanas de energía	EEG 2023, art. 3, núm. 15	Define como comunidad ciudadana de energía a cooperativas u otras sociedades con al menos 50 personas físicas con voto, participación local y límites a la concentración de votos	Modelo comunitario: criterios para definir qué organización es comunitaria

(continuación de tabla)

Instrumento	Base legal	Qué hace	Aporte para el caso mexicano
Alemania: exención de licitación	EEG 2023, arts. 22 y 22b	Exime de licitación a proyectos ciudadanos eólicos terrestres de hasta 18 MW y solares de hasta 6 MW	Modelo comunitario: trato regulatorio diferenciado para proyectos comunitarios
EE. UU.: préstamos de electrificación rural del RUS	Rural Electrification Act of 1936, 7 U.S.C. §902(a) y §904(a)	Préstamos a cooperativas, municipios y entidades sin fines de lucro para generación, distribución y sistemas renovables, incluso permanentemente aislados	Modelos comunitario y ancla: financiamiento de largo plazo a organizaciones locales
EE. UU.: Powering Affordable Reliable Technology (PART)	IRA §22001; RE Act §317, 7 U.S.C. §940g; NOFO RUS-PART-2026	Programa de 2026, de unos USD 410 millones, con préstamos parcialmente condonables para micro-redes, distribución e interconexión, aisladas o interconectadas	Modelo ancla: financiamiento concesional para la red y la generación
EE. UU.: Rural Energy for America Program (REAP)	7 CFR Part 4280, Subparte B	Préstamos garantizados y subvenciones a productores agrícolas y pequeñas empresas rurales para energía renovable y eficiencia	Modelo ancla: financiamiento para la actividad productiva que aporta demanda estable
EE. UU.: Energy Transitions Initiative Partnership Project (ETIPP)	Departamento de Energía (DOE)	Asistencia técnica de laboratorios nacionales a comunidades costeras, remotas e insulares	Referencia para la figura de acompañamiento técnico
EE. UU. (Puerto Rico): Reglamento de micro-redes	Reglamento 9028, §§3.01 y 3.03–3.06	Regula micro-redes renovables, híbridas y cooperativas (hasta 250 kW y mayores), con registro y estándares del regulador	Marco más comparable para micro-redes comunitarias y para reglas de sistemas pequeños

Fuente: Elaboración propia con base en la normativa de Perú (MINEM y OSINERGMIN), la Ley de Energías Renovables de Alemania (EEG 2023), programas de USDA Rural Development y del U.S. Department of Energy, y el Reglamento 9028 de Puerto Rico.

3.2 Arreglos institucionales observados internacionalmente

Para fines de este documento, los arreglos institucionales son la estructura de leyes, normas, instituciones, programas y actores que permite organizar una intervención en el sector energético para un fin específico, incluidos los mecanismos de supervisión, financiamiento y ejecución (Vieira de Carvalho et al., 2016; Strumińska-Kutra et al., 2023). La Tabla 3.2 compara los tres casos en las dimensiones más relevantes para habilitar soluciones descentralizadas: reconocimiento jurídico y claridad de competencias, participación de actores territoriales, instrumentos económicos y coordinación institucional.

Tabla 3.2. Arreglos institucionales observados internacionalmente

Dimensión	Manifestación en los casos revisados	Relevancia para soluciones descentralizadas
Reconocimiento jurídico y claridad de competencias	En Perú, el marco reconoce sistemas aislados y electrificación rural como categorías diferenciadas. En Alemania, la figura relevante no es el sistema aislado, sino la comunidad ciudadana de energía. En Estados Unidos, no existe una definición federal única de micro-red o sistema aislado, pero los programas federales establecen criterios de elegibilidad territorial, tecnológica e institucional.	Permite definir qué tipo de proyectos pueden desarrollarse, bajo qué reglas operan, qué autoridades intervienen y qué responsabilidades asumen los actores públicos, privados y/o comunitarios.
Participación comunitaria y actores territoriales	Alemania incorpora formalmente a las comunidades ciudadanas de energía, incluidas cooperativas u otras sociedades con participación local. En Estados Unidos, la participación territorial aparece mediante cooperativas eléctricas rurales, gobiernos locales, tribus y organizaciones comunitarias. En Perú, la participación comunitaria no aparece como eje principal del marco revisado, aunque pueden intervenir actores locales, públicos o privados en la electrificación rural.	Ayuda a vincular los proyectos con necesidades territoriales concretas, promover su real adopción social y definir responsabilidades de operación, mantenimiento y gobernanza local.

(continuación de tabla)

Dimensión	Manifestación en los casos revisados	Relevancia para soluciones descentralizadas
Instrumentos económicos y sostenibilidad financiera	Perú utiliza un mecanismo de compensación tarifaria para sistemas aislados. Alemania establece reglas diferenciadas para ciertos proyectos ciudadanos de energías renovables. Estados Unidos habilita proyectos mediante subvenciones, préstamos, garantías, financiamiento y asistencia técnica, según el programa.	Permite atender los costos iniciales, los riesgos territoriales, la viabilidad de operación y la continuidad del servicio, especialmente en contextos donde el mercado por sí solo no garantiza el despliegue de soluciones descentralizadas.
Coordinación institucional y supervisión	En Perú, la regulación y supervisión se articula con OSINERGMIN y el marco de electrificación rural. En Alemania, intervienen autoridades regulatorias y operadores de red dentro de un mercado interconectado. En Estados Unidos, la coordinación ocurre entre agencias federales, como USDA y DOE, y actores locales elegibles.	Define cómo se implementan los proyectos, quién verifica condiciones técnicas o financieras, y cómo se articulan los distintos niveles de gobierno e instituciones involucradas.

Fuente: Elaboración propia con base en normativa peruana, Ley de Energías Renovables de Alemania y programas federales de Estados Unidos.

3.3 Aprendizajes relevantes para la lectura del caso mexicano

Los casos revisados no son directamente transferibles ya que toda política responde a condiciones institucionales, territoriales y sociales específicas, por lo que la transferencia de experiencias debe entenderse como un aprendizaje situado (Espinoza Prado, Gutiérrez Sánchez y Mena López, 2024). Con esa salvedad, se identifican tres aprendizajes para México.

El primer aprendizaje consiste en la importancia de la claridad jurídica y operativa. Para que las micro-redes puedan desplegarse con mayor certeza, es tan necesario reconocer la figura como precisar quién puede desarrollarlas, bajo qué condiciones operan, qué autoridad supervisa su funcionamiento y qué responsabilidades asumen los actores involucrados. Esta claridad también es relevante para reducir incertidumbre y facilitar la inversión.

Un segundo aprendizaje es la necesidad de instrumentos flexibles. En países con alta diversidad territorial, una sola ruta difícilmente responde a todas las realidades. Por ello, resulta pertinente pensar en arreglos diferenciados que compartan objetivos comunes como ampliar cobertura con

calidad y asequibilidad en el servicio, garantizar la sostenibilidad económica de los proyectos y aportar a la descarbonización del sector eléctrico.

Finalmente, la experiencia internacional muestra la importancia de la participación ciudadana. Las personas pueden integrarse bajo distintos esquemas como actores activos del ecosistema energético, trascendiendo el papel de consumidoras. Para ello, el Estado puede habilitar reglas, incentivos y beneficios que favorezcan la adopción social, la corresponsabilidad y el sentido de pertenencia en torno a las soluciones energéticas.




4.0
N5·30098

MARCO LEGAL MEXICANO: Posibilidades Actuales Para Implementar Micro-Redes Como Solución Territorial

Este capítulo revisa el marco mexicano vigente para identificar qué figuras jurídicas, instrumentos y mecanismos permiten hoy implementar micro-redes. Como resultado se distingue entre las figuras directamente aplicables, como los Pequeños Sistemas Eléctricos en régimen de micro-red, y los instrumentos relacionados, como la generación distribuida, el autoconsumo, la planeación sectorial y los fondos públicos, que no regulan las micro-redes, pero inciden en su viabilidad. El nuevo marco no asigna la operación de las micro-redes a un actor exclusivo pues la LSE y su Reglamento contemplan esquemas de colaboración, operación conjunta, gobernanza local y participación del sector social, en los que pueden intervenir comunidades, cooperativas, autoridades locales y otros actores (DOF, 2025a, 2025b).[1]

Esta apertura tiene un límite constitucional que se basa en que el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica corresponde exclusivamente a la Nación y en él no se otorgan concesiones (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2026, art. 27). Por ello, la participación de otros actores se articula a través de las Redes Particulares, que no forman parte de la Red Nacional de Transmisión (RNT) ni de las Redes Generales de Distribución (RGD) y cuya operación queda comprendida en el permiso de la central eléctrica a la que pertenecen (DOF, 2025a, art. 3, fracc. XLIII, y art. 58). Además, la LSE faculta a la Secretaría de Energía (SENER) para autorizar esquemas de colaboración entre los participantes del sector (art. 80), y el RLSE faculta a la SENER y a la Comisión Nacional de Energía (CNE) para definir esquemas de operación y gobernanza compartida (art. 174).

[1] Véase especialmente el Capítulo II de la Ley del Sector Eléctrico y artículos 174 y 175 del Reglamento de la Ley del Sector Eléctrico (DOF, 2025a, 2025b).

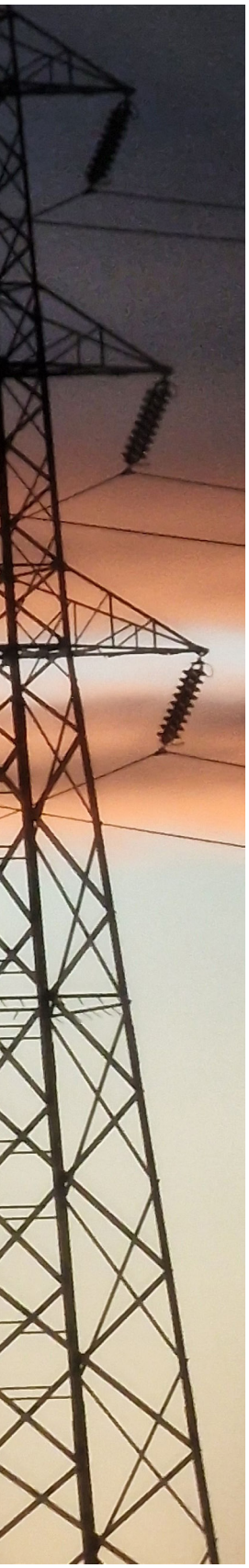
4.1 Antecedentes normativos y programáticos de la generación descentralizada y los sistemas aislados

La regulación eléctrica en México ha pasado de un esquema centralizado, con participación privada limitada a figuras de venta exclusiva al Estado, a un marco que reconoce de manera explícita modalidades de generación descentralizada, como la generación distribuida, el autoconsumo y los sistemas eléctricos aislados. La Tabla 4.1 ilustra esta evolución para los proyectos de generación a pequeña y mediana escala.

Tabla 4.1. Comparativo de figuras de generación en México, de 1975 a 2025

1975–2014	2014–2025	2025–Actualidad
Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica **Modelo:** Monopolio estatal verticalmente integrado, con participación privada en la generación **Base legal:** Arts. 1, 3 y 36 LSPEE (reformados en DOF 23-12-1992) **Figuras de generación no consideradas servicio público:** • Desde 1975: autoabastecimiento para usos propios y generación para emergencias. • Desde 1992: cogeneración, pequeña producción, producción independiente (venta exclusiva a la CFE), exportación e importación para usos propios.	**Ley de la Industria Eléctrica** **Modelo:** Generación y suministro mayorista, abiertos a libre competencia mediante el mercado eléctrico mayorista. Suministro regulado **Base legal:** Arts. 3, 4 y 12 LIE Reglamento: Arts. 3 y 16 (umbral ≥0.5 MW) **Figuras de generación:** • Generador • Generador Exento • Abasto aislado • Exportación **Generación Distribuida:** Permitida vía Generador Exento (<0.5 MW) Integración técnica a red	**Ley del Sector Eléctrico** **Modelo: Competencia regulada y planeación vinculante** **Base legal:** Arts. 2, 3, 17, 30–34 y 79–80 LSE **Reglamento:** Arts. 50–61 **Figuras de generación:** • Generación distribuida • Autoconsumo • Generación para MEM **Generación Distribuida (< 0.7 MW):** Reconocimiento formal en ley Venta de excedentes Procedimientos simplificados Integración a planeación **Autoconsumo** >0.7 MW Micro-red (≤ 5 MW), autoconsumo aislado. >0.7 MW y <20 MW. Trámite simplificado para autoconsumo interconectado. (RLSE art. 171) Pequeño Sistema Eléctrico (≤ 100 MW, LSE art. 79). Otras actividades Almacenamiento

Fuente: Elaboración propia.



En paralelo, la política de electrificación de comunidades sin acceso evolucionó por etapas. Primero predominó la extensión de redes y la instalación de sistemas fotovoltaicos aislados, mediante programas sectoriales, esquemas operados por la CFE y programas productivos rurales (DOF, 2009; CFE, 2022; SEMARNAT, 2017). Con la reforma de 2014 se creó el Fondo de Servicio Universal Eléctrico para financiar la electrificación de comunidades rurales y zonas marginadas mediante extensión de red y sistemas aislados (DOF, 2014)[2]; después se impulsó la generación distribuida como instrumento de eficiencia energética, mitigación y resiliencia, y, con las reformas de 2025, se reconoció la figura de micro-red.

Entre los antecedentes recientes destaca la iniciativa Ejido Solar, impulsada por Iniciativa Climática de México con apoyo del programa UK-PACT, que propuso que los ejidos instalaran en tierras de uso común sistemas fotovoltaicos de hasta 500 kW interconectados a la red, mediante un vehículo legal comunitario responsable de su construcción, operación y comercialización (Iniciativa Climática de México, 2026). El modelo se adaptó en Huachinera, Sonora, donde se instaló una planta de 499 kW en terrenos ejidales, la primera del Programa Social de Generación Solar Distribuida 2022-2027 en interconectarse a la red de la CFE (pv magazine México, 2023). Se trata de generación distribuida y no de una micro-red, pero es un antecedente relevante de propiedad social de la generación.

4.2 Figuras vigentes para generación local y distribuida

La **generación distribuida** corresponde a centrales eléctricas de pequeña escala, con capacidad menor a 0.7 MW, interconectadas a las Redes Generales de Distribución. Por su escala, esta figura queda exenta de permiso de generación y suele asociarse con sistemas instalados en viviendas, comercios, edificios públicos, unidades productivas o proyectos comunitarios conectados a la red. Su relevancia para este análisis radica en que ha abierto una ruta para la generación local y la participación de actores de menor escala dentro del sistema eléctrico, especialmente mediante tecnología fotovoltaica. Conviene precisar que las disposiciones de generación distribuida vigentes no contemplan esquemas colectivos o comunitarios en los que varias personas usuarias compartan una misma central, y que las nuevas disposiciones en la materia derivadas de la LSE aún no se han publicado. Para comunidades conectadas que quisieran generar de forma colectiva por debajo de 0.7 MW, este es, por tanto, un espacio regulatorio todavía abierto.

Por su parte, la LSE define el **autoconsumo** como la producción de una central eléctrica con capacidad igual o mayor a 0.7 MW, destinada a satisfacer las necesidades propias en sitio, en modalidad aislada o interconectada y preferentemente con energías renovables; en la modalidad interconectada, los proyectos de entre 0.7 y 20 MW pueden acceder a un trámite simplificado (DOF, 2025a, art. 30). En

[2] Con las reformas al marco legal de 2025 cambió su nombre a Fondo de Servicio Universal Energético

el autoconsumo aislado, la central eléctrica no puede interconectarse a la RNT ni a las RGD y toda su producción debe consumirse dentro de la Red Particular; sin embargo, los centros de consumo del grupo sí pueden conectarse a la red para comprar energía como usuarias de Suministro Básico, siempre que la central no inyecte energía a la red ni la Red Particular reciba energía de ella, y sin que el permiso deje de ser aislado (DOF, 2025a, arts. 31 y 34; DOF, 2025b, art. 56; DOF, 2025c, numeral 3.2). En el autoconsumo interconectado, la central puede inyectar excedentes, que solo pueden venderse a la Empresa Pública del Estado (DOF, 2025a, art. 32). Esta figura es central para las micro-redes, porque el Reglamento vincula su operación con la modalidad de autoconsumo aislado.

4.3 Régimen específico de Pequeños Sistemas Eléctricos y micro-redes

La LSE define a los Pequeños Sistemas Eléctricos como los que se utilizan para suministrar energía eléctrica al público en general, no se encuentran conectados de manera permanente a la RNT ni a las RGD y suministran una demanda no mayor a 100 MW (DOF, 2025a, art. 79). El Reglamento distingue dos escalas: los Pequeños Sistemas Eléctricos de 5 a 100 MW, cuya operación puede sujetarse a criterios especiales dentro de las Reglas del Mercado y a esquemas de colaboración autorizados por la SENER (art. 164), y los Pequeños Sistemas Eléctricos en régimen de micro-red, con demanda no mayor a 5 MW, fronteras eléctricas definidas y operación como una sola entidad técnica y operativa (art. 171). Esta caracterización es relevante porque la micro-red no se entiende únicamente como una instalación de generación, sino como un sistema eléctrico local que articula generación, redes internas, cargas, medición, control y, en su caso, almacenamiento (DOF, 2025b).

El régimen de permisos también introduce una diferencia práctica. Las micro-redes se vinculan con la modalidad de autoconsumo aislado y, por regla general, requieren permiso de generación. Sin embargo, aquellas cuya capacidad total de generación sea igual o menor a 0.7 MW quedan exentas de permiso. Este umbral conecta la regulación de micro-redes con la lógica de simplificación aplicable a proyectos de menor escala, aunque mantiene la obligación de cumplir las disposiciones técnicas y administrativas correspondientes (DOF, 2025b).

En materia de gobernanza, el Reglamento faculta a la Comisión Nacional de Energía, en coordinación con la Secretaría de Energía, para definir esquemas de operación conjunta, gobernanza local o participación del sector social. Esta disposición abre espacio para la participación de comunidades energéticas, cooperativas, autoridades locales y otros actores territoriales, siempre dentro de un marco regulado. La relevancia de esta previsión está en que permite vincular la operación de micro-redes con arreglos institucionales situados, capaces de responder a condiciones sociales, económicas y culturales específicas.

El régimen de suministro introduce otro elemento relevante. Cuando el servicio sea prestado por la Empresa Pública del Estado, puede vincularse con el suministro básico; cuando la micro-red opere como una sola entidad, el Reglamento contempla condiciones para la venta a terceros en los términos aplicables. Esta posibilidad requiere leerse junto con las disposiciones administrativas de autoconsumo, ya que ahí se precisan los requisitos de registro, integración del grupo, representación y operación aislada. Esta construcción tiene una tensión de origen dado que la LSE define a los Pequeños Sistemas Eléctricos por su función de suministrar energía al público en general (art. 79),

pero establece que el autoconsumo aislado no se considera Suministro Eléctrico (art. 31). El Reglamento resuelve operativamente esa tensión al canalizar las micro-redes por la vía del permiso de autoconsumo aislado y, al mismo tiempo, referirse a su servicio como Suministro Eléctrico (DOF, 2025b, arts. 171 y 175). A ello se suma que la propia LSE excluye de la actividad de comercialización la venta de energía de una usuaria final a un tercero cuando la energía se utiliza dentro de una Red Particular (DOF, 2025a, art. 61, fracc. I), lo que podría ofrecer una base de rango legal para la venta de energía dentro de una micro-red. La sección 4.6 retoma estas cuestiones.

4.4 Disposiciones administrativas aplicables

Las Disposiciones Administrativas de Carácter General para regular la figura de Autoconsumo de Energía Eléctrica constituyen el instrumento más directamente vinculado con las micro-redes. Estas disposiciones desarrollan el autoconsumo aislado e interconectado, regulan los grupos de autoconsumo y precisan la operación de Pequeños Sistemas Eléctricos en régimen de micro-red. En particular, contemplan el autoconsumo aislado en micro-redes comunitarias con capacidad mayor o igual a 0.7 MW y menor o igual a 5 MW, orientadas a satisfacer necesidades propias de un grupo de usuarias bajo reglas de registro, representación y operación aislada (DOF, 2025c).

En esta modalidad, la micro-red se estructura a partir de un Grupo de Autoconsumo, figura que permite integrar una central eléctrica, centros de consumo y usuarias de autoconsumo bajo un mismo arreglo operativo. La regulación prevé la existencia de un representante comunitario, responsable de realizar el registro ante la Comisión Nacional de Energía y de presentar información sobre la micro-red, sus integrantes, la posesión legal del sitio y los instrumentos comunitarios aplicables. Esta previsión vincula la dimensión técnica del sistema con una dimensión organizativa y territorial: la micro-red requiere infraestructura eléctrica, reglas internas, representación y trazabilidad institucional (DOF, 2025c).

Desde el punto de vista operativo, las micro-redes comunitarias se ubican dentro del autoconsumo aislado. La energía generada se orienta a satisfacer necesidades propias del grupo y la micro-red opera aislada del Sistema Eléctrico Nacional. Las disposiciones establecen expresamente que el esquema comunitario no puede interconectarse a la Red Nacional de Transmisión ni a las Redes Generales de Distribución, y sancionan la interconexión no autorizada (DOF, 2025c, numeral 3.6). Esta condición refuerza su utilidad en territorios con infraestructura limitada, condiciones geográficas complejas o necesidades específicas de suministro local. Al mismo tiempo, exige asegurar el equilibrio interno entre generación, demanda, respaldo, calidad, seguridad y mantenimiento (DOF, 2025c).

Tres precisiones de estas disposiciones son relevantes para los modelos que se exploran en el capítulo 5.

1. En el esquema comunitario los costos de gestión, instalación, operación y mantenimiento deben socializarse entre las personas beneficiarias mediante acuerdo comunitario previo, y el instrumento normativo de la comunidad debe establecer, entre otros elementos, las condi-

ciones del servicio, los montos y el desglose de costos, y los mecanismos de queja y solución de controversias (DOF, 2025c, numeral 3.6 y Anexo 2).

2. Fuera del esquema comunitario, la energía de una micro-red puede comercializarse a terceros siempre que el Grupo de Autoconsumo se constituya como una sola entidad legal (DOF, 2025c, numeral 3.5).
3. El objeto del permiso de autoconsumo se extingue si, durante doce meses continuos, la suma de la demanda máxima de las usuarias es menor al 30 % de la capacidad instalada cuando la fuente es renovable (50 % si es convencional), salvo que la CNE acepte una justificación técnica (DOF, 2025c, numeral 1.6).

Para comunidades que buscan operar interconectadas a la red, la ruta disponible no es el Pequeño Sistema Eléctrico en régimen de micro-red, sino el autoconsumo interconectado con un Grupo de Autoconsumo. Esta modalidad requiere estudios de interconexión, representación en el Mercado Eléctrico Mayorista y respaldo cuando la generación es intermitente. Los excedentes solo pueden venderse a la Empresa Pública del Estado, que decide qué cantidad acepta, y, en el caso de energías limpias, se pagan al menor valor entre el 90 % del costo nivelado de la última subasta de largo plazo y el 90 % del Precio Marginal Local (DOF, 2025a, art. 32; DOF, 2025c, numerales 4.1 a 4.6 y Anexo 1). Un permiso de autoconsumo aislado puede migrar a la modalidad interconectada mediante la modificación del permiso (DOF, 2025c, numeral 3.3), lo que permite concebir la interconexión como una etapa posterior en la evolución de una micro-red, aunque al hacerlo deje de ser un Pequeño Sistema Eléctrico.

Las disposiciones de generación distribuida, por su parte, ordenan contratos, contraprestaciones, procedimientos de interconexión y especificaciones técnicas de los proyectos de pequeña escala conectados a las RGD (CRE, 2017; DOF, 2025c). Su relación con las micro-redes es indirecta, pero relevante pues buena parte de los programas recientes de generación local con participación social o comunitaria se han estructurado bajo esta figura.

Finalmente, las disposiciones para la integración de Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica permiten que los sistemas asociados a centrales renovables de autoconsumo se integren como parte de las instalaciones de la central, siempre que se destinen a los fines propios del autoconsumo. Para las micro-redes, el almacenamiento es estratégico para integrar fuentes renovables variables, mejorar la continuidad del suministro y sostener la estabilidad en operación aislada (DOF, 2025a).

4.5 Instrumentos de planeación, programas y fondos

Además del marco regulatorio, la implementación de micro-redes depende de instrumentos de planeación, programas y fondos que orientan prioridades y asignan recursos. La Ley de Planeación y Transición Energética establece los principales instrumentos de planeación del sector, entre ellos el Programa Sectorial de Energía (PROSENER) y el Plan de Desarrollo del Sector Eléctrico (PLADESE), que organiza la planeación de la infraestructura eléctrica con un horizonte de quince años y debe ser considerado por las autoridades en el otorgamiento de permisos (DOF, 2025a).

El Programa Sectorial de Energía 2025–2030 establece como línea de acción alcanzar la cobertura universal del servicio eléctrico mediante conexión a las RGD y proyectos aislados de generación con energías renovables y micro-redes de distribución. También plantea aumentar la generación distribuida menor a 0.7 MW con procesos simplificados y atención prioritaria al sector social, e impulsar el autoconsumo de hasta 20 MW con permisos simplificados (SENER, 2025a). En esa línea, el programa Techos Solares para el Bienestar instala sistemas fotovoltaicos interconectados en viviendas de zonas con pobreza energética; es un instrumento de generación distribuida social y no de micro-redes, pero muestra una ruta pública de acción basada en subsidio y acompañamiento técnico (SENER, 2025b).

En materia de fondos, la Ley de Planeación y Transición Energética actualiza el antiguo Fondo de Servicio Universal Eléctrico como Fondo de Servicio Universal Energético. Este fondo tiene como finalidad financiar acciones de cobertura eléctrica para poblaciones sin acceso a electricidad, contribuir a la justicia energética y reducir la pobreza energética. Su objeto incluye la provisión de infraestructura de acceso eléctrico para personas usuarias domésticas sin servicio, así como equipos eficientes o que aprovechen energías renovables para necesidades energéticas básicas en comunidades rurales y zonas urbanas marginadas (DOF, 2025a).

El Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, que operará mediante reglas de operación y convocatorias, puede ser un instrumento potencial de apoyo, aunque no un mecanismo directo de financiamiento para micro-redes (DOF, 2025a).

4.6 Rutas regulatorias y vacíos por resolver

La revisión anterior muestra que el marco de 2025 no ofrece una sola figura de micro-red, sino un conjunto de rutas cuyas reglas cambian según el tamaño del sistema, su relación con la red de la CFE y quién presta el servicio. Esta sección ordena esas rutas según la condición de la comunidad y, después, identifica las ambigüedades y vacíos que la regulación deja abiertos. Estos vacíos no se resuelven con más investigación: requieren interpretación o desarrollo regulatorio por parte de la SENER o la CNE, por lo que se presentan junto con una propuesta de cómo podrían atenderse.

4.6.1 Rutas según la condición de la comunidad

La Tabla 4.2 resume las rutas que hoy ofrece el marco para comunidades sin servicio y para comunidades conectadas con suministro deficiente. Las dos primeras corresponden a Pequeños Sistemas Eléctricos en régimen de micro-red; la tercera es una variante comunitaria de la segunda; la cuarta combina la micro-red con la conexión individual de las viviendas a la red de la CFE; y las dos últimas son rutas interconectadas que no constituyen un Pequeño Sistema Eléctrico.



Tabla 4.2. Rutas regulatorias para micro-redes según la condición de la comunidad

Ruta	Situación típica	Figura y permiso	Venta o cobro a usuarias	Relación con la red de la CFE
1. Micro-red aislada de hasta 0.7 MW	Comunidad sin servicio con demanda pequeña	Pequeño Sistema Eléctrico en régimen de micro-red, exento de permiso (RLSE, art. 172)	Venta a terceros si se constituye como una sola entidad legal (RLSE, art. 175); reglas operativas no desarrolladas	Sin interconexión
2. Micro-red aislada de más de 0.7 y hasta 5 MW	Comunidad o grupo de localidades sin servicio	Pequeño Sistema Eléctrico en régimen de micro-red con permiso de autoconsumo aislado (RLSE, art. 171; DACG, num. 3.5)	Venta a terceros si el Grupo de Autoconsumo es una sola entidad legal (DACG, num. 3.5)	La central no se interconecta; los centros de consumo pueden conectarse como usuarias de Suministro Básico (DACG, num. 3.2)
3. Micro-red comunitaria de 0.7 a 5 MW	Comunidad organizada con instrumento normativo propio	Autoconsumo aislado en esquema comunitario; registro a cargo de un representante comunitario (DACG, num. 3.6)	Costos socializados entre beneficiarios mediante acuerdo comunitario	No puede interconectarse (DACG, num. 3.6); la conexión de centros de consumo no está regulada expresamente
4. Micro-red con respaldo de la CFE por vivienda	Comunidad conectada con suministro deficiente	Autoconsumo aislado (rutas 2 o 3); cada vivienda conserva su contrato de Suministro Básico (LSE, art. 34; RLSE, art. 56)	Según la ruta 2 o 3	Conexión de carga con transferencia automática o protección de potencia inversa; sin exportación
5. Grupo de autoconsumo interconectado de 0.7 MW o más	Comunidad conectada que busca generar y, en su caso, vender excedentes	Autoconsumo interconectado; trámite simplificado entre 0.7 y 20 MW (LSE, arts. 30 y 32; DACG, cap. IV)	Dentro de la Red Particular; excedentes solo a la CFE	Interconexión, estudios, representación en el MEM y respaldo de la generación intermitente
6. Generación distribuida de menos de 0.7 MW	Usuaria conectada individual	Generadora exenta interconectada (LSE, art. 25)	Venta a la CFE; sin esquema colectivo en las disposiciones vigentes	Interconectada

Fuente: Elaboración propia con información de DOF (2025a, 2025b, 2025c).

4.6.2 Ambigüedades y vacíos regulatorios

A partir de la lectura conjunta de la LSE, su Reglamento y las disposiciones de autoconsumo, se identifican los siguientes vacíos. Cada uno se acompaña de una propuesta para atenderlo.

1. **¿Qué reglas aplican a las micro-redes de hasta 0.7 MW?** El Reglamento exenta de permiso a las micro-redes cuya capacidad total de generación sea igual o menor a 0.7 MW (art. 172), pero la LSE define el autoconsumo a partir de 0.7 MW (art. 30), el esquema comunitario inicia en 0.7 MW y las obligaciones de registro de usuarias y de contrato de servicio están redactadas para una persona permisionaria (DACG, num. 3.6). Además, la LSE señala que las generadoras exentas solo pueden vender su energía a través de una suministradora o dedicarla a consumo propio (art. 24), lo que no es del todo compatible con la venta a terceros que prevé el artículo 175 del Reglamento. En consecuencia, para las micro-redes rurales de menor tamaño, que son probablemente las más comunes, no está claro quién registra a las usuarias, qué instrumento rige la relación con ellas ni qué protecciones tienen. Los umbrales también se traslapan en exactamente 0.7 MW. **Propuesta:** que la CNE emita reglas simplificadas para micro-redes exentas, con un registro básico de usuarias, un contenido mínimo del contrato o instrumento comunitario y derechos mínimos de las personas usuarias, sin exigir permiso de generación.

2. **¿La electricidad que entrega una micro-red es un servicio de suministro o una forma de autoconsumo?** La LSE define a los Pequeños Sistemas Eléctricos por su función de suministro al público en general (art. 79) y reserva su control operativo al CENACE (art. 81), mientras que el Reglamento sujeta a las micro-redes a un permiso de autoconsumo aislado, figura que la ley declara que no es Suministro Eléctrico (art. 31). No está claro, por tanto, si a una micro-red le aplican las obligaciones propias del suministro (protección a usuarias, condiciones generales del servicio, atención de quejas) o solo las del autoconsumo, ni qué papel tendría el CENACE. **Propuesta:** que la SENER y la CNE, en ejercicio de sus facultades de interpretación y de la habilitación del artículo 174 del Reglamento, emitan disposiciones específicas para los Pequeños Sistemas Eléctricos en régimen de micro-red que definan su régimen de servicio.

3. **¿Qué organizaciones pueden vender electricidad a los hogares de una micro-red?** La posibilidad de vender energía a terceros dentro de una micro-red depende de que el sistema o el Grupo de Autoconsumo se constituya como una sola entidad legal, pero ninguna disposición define qué figuras jurídicas cumplen ese requisito ni si las personas usuarias deben formar parte de la entidad (RLSE, art. 175; DACG, num. 3.5). De ello depende, por ejemplo, que una organización externa pueda operar una micro-red y cobrar por el servicio a hogares que no son socios. **Propuesta:** que la CNE precise qué figuras cumplen el requisito (cooperativas, asociaciones civiles, sociedades de producción rural, núcleos agrarios, sociedades mercantiles con participación de las usuarias, entre otras) y en qué condiciones.

4. **¿Cómo se mide el tamaño de una micro-red y qué régimen aplica a los sistemas aislados de más de 5 MW?** El Reglamento clasifica las micro-redes por demanda, no mayor a 5 MW (art. 171), y los Pequeños Sistemas Eléctricos a partir de 5 MW (art. 164), con lo que ambos se traslapan en ese valor; la exención de permiso se mide por capacidad de generación (art. 172) y el esquema comunitario por capacidad instalada (DACG, num. 3.6). En sistemas con generación fotovoltaica, almacenamiento y respaldo, estas métricas pueden diferir de forma importante, y no está claro si la capacidad del almacenamiento se suma. Tampoco se resuelve qué régimen, autoconsumo o Pequeño Sistema Eléctrico, aplica a un grupo de autoconsumo aislado de más de 5 MW que abastece a una población. **Propuesta:** unificar criterios, por ejemplo, usar la demanda máxima para clasificar el sistema y la capacidad instalada de generación, sin almacenamiento, para determinar el permiso, y aclarar la frontera entre autoconsumo aislado y Pequeño Sistema Eléctrico.

5. **¿Puede una micro-red perder su permiso por tener poca demanda en relación con su capacidad instalada?** El objeto del permiso de autoconsumo se extingue si la demanda máxima de las usuarias es menor al 30 % de la capacidad instalada renovable durante doce meses continuos (DACG, num. 1.6). En micro-redes aisladas es frecuente que la capacidad instalada total, que suma generación fotovoltaica y respaldo, sea varias veces la demanda máxima, sobre todo en los primeros años, cuando la demanda aún no madura. El riesgo aumenta en la ruta 4, si las viviendas se apoyan en la conexión con la CFE y reducen su consumo de la micro-red. **Propuesta:** un criterio diferenciado para micro-redes, que considere un periodo de maduración de la demanda o que mida la utilización respecto de la capacidad firme y no de la capacidad instalada total.

6. **¿Cómo se fijan las tarifas y ante quién pueden quejarse las usuarias?** Para el esquema comunitario, las disposiciones solo exigen socializar los costos mediante acuerdo comunitario y transparentarlos en el instrumento normativo; para la venta a terceros no existe ninguna regla tarifaria; y si presta el servicio la Empresa Pública del Estado, aplica la tarifa de Suministro Básico. No hay una metodología de referencia ni un mecanismo de queja ante la autoridad para usuarias de micro-redes que no sean de la CFE, aun cuando su tarifa pueda ser mayor que la tarifa subsidiada de sus vecinos conectados a la red. El Reglamento faculta a la SENER y a la CNE para establecer tarifas aplicables a los Pequeños Sistemas Eléctricos (art. 169), pero esa facultad no se ha ejercido y no queda claro si alcanza a las micro-redes, que se regulan en una sección posterior. **Propuesta:** lineamientos mínimos de tarifas para micro-redes (principios de recuperación de costos, transparencia y asequibilidad), un mecanismo de queja ante la CNE y la valoración de un apoyo del Fondo de Servicio Universal Energético para cubrir la diferencia respecto de la tarifa de Suministro Básico.

7. **¿Con qué permiso y bajo qué reglas podría la CFE operar una micro-red?** El Reglamento prevé que el servicio en una micro-red pueda ser Suministro Básico cuando lo presta la Empresa Pública del Estado (art. 175), pero también sujeta toda micro-red a un permiso de au-

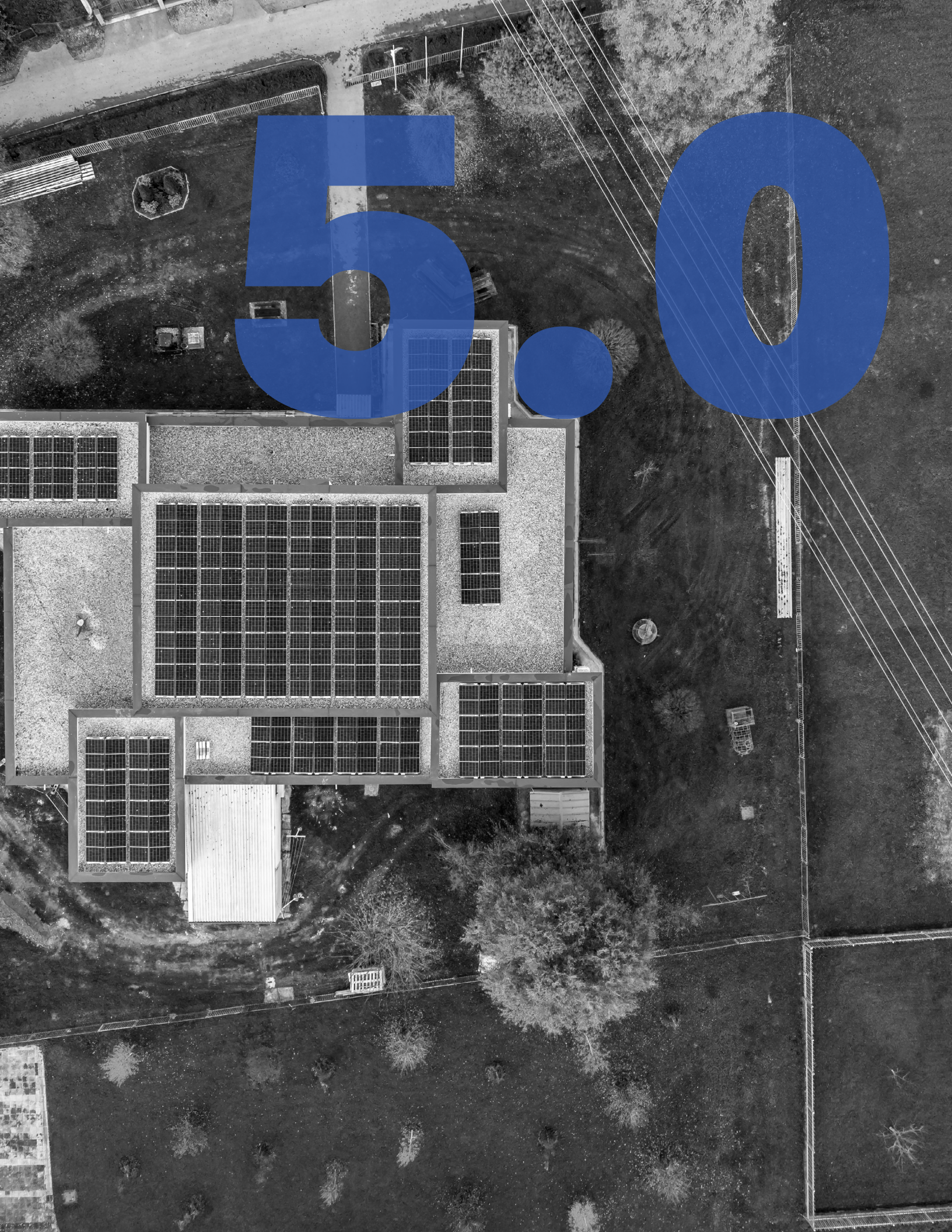
toconsumo aislado (art. 171). No está definido con qué permiso, bajo qué régimen tarifario ni con qué esquema de colaboración operaría la CFE una micro-red. **Propuesta:** que la SENER autorice, con base en el artículo 80 de la LSE y el 174 del Reglamento, un esquema tipo de colaboración para micro-redes operadas por la CFE o en coordinación con ella.

8. **¿Pueden las viviendas de una micro-red comunitaria conservar su contrato con la CFE?** Las disposiciones permiten que los centros de consumo de un autoconsumo aislado se conecten a la red sin que el permiso cambie de modalidad (num. 3.2), pero también establecen que el esquema comunitario no puede interconectarse (num. 3.6). La distinción entre interconexión de la central y conexión de la carga permite leer ambas reglas de forma compatible, pero no se explicita para el esquema comunitario. **Propuesta:** que la CNE aclare expresamente que las viviendas de una micro-red comunitaria pueden conservar su contrato con la CFE, con las protecciones técnicas correspondientes.

9. **¿Puede el Fondo de Servicio Universal Energético financiar micro-redes que no sean propiedad de la CFE?** El Reglamento remite a las reglas de operación que emita la SENER para definir la asignación de recursos del Fondo (art. 43). De su contenido depende, entre otras cosas, que el Fondo pueda financiar activos que no sean propiedad de la Empresa Pública del Estado y, por tanto, que los modelos comunitarios y con organización ancla puedan acceder a él. **Propuesta:** que las reglas de operación reconozcan expresamente a las micro-redes comunitarias y de organizaciones sin fines de lucro como proyectos elegibles, con criterios de desempeño y de transferencia de activos.

10. **¿Pueden las comunidades conectadas generar electricidad de forma colectiva por debajo de 0.7 MW?** Por debajo de 0.7 MW, la única ruta interconectada es la generación distribuida, cuyas disposiciones vigentes no contemplan esquemas colectivos o comunitarios. **Propuesta:** que las nuevas disposiciones de generación distribuida incorporen un esquema de generación colectiva para comunidades conectadas.

Estas ambigüedades no impiden explorar los modelos de desarrollo que se presentan en el capítulo siguiente, pero sí condicionan su alcance. Por ello, cada modelo se describe indicando la ruta regulatoria en que se apoya y los vacíos de los que depende.



5.0

MODELOS DE DESARROLLO PARA MICRO-REDES EN COMUNIDADES AISLADAS Y CONECTADAS

Como se ha señalado en este documento, el marco regulatorio de 2025 abrió rutas legales para desarrollar micro-redes, tanto en territorios donde la extensión de la red no es técnica o económicamente viable como en comunidades conectadas cuyo suministro es deficiente (sección 4.6). Más allá de su configuración tecnológica, que estas rutas se traduzcan en proyectos depende de modelos de desarrollo que definan quién es propietario de los activos, quién opera el sistema, cómo se financia la inversión, cómo se cobra el servicio y cómo se supervisa. A partir de la experiencia internacional revisada en el capítulo 3 y del marco jurídico analizado en el capítulo 4, este capítulo explora tres modelos de desarrollo (público, comunitario y con organización ancla) que podrían implementarse en México. Son tipologías conocidas en la literatura internacional; lo que aporta este capítulo es su lectura a la luz del marco mexicano, señalando en qué figura jurídica se apoya cada una, qué variantes admite y de qué vacíos regulatorios depende.

Los modelos no deben entenderse como categorías cerradas ni como rutas únicas, sino como arreglos de desarrollo que pueden combinarse o adaptarse según las condiciones territoriales, la capacidad institucional, la estructura de la demanda, el financiamiento disponible y el grado de organización social. Su utilidad es ordenar opciones e identificar responsabilidades, riesgos y condiciones mínimas. Tampoco constituyen una evaluación de viabilidad: no se estiman costos ni tarifas, una tarea que requiere casos específicos y que se plantea como siguiente paso. En los tres modelos la participación comunitaria es transversal, aunque con distinta intensidad: desde mecanismos de vigilancia en el modelo público hasta la propiedad colectiva en el comunitario o la participación en la gobernanza en el modelo con organización ancla.

Para cada modelo se indica la ruta regulatoria en que se apoya (Tabla 4.2), con su variante aislada y, cuando aplica, su variante interconectada. La distinción importa porque cambia la figura jurídica: una micro-red aislada es un Pequeño Sistema Eléctrico, mientras que un sistema interconectado opera como autoconsumo interconectado, con reglas distintas de permiso, venta de excedentes y relación con la CFE. La Tabla 5.1, al final del capítulo, resume esta lectura.

5.1 Modelo público

En este modelo, la propiedad de los activos recae en una entidad pública (en la propuesta que aquí se explora, la CFE) y la operación puede ser pública o delegada. Su objetivo es garantizar la cobertura universal en comunidades donde la interconexión no es viable y la rentabilidad privada es baja; en la experiencia internacional, estos sistemas suelen financiarse con recursos presupuestales o fondos de electrificación rural y se rigen por criterios de equidad y continuidad del servicio (World Bank et al., 2020; SENER, 2024). El propósito no es solo instalar infraestructura, sino asegurar la adopción social de sistemas técnicamente seguros, confiables y con servicio de calidad.

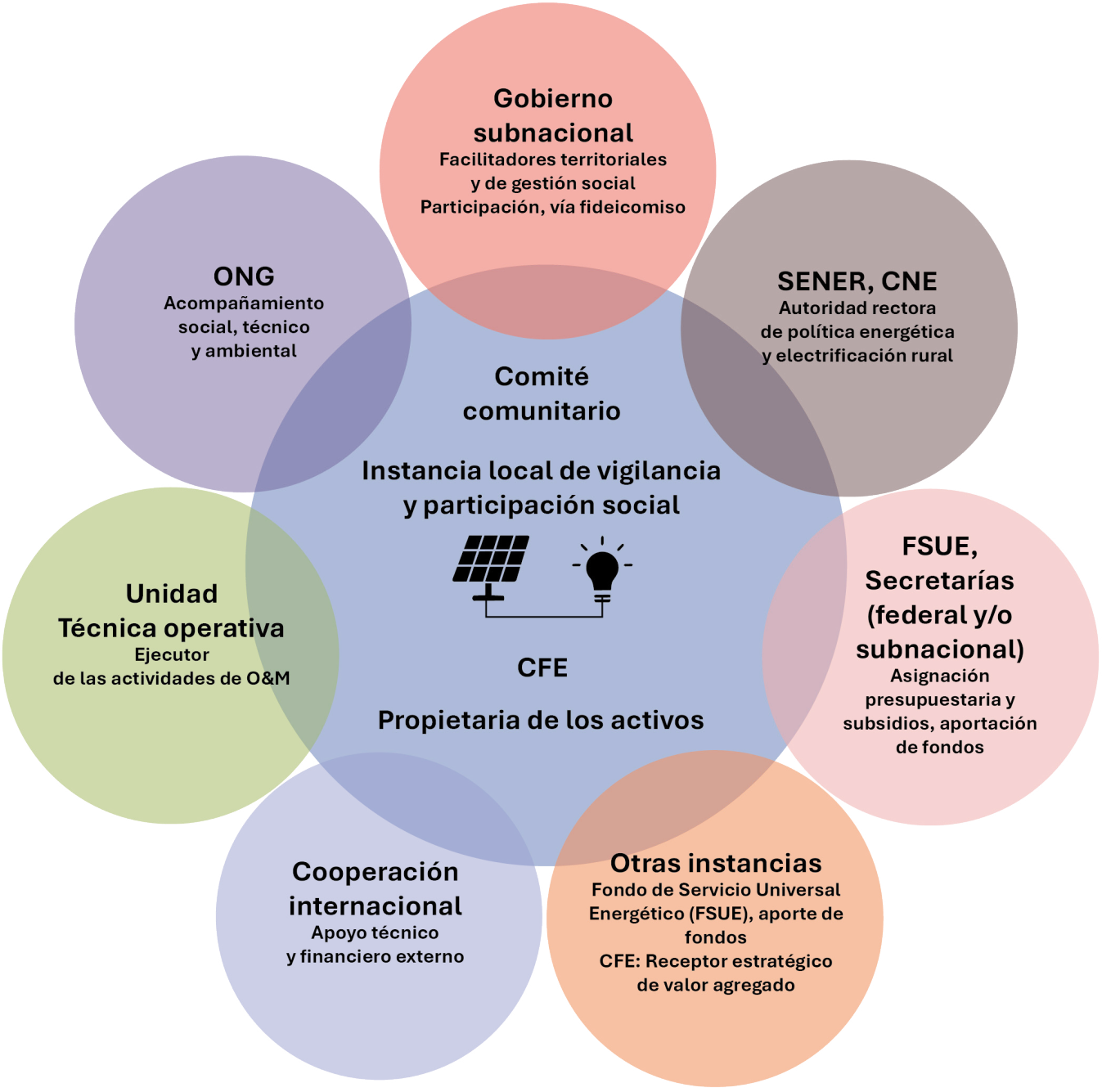
> **Ruta regulatoria.** El Reglamento prevé expresamente que el servicio en una micro-red pueda ser Suministro Básico cuando lo presta la Empresa Pública del Estado, y faculta a la CNE y a la SENER para definir esquemas de operación conjunta entre la CFE, las autoridades locales y actores técnicos o comunitarios (DOF, 2025b, art. 174 y art. 175). Esta es la base del modelo, y de ella se derivan dos consecuencias. Primera, en principio las personas usuarias pagarían la tarifa de Suministro Básico que determina la autoridad, con el subsidio que corresponda. Sin embargo, el Reglamento faculta a la SENER y a la CNE para establecer tarifas aplicables específicas para los Pequeños Sistemas Eléctricos, junto con criterios de justicia energética y metodologías de costos, lo que abre la posibilidad de esquemas tarifarios adaptados a las micro-redes. Segunda, el modelo aplica principalmente a micro-redes aisladas en comunidades sin servicio (rutas 1,2 y 4 de la Tabla 4.2) (DOF, 2025b, art. 169).

Como se señaló en la sección 4.6.2, no está definido con qué permiso, bajo qué régimen ni con qué esquema de colaboración operaría la CFE una micro-red, de modo que este modelo depende de que la SENER y la CNE lo precisen.

5.1.1 Estructura del modelo público

La Figura 5.1 ilustra la estructura del modelo. En el centro está la CFE como propietaria de la generación, el almacenamiento y la red, lo que mantiene en el Estado la titularidad de los activos y la responsabilidad estratégica del sistema. La operación y el mantenimiento los realiza una unidad técnica especializada o, en ciertos contextos, un esquema comunitario, mientras que un comité comunitario actúa como instancia de vigilancia y canalización de controversias. Alrededor se ubican la SENER y la CNE como autoridades rectoras, los gobiernos subnacionales en la gestión territorial, y las ONG y la cooperación internacional como acompañantes.

Figura 5.1. Modelo de desarrollo de micro-red pública



Fuente: Elaboración propia

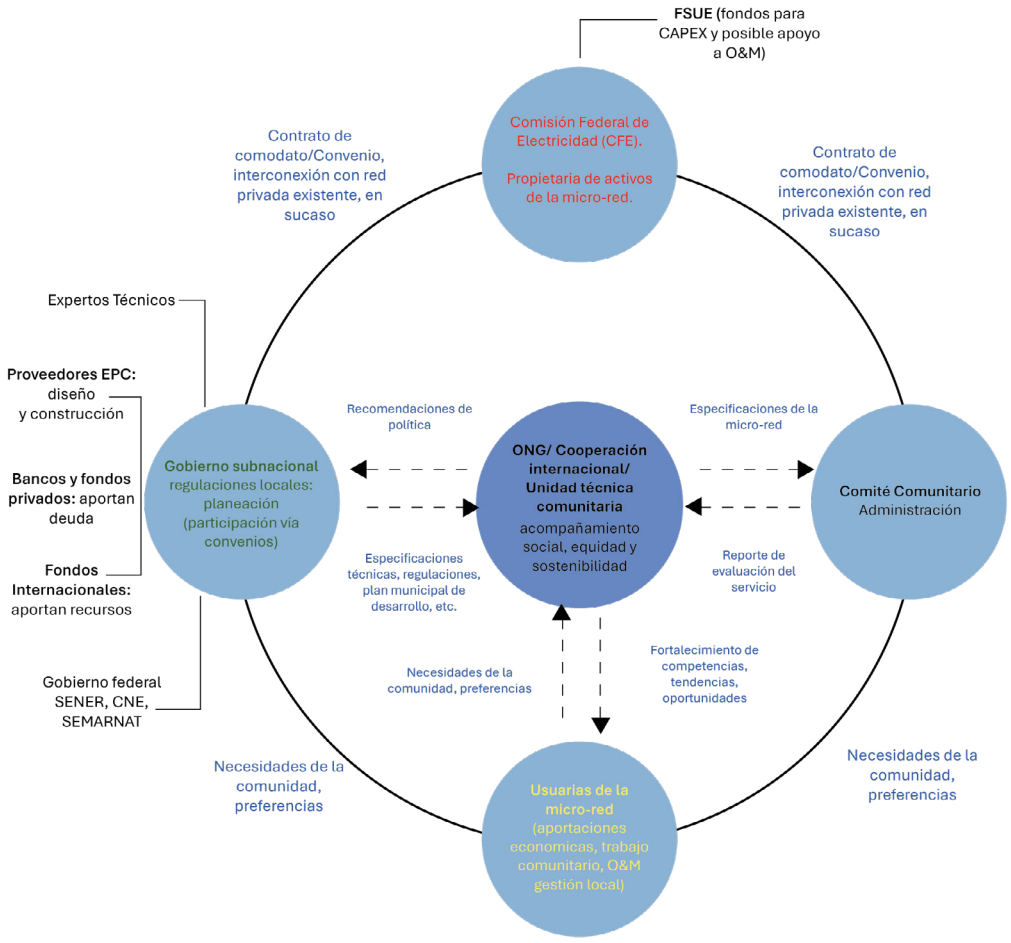
El financiamiento proviene principalmente de recursos públicos, particularmente de instrumentos orientados al acceso universal a la electricidad (FSUE), y puede complementarse con cooperación internacional. Dado el perfil socioeconómico de las comunidades objetivo, el esquema no depende de la recuperación total de la inversión mediante tarifas, sino que reconoce el acceso a la energía como un componente de política pública vinculado al desarrollo social y la justicia energética. El alcance de este financiamiento dependerá de las reglas de operación del Fondo.

5.1.2 Arquitectura relacional del modelo público

La Figura 5.2 muestra la arquitectura de interacciones del modelo, con una gobernanza multinivel. La CFE formaliza su relación con el territorio mediante contratos de comodato sobre los terrenos o convenios con autoridades locales y comunitarias, mientras que el gobierno subnacional coordina la planeación local. En el centro del esquema, la unidad comunitaria, las ONG y la cooperación internacional fortalecen capacidades y reducen asimetrías de información. Las personas usuarias aparecen no solo como beneficiarias, sino como actores corresponsables, cuyas necesidades y preferencias retroalimentan el diseño y la operación del sistema.



Figura 5.2. Arquitectura relacional del modelo público



Ejemplo: Mpanta, Zambia

- Modelo: Propiedad pública de infraestructura con administración, operación y mantenimiento comunitarios.
- Propiedad: Rural Electrification Authority (REA), organismo público de electrificación rural de Zambia.
- Operación: Mpanta Multi-Purpose Cooperative Society Limited, mediante un convenio de colaboración suscrito con REA.
- Administración económica: Cooperativa Kafta, responsable de la gestión del servicio, la recaudación de pagos y la administración de los recursos operativos.
- Participación local: Los usuarios participan como miembros de la cooperativa, con representación mediante un consejo directivo elegido por la comunidad.
- Financiamiento inicial: Recursos públicos y cooperación internacional, con participación de UNIDO, GEF y el Gobierno de Zambia.
- Sostenibilidad financiera: Cobro de tarifas reguladas, complementado con ingresos de actividades productivas.
- Configuración: Microred fotovoltaica aislada de 60 kW, con almacenamiento mediante baterías y distribución local. Atiende viviendas, establecimientos comerciales, una escuela, un centro de salud y actividades productivas.
- Regulación: Energy Regulation Board (ERB), autoridad reguladora responsable de las licencias y tarifas eléctricas.

Fuente: Elaboración propia

5.1.2.1 Tarifa de Suministro Básico y apoyos públicos

En esta modalidad, la micro-red opera bajo un esquema de tarifas por el servicio[1], en el cual CFE actúa como proveedora del servicio eléctrico y mantiene la responsabilidad sobre la infraestructura. Las personas usuarias no adquieren los activos y pagan por el servicio recibido. Dado que la CFE prestaría Suministro Básico, ese pago correspondería a la tarifa de Suministro Básico aplicable, no a una cuota fijada localmente.

Esto tiene una implicación relevante. Como punto de partida, las personas usuarias accederían a la misma tarifa, y al mismo subsidio, que el resto de las usuarias domésticas del país. El Reglamento abre, además, una vía para ir más allá pues señala que la SENER y la CNE pueden establecer tarifas específicas para los Pequeños Sistemas Eléctricos (DOF, 2025b, art. 169). Con base en esa facultad podrían diseñarse esquemas más adecuados a las condiciones de las comunidades aisladas, como cuotas fijas mensuales, prepago o cuotas por nivel de servicio, con el criterio de que ninguna usuaria pague más de lo que pagaría con la tarifa doméstica subsidiada. La diferencia entre el costo de suministrar energía con una micro-red y lo que pagan las usuarias se absorbería en el costo del servicio de la CFE y, en su caso, en los apoyos públicos. Los gobiernos subnacionales pueden contribuir a la inversión, a la gestión territorial o a programas complementarios mediante convenios.

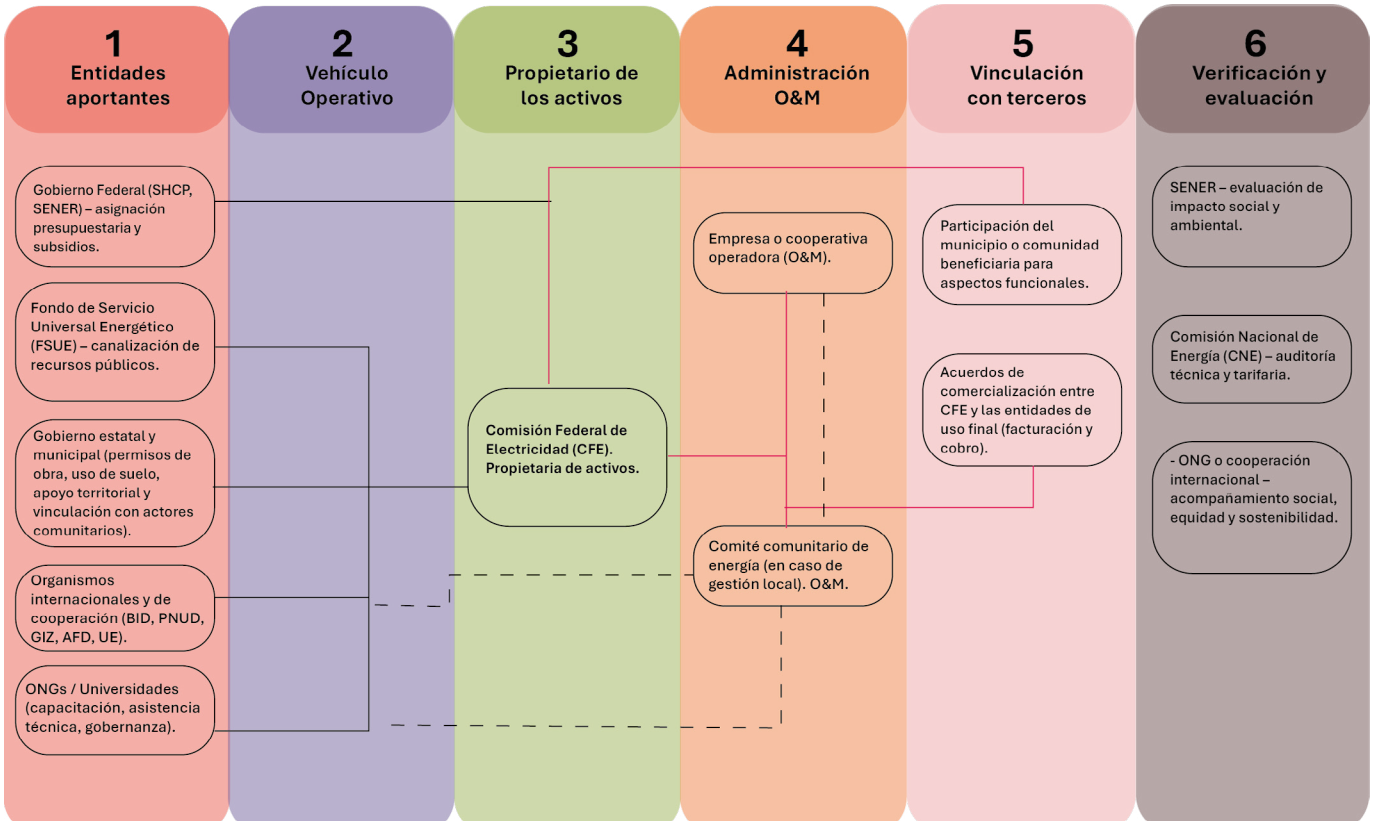
Por su parte, el FSUE puede participar como fuente de recursos financieros, ya sea para la inversión inicial o, si sus reglas de operación lo permiten, para cubrir parte de los costos de operación y reposición de equipos. De este modo, se preserva la asequibilidad del servicio sin trasladar el costo total a la comunidad.

5.1.3 Esquema de gobernanza del modelo público

La Figura 5.3 muestra la secuencia institucional del modelo. El Gobierno Federal, el FSUE, los gobiernos estatales y municipales y la cooperación internacional aportan recursos; la CFE, como propietaria, concentra la responsabilidad patrimonial y estratégica; la operación recae en una empresa especializada o en un comité comunitario de energía, y la relación con las usuarias se formaliza mediante contratos de Suministro Básico. La SENER da seguimiento a los objetivos de Justicia Energética y al uso del Fondo, y la CNE supervisa el cumplimiento técnico y regulatorio. La gobernanza descansa así en una separación clara entre financiamiento, propiedad, operación, regulación y control.

[1] El modelo fee-for-service se basa en un esquema donde la entidad responsable del sistema —que puede ser pública, privada o mixta— mantiene la propiedad de los activos de la micro-red y presta el servicio eléctrico a las personas usuarias a cambio de una tarifa periódica. En este arreglo, las usuarias y usuarios no adquieren la infraestructura, sino que pagan por el servicio recibido, generalmente bajo un esquema mensual o por consumo.

Figura 5.3. Esquema de gobernanza, modelo de desarrollo público



Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Lienzo Canvas correspondiente al modelo público

La Figura 5.4 presenta el lienzo Canvas del modelo, una primera aproximación a su propuesta de valor. Sus segmentos son principalmente hogares rurales, pero también servicios públicos (escuelas, clínicas y oficinas municipales) y pequeñas actividades productivas, con limitada capacidad de pago y alto valor social del servicio. La propuesta central es garantizar acceso universal a energía confiable y limpia, con tarifas sociales reguladas, participación local, empleo comunitario y reducción del uso de combustibles fósiles.

Figura 5.4. Lienzo Canvas para el modelo de desarrollo público



Fuente: Elaboración propia

Este modelo resulta especialmente pertinente en territorios con alta necesidad de acceso, baja capacidad de pago y limitada rentabilidad privada. Su principal fortaleza es que permite alinear la electrificación con objetivos de política pública, cobertura universal y justicia energética. Sin embargo, su sostenibilidad depende de la disponibilidad de recursos públicos, de la continuidad institucional y de la existencia de capacidades técnicas para operación, mantenimiento y reposición de equipos. Por ello, aun cuando la propiedad sea pública, el modelo requiere mecanismos claros de seguimiento territorial, corresponsabilidad comunitaria y previsión financiera de largo plazo.

5.2 Modelo comunitario

Bajo este modelo, la comunidad organizada (a través de una cooperativa, comité de energía o figura similar) es propietaria de los activos de generación, almacenamiento y de la Red Particular. En este esquema, la comunidad no solo es beneficiaria del servicio eléctrico, sino también titular de la infraestructura, responsable de su operación y receptora directa de los beneficios económicos y sociales derivados del proyecto. Este modelo se orienta a contextos donde existe cohesión social, capacidades organizativas mínimas y potencial para integrar usos productivos de la energía. La micro-red se concibe como un activo colectivo que fortalece la autonomía energética, la resiliencia local y el desarrollo territorial.

En el caso de las localidades rurales del país, la comunidad organizada puede ser el propio ejido o la comunidad agraria. Los núcleos agrarios tienen personalidad jurídica y patrimonio propio, y su asamblea puede aprobar el uso de las tierras de uso común para el proyecto, mediante contratos de hasta 30 años prorrogables, o aportarlas a una sociedad en la que participen el ejido o los ejidatarios, como una cooperativa de energía (Ley Agraria, arts. 9, 23, 45 y 75). El acta de asamblea y el reglamento interno podrían servir, además, como base del instrumento normativo comunitario que exige el registro ante la CNE. Sin embargo, no todas las personas que habitan un ejido son ejidatarias, por lo que el modelo debe prever mecanismos para que avecindados, mujeres y jóvenes sin derechos agrarios participen en las decisiones sobre el servicio, como un comité de usuarias con voz en la definición de tarifas y en la supervisión del sistema.

> **Ruta regulatoria.** En su variante aislada, el modelo corresponde al esquema comunitario de autoconsumo aislado en régimen de micro-red (rutas 1 y 3 de la Tabla 4.2), que consiste en sistemas de 0.7 a 5 MW, registrados ante la CNE por un representante comunitario, con un instrumento normativo de la comunidad y costos socializados entre las personas beneficiarias (DOF, 2025c, numeral 3.6). Por debajo de 0.7 MW, el sistema queda exento de permiso, aunque sin reglas operativas específicas (sección 4.6.2). La micro-red no puede interconectarse a la red, pero las viviendas podrían conservar su contrato con la CFE como respaldo, con las protecciones técnicas correspondientes (ruta 4), si la CNE confirma esta interpretación. Esto haría el modelo aplicable también a comunidades conectadas con suministro deficiente.

En su variante interconectada, la comunidad no opera un Pequeño Sistema Eléctrico, sino un Grupo de Autoconsumo con permiso de autoconsumo interconectado (ruta 5), lo que solo es posi-

ble a partir de 0.7 MW. Esta variante permite comprar faltantes y vender excedentes a la CFE, pero exige estudios de interconexión, representación en el Mercado Eléctrico Mayorista y respaldo para la generación intermitente, y queda fuera del esquema comunitario de la DACG. Una micro-red comunitaria aislada podría migrar a esta variante si la red llega a la comunidad, mediante la modificación de su permiso (DOF, 2025c, numeral 3.3).

5.2.1 Estructura del modelo comunitario

La Figura 5.5 ilustra la estructura del modelo. La comunidad organizada, usualmente mediante una cooperativa o comité de energía legalmente constituido, ocupa el centro como propietaria de la generación, el almacenamiento y la Red Particular. Ante la CNE actúa a través de un representante comunitario, que realiza el registro y acredita la posesión legal del predio, la residencia de las beneficiarias, el uso de suelo y el instrumento normativo comunitario (DOF, 2025c, numeral 3.6 y Anexo 2). El resto de los actores, incluida la CFE, aparecen como acompañantes o proveedores de servicios: la operación puede estar a cargo de una unidad técnica comunitaria o de una empresa contratada por desempeño, pero la responsabilidad última permanece en la comunidad.

Figura 5.5. Modelo de desarrollo de micro-red comunitaria



Fuente: Elaboración propia

Un elemento central del modelo es la gobernanza democrática. Las decisiones estratégicas (incluyendo tarifas internas, reinversión de remanentes económicos y expansión del sistema) se adoptan bajo el principio de "un socio, un voto". Esto fortalece la transparencia, la apropiación social y la corresponsabilidad. La CNE otorga el permiso o recibe el registro y supervisa el cumplimiento normativo y técnico; la SENER define la política y los esquemas de colaboración aplicables. En el esquema comunitario, la regulación exige además que los costos se socialicen entre las personas beneficiarias mediante acuerdo comunitario previo y que el instrumento normativo transparente montos, condiciones del servicio y mecanismos de queja; las tarifas internas son la forma de instrumentar esa socialización. Los gobiernos estatales y municipales apoyan en permisos territoriales, derechos de vía y articulación con planes de desarrollo local.

Por otro lado, el financiamiento puede provenir de aportaciones comunitarias, subsidios del FSUE para CAPEX y apoyo inicial a O&M (si sus reglas de operación admiten activos que no sean de la CFE), créditos, banca de desarrollo o cooperación internacional. A diferencia del modelo público, la sostenibilidad operativa descansa principalmente en ingresos internos y aportaciones comunitarias. En la variante interconectada podría sumarse la venta de excedentes a la CFE, aunque, como se explica en la sección 5.2.2.1, se trata de un ingreso marginal y condicionado.

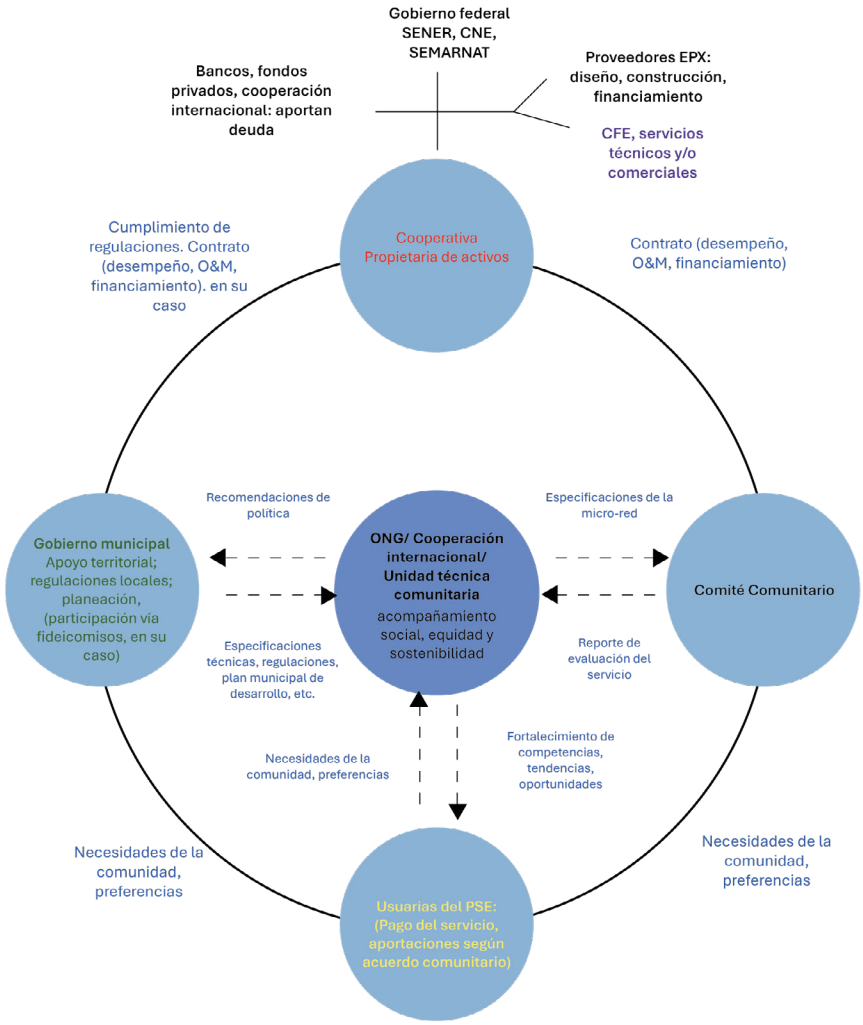
5.2.2 Arquitectura relacional del modelo comunitario

La Figura 5.6 muestra la arquitectura de interacciones del modelo. La cooperativa o comité de energía se relaciona con la CFE, que puede prestar servicios técnicos y, en la variante interconectada, comprar excedentes y suministrar faltantes (en la variante aislada, mantiene el Suministro Básico de las viviendas que conserven su conexión); con la SENER y la CNE como autoridades; con el FSUE y las secretarías como posibles aportantes; con el gobierno local, y con proveedores y contratistas (EPC[2], O&M[3] y logística), aseguradoras, entidades financieras, ONG y cooperación internacional. Las personas usuarias pagan tarifas internas definidas por la gobernanza comunitaria, conforme al acuerdo de socialización de costos, y participan en la supervisión del sistema.



[2] EPC corresponde a *Engineering, Procurement and Construction*; en español, ingeniería, procura y construcción.
[3] O&M corresponde a *Operation and Maintenance*; en español, operación y mantenimiento.

Figura 5.6. Arquitectura relacional del modelo comunitario



Ejemplo: Micro-red Adjuntas, Puerto Rico

- Modelo: Asociación comunitaria propietaria.
- Propiedad: ACESA, organización local sin fines de lucro, propietaria de la micro-red.
- Operación: ACESA.
- Administración económica: Asociación comunitaria.
- Participación local: Participación en decisiones y administración.
- Financiamiento inicial: Filantropía y donaciones.
- Sostenibilidad financiera: Cobro a participantes y reinversión.
- Configuración: Interconectada con capacidad de operación aislada.
- Investigación tecnológica: DOE y ORNL. Financiamiento público y desarrollo de herramientas de control.
- Regulación: Negociado de Energía de Puerto Rico, marco regulatorio del sector eléctrico.

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.1 Gestión y aprovechamiento de excedentes en el modelo comunitario

En esta modalidad, la micro-red debe distinguir entre operación aislada y operación interconectada. Cuando el proyecto se configure como autoconsumo aislado, los excedentes de generación deben gestionarse dentro del propio sistema mediante almacenamiento, control de carga, ajuste operativo o usos productivos adicionales. En este caso, la lógica principal no es la venta de energía, sino el equilibrio interno entre generación, demanda y respaldo.

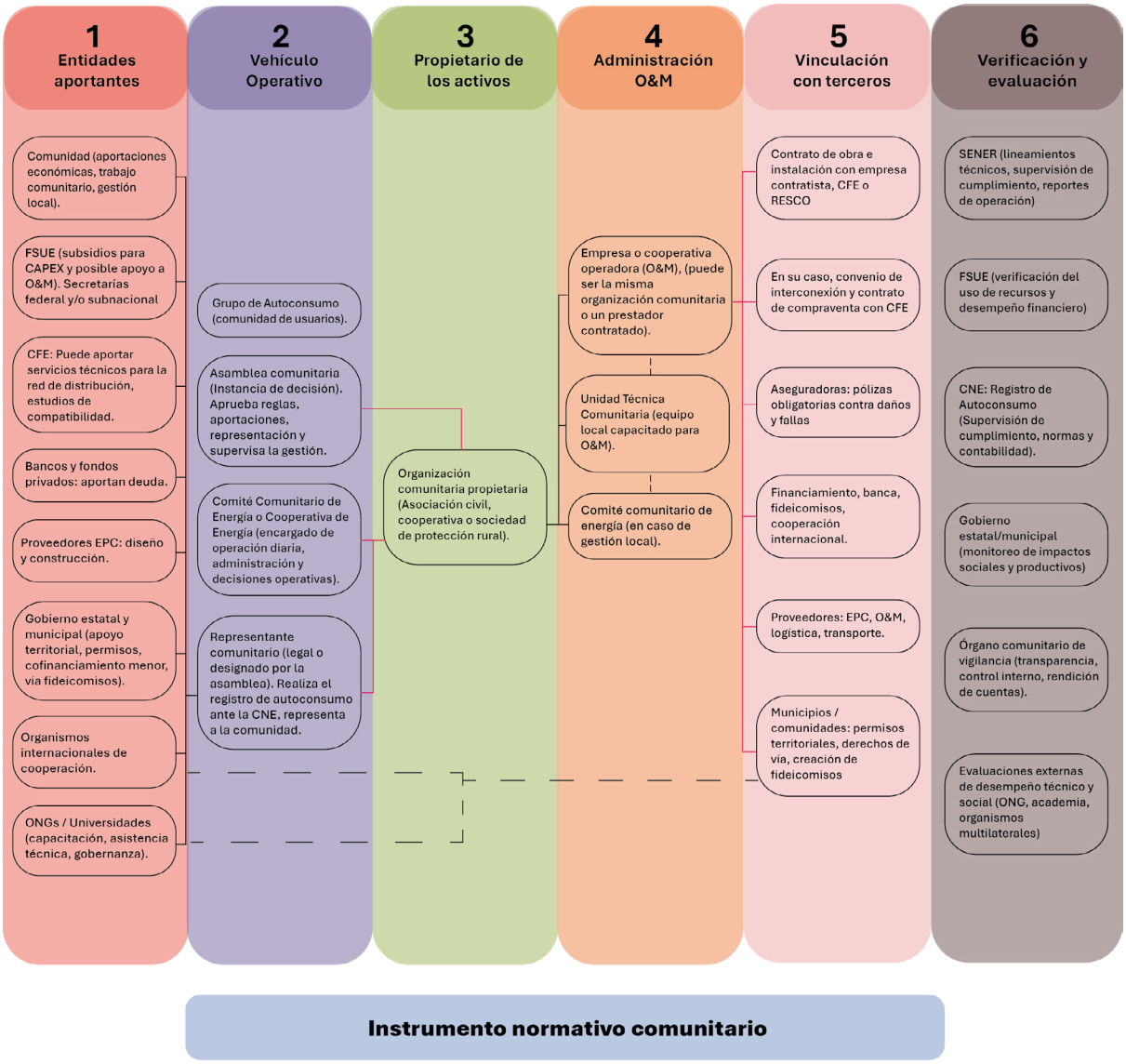
Cuando el proyecto opere bajo autoconsumo interconectado, la LSE permite que los excedentes sean inyectados al Sistema Eléctrico Nacional sin contraprestación o que sean objeto de venta, siempre que se cumplan tres condiciones: contar con permiso de generación y contrato de interconexión vigentes; vender los excedentes de energía eléctrica y productos asociados de manera exclusiva a la Empresa Pública del Estado, quien tiene la potestad de adquirirlos mediante contratos; y, tratándose de generación intermitente que inyecte energía, contar con respaldo propio mediante sistemas de almacenamiento de energía eléctrica o pagar dicho respaldo a la Empresa Pública del Estado (DOF, 2025a, art. 32). En ese caso, el sistema deja de ser un Pequeño Sistema Eléctrico y sale del esquema comunitario de la DACG. Además, la CFE decide qué cantidad de excedentes acepta y, tratándose de energías limpias, los paga al menor valor entre el 90 % del costo nivelado de la última subasta de largo plazo y el 90 % del Precio Marginal Local (DOF, 2025c, Anexo 1). Dado que la última subasta de largo plazo se celebró en 2017, con precios históricamente bajos, el ingreso esperado por esta vía es reducido (Academia de Contratación Pública de México, 2017).

Las tarifas internas se definen bajo principios de equidad y reinversión social. Los remanentes, ya sea de las aportaciones internas o, en la variante interconectada, de la venta de excedentes, podrían destinarse a fondos de mantenimiento y de reposición de activos, a la reducción de tarifas o a proyectos productivos comunitarios.

5.2.3 Esquema de gobernanza del modelo comunitario

La Figura 5.7 muestra el esquema de gobernanza del modelo. Las entidades aportantes incluyen a la propia comunidad (capital social, trabajo y gestión), el FSUE, los gobiernos federal y subnacional, la banca y la cooperación internacional, cuyos recursos se canalizan hacia la cooperativa o comité como vehículo operativo. La administración y la operación pueden recaer en una unidad técnica comunitaria, una empresa bajo contrato de desempeño o un esquema híbrido, y la vinculación con terceros incluye contratos EPC, seguros, financiamiento y, en la variante interconectada, contratos con la CFE. La verificación corresponde a la SENER y la CNE, al FSUE en el uso de recursos públicos, al gobierno local, a un órgano comunitario de vigilancia y, en su caso, a evaluadores externos.

Figura 5.7. Esquema de gobernanza del modelo de desarrollo comunitario



Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Lienzo Canvas del modelo comunitario

La Figura 5.8 presenta el lienzo Canvas del modelo, orientado a socios cooperativistas consumidores de energía: hogares, pequeños negocios, cooperativas productivas e instituciones locales. La propuesta de valor se centra en la autonomía energética, el ahorro y la reinversión comunitaria, la resiliencia y la integración de usos productivos. Los ingresos provienen de tarifas internas, servicios productivos asociados a la energía, posibles programas públicos y, solo en la variante interconectada, la venta de excedentes a la CFE mediante el contrato regulado; los costos incluyen CAPEX compartido, OPEX cubierto por tarifas internas y costos administrativos de la cooperativa.

Figura 5.8. Lienzo Canvas del modelo de desarrollo comunitario



Fuente: Elaboración propia

Este modelo resulta más adecuado cuando existe organización social previa, legitimidad comunitaria y capacidad para sostener reglas internas de decisión, pago, mantenimiento y rendición de cuentas. Su principal fortaleza es la apropiación local del sistema y la reinversión de beneficios en la comunidad, y puede evolucionar hacia la variante interconectada si la red llega, aunque con ello deje de ser un Pequeño Sistema Eléctrico. Su principal desafío es la carga organizativa de administrar infraestructura crítica, resolver conflictos internos y garantizar continuidad técnica; por ello, el acompañamiento técnico, jurídico y administrativo es una condición relevante para evitar sobrecarga o abandono operativo.

5.3 Modelo de desarrollo con organización ancla

En este modelo de desarrollo, una organización con capacidad técnica, financiera u organizativa (denominada organización ancla) asume la inversión principal, la propiedad de los activos y la operación de la micro-red, y su propia demanda, asociada a una actividad productiva o a un servicio, da estabilidad al consumo del sistema. El modelo admite dos variantes según quién sea el ancla: una entidad productiva originada en la propia comunidad (cooperativa, sociedad de producción rural o empresa social), de la que las personas usuarias pueden formar parte, o un actor externo (agroindustria, empresa o institución pública) que presta el servicio a hogares que no forman parte de él. Como se explica más adelante, la primera variante es la que tiene una base jurídica más clara y es en la que se centra este documento.

La organización ancla puede constituir un vehículo de propósito específico (SPV, por sus siglas en inglés) para gestionar financiamiento, contratos y riesgos. A diferencia del modelo comunitario, la propiedad y la operación recaen en una organización con actividad económica propia, y no en el conjunto de la comunidad usuaria; a diferencia del modelo público, la inversión recae principalmente en el actor ancla y no en el Estado.

> **Ruta regulatoria.** El modelo se apoya en la posibilidad de vender energía a terceros dentro de una micro-red, siempre que el sistema o el Grupo de Autoconsumo se constituya como una sola entidad legal, conforme a las rutas 1 y 2 de la Tabla 4.2 (DOF, 2025b, art. 175; DOF, 2025c, numeral 3.5). La LSE refuerza esta posibilidad al excluir de la comercialización la venta de energía de una usuaria final a un tercero dentro de una Red Particular (art. 61, fracc. I). Sin embargo, la regulación no define qué significa constituirse como una sola entidad legal (sección 4.6.2). Si se interpreta que las personas usuarias deben formar parte de esa entidad, la variante con ancla comunitaria encaja con naturalidad, mientras que la variante con ancla externa queda en una zona gris. Por debajo de 0.7 MW se suma la restricción del artículo 24 de la LSE, según el cual las generadoras exentas solo pueden vender su energía a través de una suministradora o destinarla a consumo propio.

En comunidades conectadas, el modelo puede adoptar la variante interconectada (ruta 5), en la que la organización ancla sería titular de un permiso de autoconsumo interconectado y las perso-

nas usuarias formarían parte de su Grupo de Autoconsumo, o funcionar como micro-red aislada en la que las viviendas conservan su contrato con la CFE (ruta 4).

5.3.1 Estructura del modelo ancla

La Figura 5.9 ilustra la estructura del modelo. La organización ancla ocupa el centro como propietaria integral de la infraestructura (generación, almacenamiento, red, protecciones y sistemas de control) y como responsable de la operación del sistema. A su alrededor, las usuarias reciben el servicio; la SENER y la CNE ejercen la rectoría y supervisión, y los gobiernos locales, la banca, los proveedores, la CFE y la cooperación internacional aportan facilitación territorial, financiamiento, servicios técnicos y acompañamiento.

Figura 5.9. Modelo de desarrollo de micro-red con organización ancla



Fuente: Elaboración propia

La organización ancla opera como titular del permiso de la micro-red o, por debajo de 0.7 MW, como su responsable, asumiendo la administración, operación, mantenimiento, atención a usuarios y cumplimiento normativo. En algunos casos, puede contratar a un operador técnico especializado bajo un contrato de desempeño o esquema MESA (*Model Energy Service Agreement*), que puede incluir componentes de financiamiento y garantías de disponibilidad medidas bajo los indicadores SAIDI[4] y SAIFI[5].

La rectoría y supervisión corresponden a la SENER y la CNE (el papel del CENACE en las micro-redes no está definido); los gobiernos estatales y municipales participan mediante permisos territoriales, derechos de vía, apoyo logístico y, en algunos casos, fideicomisos. El financiamiento (CAPEX) proviene principalmente de la organización ancla, la banca de desarrollo o privada y, eventualmente, la cooperación internacional; las usuarias aportan legitimidad territorial y participación en la gobernanza local, pero no necesariamente son propietarias de los activos.

El modelo adquiere un potencial particularmente significativo, y una base jurídica más clara, cuando el ancla no es un actor externo, sino una entidad productiva originada en la propia comunidad, como una cooperativa, una sociedad de producción rural, una empresa social o el propio ejido o comunidad agraria cuando tiene una actividad productiva propia. Su demanda, asociada a actividades como el procesamiento agrícola, el almacenamiento en frío o la transformación de productos, proporciona una base de consumo estable que mejora la bancabilidad del proyecto, y los beneficios económicos del uso de la energía (valor agregado, ingresos y empleo) permanecen en la comunidad.

La iniciativa Ejido Solar, descrita en el capítulo 4, ofrece un antecedente útil para este modelo. En ella, el ejido es propietario de la generación, la instala en tierras de uso común con aprobación de la asamblea y la opera mediante un vehículo legal comunitario. Aunque se trata de generación distribuida interconectada a la red y no de una micro-red, el caso muestra que los ejidos pueden asumir la inversión, la propiedad y la operación de infraestructura eléctrica, y que existen arreglos jurídicos probados para hacerlo. Trasladar esa experiencia a una micro-red implicaría que el ejido, además de generar, preste el servicio a los hogares de la localidad. Esto, sin embargo, requiere la atención de dos cuestiones que el marco jurídico no precisa actualmente: si el ejido cumple el requisito de constituirse como una sola entidad legal cuando abastece a habitantes que no son ejidatarios, y cómo se garantiza que estas personas tengan voz en las decisiones sobre el servicio.

Al tratarse de una organización con arraigo comunitario, se facilitan la toma de decisiones participativa, la transparencia en la gestión de tarifas y la reinversión de remanentes en mantenimiento, expansión o proyectos productivos. Desde la política pública, estas configuraciones abren oportunidades para apoyos diferenciados, como subsidios a CAPEX a través del FSUE, financiamiento blando o asistencia técnica, que reconozcan el doble rol de estas organizaciones como usuarias ancla y agentes de desarrollo local, y para vincular las micro-redes con estrategias de desarrollo rural, seguridad alimentaria y transición energética justa.

[4] SAIDI: (*System Average Interruption Duration Index*): es el tiempo total promedio que un usuario se queda sin electricidad en un periodo (generalmente un año). Responde a la pregunta: ¿Cuántas horas (o minutos) al año se va la luz en promedio?

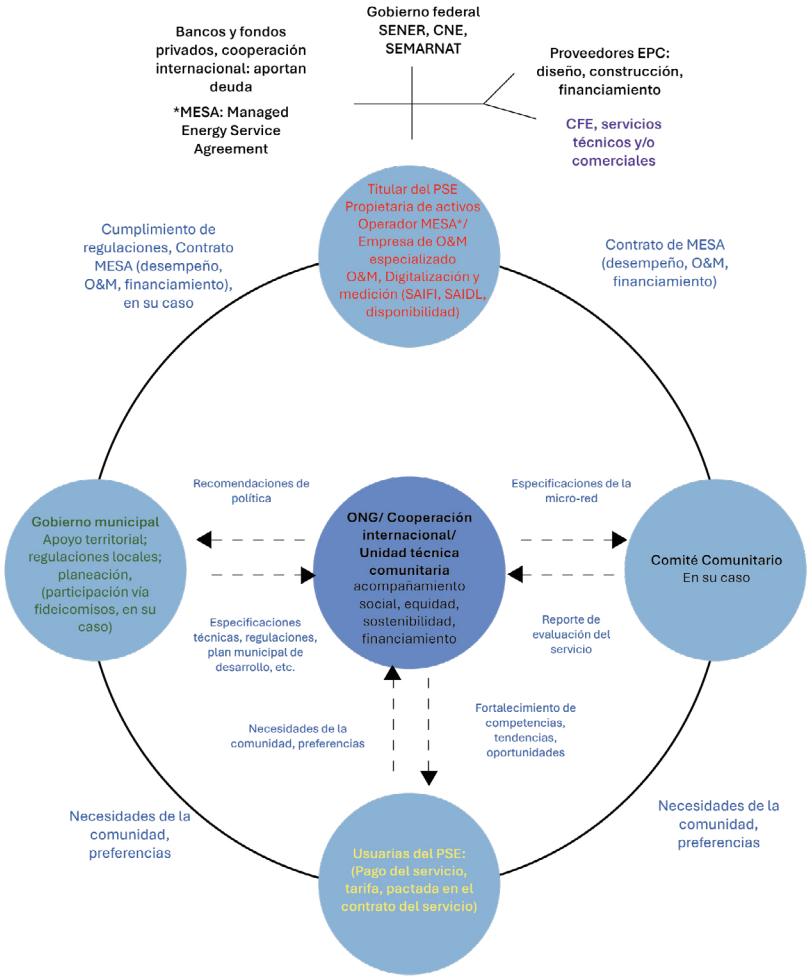
[5] SAIFI: (*System Average Interruption Frequency Index*):es el número promedio de veces que un usuario experimenta interrupciones del servicio eléctrico en un periodo. Responde a la pregunta: ¿Cuántas veces al año se va la luz en promedio?

5.3.2 Arquitectura relacional del modelo ancla

La Figura 5.10 muestra la arquitectura de interacciones del modelo, con una gobernanza centralizada en la organización ancla. Esta se relaciona con la CFE, que puede prestar servicios técnicos y, en la variante interconectada, comprar excedentes; a largo plazo, la Red Particular podría integrarse a las Redes Generales de Distribución si la CFE la adquiere o se le cede (DOF, 2025a, art. 59). También interactúa con proveedores, entidades financieras, aseguradoras, el gobierno municipal y, cuando se requiere, ONG y cooperación internacional. Las usuarias reciben el servicio mediante un contrato cuyo contenido mínimo fija la DACG (numeral 5.1); entre ellas puede haber integrantes de la comunidad sin relación con la entidad productiva, cuya situación depende de cómo se interprete el requisito de una sola entidad legal. La DACG permite términos contractuales distintos por usuaria, pero cualquier trato diferenciado, como descuentos o voto preferencial para el comité comunitario, debería justificarse y transparentarse para no contravenir los principios de justicia energética.



Figura 5.10. Arquitectura relacional del modelo con organización ancla



Ejemplo: Micro-red Totota, Liberia

- Modelo: Cooperativa eléctrica comunitaria responsable de la prestación del servicio.
- Propiedad: Totota Electric Cooperative (TEC), cooperativa constituida por miembros de la comunidad.
- Operación: TEC, mediante personal técnico contratado para la operación y mantenimiento de la micro-red.
- Administración económica: Cooperativa comunitaria, responsable de gestionar ingresos, gastos operativos y pagos al personal.
- Participación local: Los miembros participan en la gobernanza mediante un consejo directivo comunitario.
- Financiamiento inicial: Apoyo de NRECA International, cooperativas eléctricas estadounidenses y organizaciones de cooperación.
- Sostenibilidad financiera: Cobro del suministro eléctrico a hogares y establecimientos comerciales para cubrir los costos operativos.
- Configuración: Microred híbrida aislada, con generación solar fotovoltaica, baterías y respaldo diésel.
- Investigación tecnológica: Participación de Ageto Energy y proveedores especializados en tecnologías de control y gestión de micro-redes.
- Regulación: Liberia Electricity Regulatory Commission (LERC)

Fuente: Elaboración propia

5.3.2.1 Mecanismos de pago del modelo ancla

Las usuarias de este modelo pagarían la tarifa pactada en su contrato de servicio. Hoy no existen una metodología tarifaria ni un mecanismo de queja ante la autoridad específicos para estas micro-redes (sección 4.6.2), por lo que la protección de las usuarias depende de las reglas que fije el propio contrato y de la supervisión comunitaria. El modelo incorpora indicadores de desempeño técnico y disponibilidad, lo que permite estructurar contratos basados en resultados.

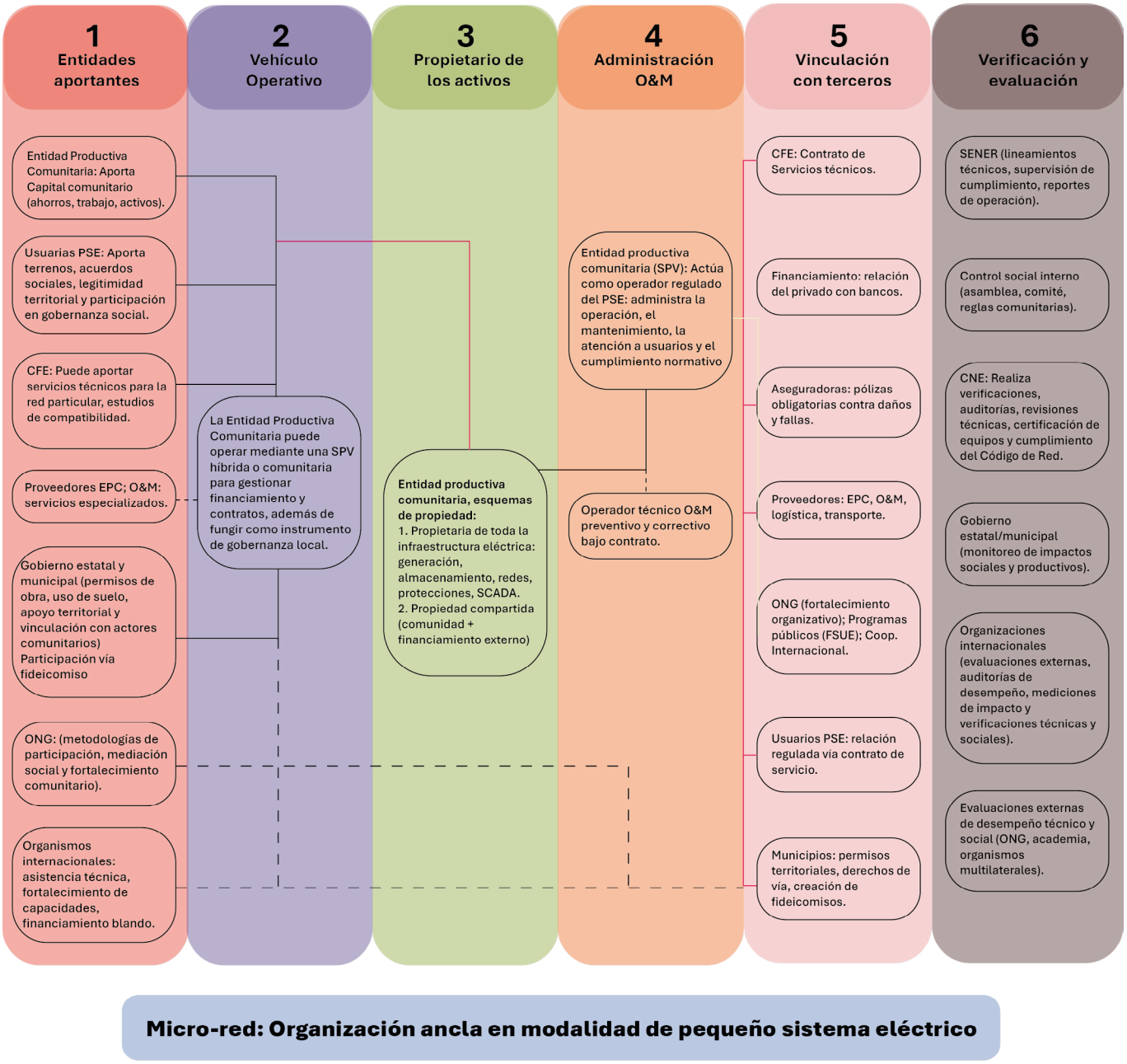
Este modelo admite distintos mecanismos de pago. En el esquema de prepago (PAYG, Pay-As-You-Go), las usuarias adquieren créditos de energía por adelantado, frecuentemente mediante telefonía móvil, lo que permite adaptar el consumo a ingresos variables; es un mecanismo ampliamente implementado en África para comunidades con flujos económicos irregulares (World Bank et al., 2020; GOGLA, 2022). Los modelos híbridos con subsidios inteligentes combinan aportaciones públicas o de donantes para cubrir parte del CAPEX con un operador que gestiona la operación y el cobro de una tarifa asequible. En cambio, las concesiones con derechos exclusivos que usan otros países no son aplicables en México, porque la Constitución no permite concesiones en el servicio público de distribución (CPEUM, art. 27) y la LSE no prevé exclusividades territoriales para las micro-redes.

En la modalidad contractual, la operación puede formalizarse mediante un contrato MESA o de desempeño que incluya operación, mantenimiento y, en su caso, financiamiento, con obligaciones de disponibilidad y calidad vinculadas a indicadores como SAIDI y SAIFI. Esto permite al titular trasladar parte del riesgo operativo a un tercero especializado, mientras las usuarias mantienen su relación contractual directa con el titular, no con el operador.

5.3.3 Esquema de gobernanza del modelo ancla

La Figura 5.11 muestra el esquema de gobernanza del modelo en seis niveles: entidades aportantes, vehículo operativo, propietario de activos, administración y operación, vinculación con terceros y verificación. La entidad productiva comunitaria actúa a la vez como inversionista principal, propietaria de los activos y responsable del servicio ante las usuarias, y puede constituir una SPV comunitaria o híbrida para aislar riesgos financieros y contractuales. La vinculación con terceros incluye contratos con la CFE para servicios técnicos, con proveedores EPC y de O&M, pólizas de seguros y relaciones con la banca, organismos internacionales y ONG. La verificación corresponde a la SENER y la CNE, a los gobiernos subnacionales en cuanto a impactos sociales y productivos y, cuando corresponda, a evaluadores externos.

Figura 5.11. Esquema de gobernanza, modelo de desarrollo con organización ancla

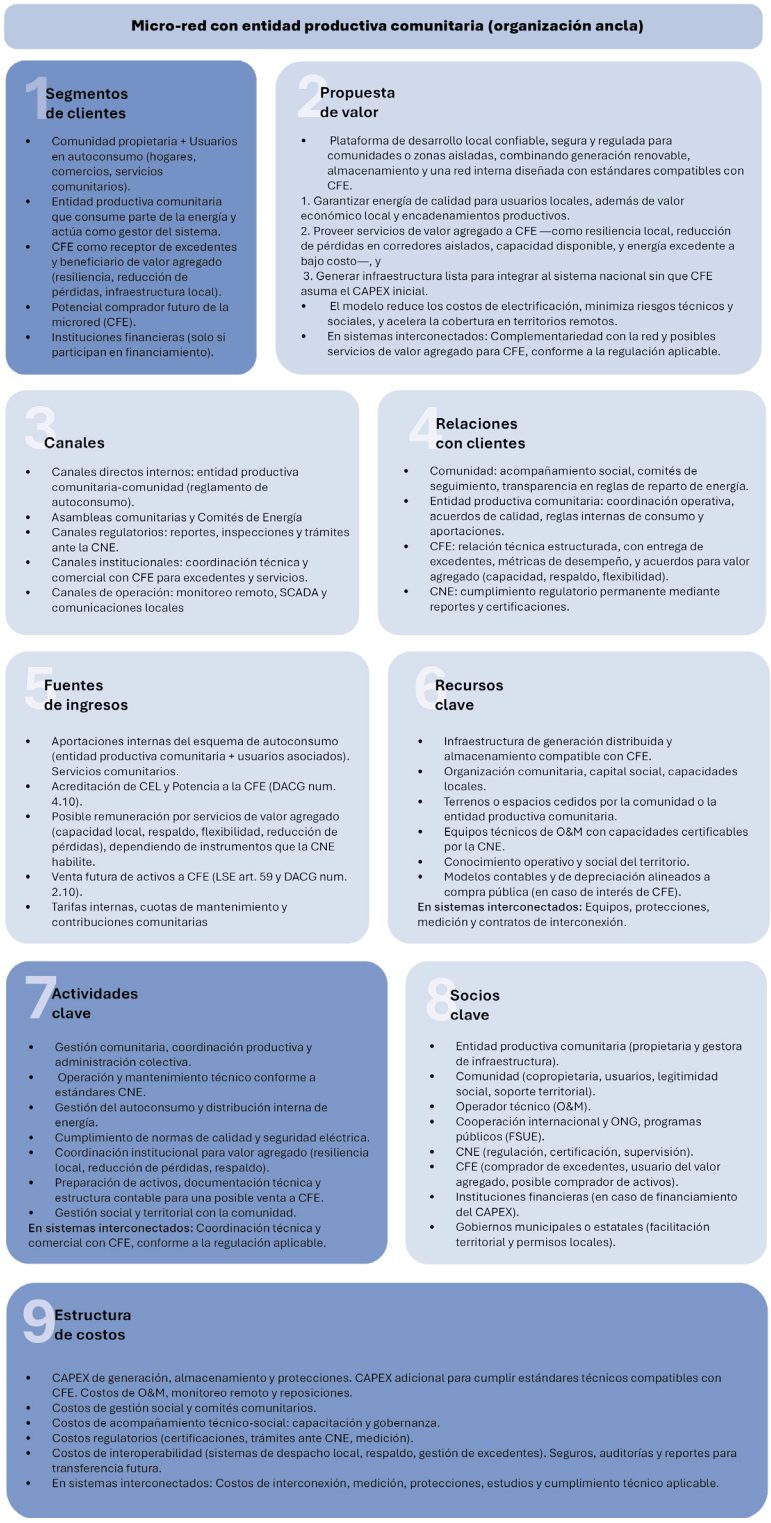


Fuente: Elaboración propia

5.3.4 Lienzo Canvas del modelo ancla

El segmento de clientes está compuesto por usuarias bajo contrato de servicio, que pueden incluir hogares, usuarias productivas o anclas de demanda. La Figura 5.12 presenta el lienzo Canvas del modelo ancla.

Figura 5.12. Lienzo Canvas del modelo de desarrollo con organización ancla



Fuente: Elaboración propia

La propuesta de valor de una micro-red con organización ancla comunitaria es ofrecer energía confiable, asequible y gestionada localmente, que cubre necesidades básicas y habilita actividades productivas y generación de ingresos, con beneficios que permanecen en el territorio. Los ingresos provienen de aportaciones internas del esquema de autoconsumo, incluidas cuotas comunitarias y contribuciones productivas, y la estructura de costos incluye CAPEX, operación y mantenimiento, gestión comunitaria y acompañamiento técnico, financiados con recursos comunitarios, apoyos públicos y, en algunos casos, financiamiento externo.

En la variante interconectada, los excedentes podrían venderse exclusivamente a la Empresa Pública del Estado bajo las condiciones del autoconsumo interconectado. En ese caso, los únicos productos que pueden venderse a la CFE además de la energía son los Certificados de Energías Limpias y la potencia (DOF, 2025c, numeral 4.10); por ello, los servicios de valor agregado a la red que aparecen en el lienzo (respaldo, flexibilidad o reducción de pérdidas) dependerían de instrumentos que la regulación aún no contempla.

Este modelo resulta pertinente cuando existe una organización productiva local con capacidad para articular demanda, gestionar el sistema y sostener procesos de gobernanza comunitaria. Su principal ventaja es que mejora la bancabilidad de la micro-red al vincular el suministro con actividades productivas y retiene los beneficios económicos en el territorio. Su principal riesgo es concentrar demasiado poder operativo o económico en la organización ancla si esta no rinde cuentas a las usuarias; por ello, requiere reglas explícitas de acceso, calidad del servicio, tarifas, participación social y supervisión pública, complementadas con mecanismos de control comunitario.

5.4 Lectura comparada de los modelos

La Tabla 5.1 compara los tres modelos a partir de la ruta regulatoria en que se apoyan y de los vacíos de los que depende cada uno. Las condiciones territoriales indican dónde podría resultar pertinente cada modelo, no dónde sería viable: esa valoración requiere analizar casos concretos.

Tabla 5.1. Lectura comparada de los modelos de desarrollo

Aspecto	Público	Comunitario	Con organización ancla
Ruta regulatoria (Tabla 4.2)	Micro-red aislada; servicio como Suministro Básico (RLSE, art. 175)	Esquema comunitario aislado (rutas 1, 3 y 4); variante interconectada como autoconsumo interconectado (ruta 5)	Venta a terceros como una sola entidad legal (rutas 1, 2 y 4); variante interconectada (ruta 5)
Propiedad de los activos	CFE	Comunidad organizada (cooperativa, ejido u otra figura)	Organización ancla, preferentemente de origen comunitario (cooperativa, ejido o empresa social)

(continuación de tabla)

Aspecto	Público	Comunitario	Con organización ancla
Operación	CFE, operador contratado o unidad comunitaria	Unidad técnica comunitaria o empresa bajo contrato de desempeño	Organización ancla u operador bajo contrato de desempeño
Cobro a usuarias	Tarifa de Suministro Básico o tarifa específica para PSE (RLSE, art. 169)	Costos socializados por acuerdo comunitario	Tarifa pactada en el contrato de servicio
Financiamiento de la inversión	Recursos públicos (FSUE) y cooperación	Aportaciones comunitarias, FSUE, crédito y cooperación	Organización ancla, banca, FSUE y cooperación
Condiciones territoriales	Baja capacidad de pago y poca organización para operar	Organización social previa y legitimidad comunitaria	Actividad productiva con demanda estable
Vacíos de los que depende (sección 4.6.2)	Con qué permiso operaría la CFE (pregunta 7); acceso al Fondo (pregunta 9).	Reglas para micro-redes de hasta 0.7 MW (pregunta 1); conexión de viviendas a la CFE (pregunta 8); pérdida del permiso por baja demanda (pregunta 5); acceso al Fondo (pregunta 9).	Qué organizaciones pueden vender electricidad (pregunta 3); tarifas y quejas (pregunta 6); reglas para micro-redes de hasta 0.7 MW (pregunta 1).

Fuente: Elaboración propia.

La comparación muestra que ningún modelo es viable o inviable en abstracto: su factibilidad depende de cómo se resuelvan vacíos regulatorios concretos. Esto permite ordenar una agenda: precisar el papel de la CFE habilitaría el modelo público; aclarar el régimen de las micro-redes de menor tamaño y la conexión de las viviendas habilitaría buena parte del modelo comunitario; y definir qué es una sola entidad legal, junto con reglas mínimas de protección a las usuarias, habilitaría el modelo con organización ancla. El siguiente paso, fuera del alcance de este documento, es evaluar la viabilidad técnica y económica de estos modelos en casos concretos.

6.0



CONCLUSIONES

México ha alcanzado una cobertura eléctrica muy cercana al 100 %; sin embargo, ese avance convive con brechas persistentes en el acceso efectivo a la energía. Alrededor de 107 mil viviendas, equivalentes a unas 375 mil personas, todavía carecen de electricidad (INEGI, 2025). Además, las estimaciones disponibles sitúan a cerca del 37 % de la población en alguna condición de pobreza energética (García Bustamante, 2025). A ellas se suman las comunidades que, aun conectadas a la red, reciben un suministro deficiente, es decir, interrupciones frecuentes, variaciones de tensión o capacidad insuficiente para sus usos domésticos y productivos. La energía condiciona el bienestar cotidiano, la conectividad, la prestación de servicios esenciales y las posibilidades de desarrollo productivo. Por eso, atender estas brechas exige pensar el acceso en términos de calidad, continuidad, suficiencia y asequibilidad, y ampliar las alternativas para avanzar hacia la justicia energética es una tarea relevante para autoridades, gobiernos subnacionales, comunidades, organizaciones sociales, actores financieros y desarrolladores.

En este orden de ideas, las micro-redes ofrecen una solución capaz de integrar generación, almacenamiento, distribución local y gestión de la demanda conforme a las necesidades de un territorio delimitado. Pueden mejorar la calidad del servicio y habilitar actividades productivas en beneficio de las propias comunidades usuarias. Además, cuando sustituyen generación con diésel por fuentes renovables, reducen costos de combustible y emisiones en los sistemas aislados. La amplia gama de posibilidades que ofrecen estos sistemas sociotécnicos exige definir primero el tipo de acceso que se busca garantizar. Iluminar viviendas, operar un centro de salud, bombear agua, conservar productos pesqueros o procesar una cosecha plantean demandas técnicas, económicas y organizativas diferentes.

Por ello, la elección de una micro-red y de su modalidad de organización técnica, financiera y administrativa comienza con la comprensión del territorio y de los usos que la energía deberá sostener. La madurez de su adopción depende tanto de los aspectos técnicos como del modelo de desarrollo que la acompaña. Por esta razón, en este documento se presentan tres modelos de

desarrollo: público, comunitario y con organización ancla. Su principal mensaje es que México no está limitado a una sola fórmula para desarrollar micro-redes. Un esquema público puede responder mejor a territorios con alta urgencia de acceso y baja capacidad de pago; una estructura comunitaria, a territorios con tradición y capacidad de organización; y una organización ancla, a territorios donde existe una actividad productiva capaz de aportar demanda estable y capacidad de gestión. Los tres son aplicables tanto a comunidades aisladas como a comunidades conectadas con suministro deficiente, y pueden combinarse o evolucionar entre sí. Su factibilidad, sin embargo, no puede valorarse en abstracto: depende de cómo se resuelvan los vacíos regulatorios de los que depende cada uno y de las condiciones de cada caso.

La experiencia internacional muestra que los instrumentos exitosos surgen de contextos nacionales específicos: Perú ha desarrollado mecanismos de compensación para reducir las diferencias tarifarias entre sistemas aislados e interconectados; Alemania ha institucionalizado comunidades ciudadanas de energía con reglas de participación local y límites a la concentración de poder, y Estados Unidos ha impulsado proyectos rurales, remotos e insulares mediante programas de financiamiento y asistencia técnica. Su valor está en lo que permiten sistematizar: claridad de responsabilidades, diversidad de fuentes de financiamiento, participación ciudadana, mecanismos de asequibilidad y arreglos capaces de evolucionar. Este aprendizaje es especialmente relevante para un país de la escala y diversidad de México, donde las condiciones ambientales, culturales, económicas y productivas, las formas de gobierno local, la capacidad de pago y la relación con la red cambian profundamente entre territorios; por ello, cada proyecto exige una ruta de desarrollo acorde con su contexto.

A su vez, el reconocimiento de los Pequeños Sistemas Eléctricos en régimen de micro-red, junto con las disposiciones de autoconsumo, abre por primera vez rutas legales para desarrollar sistemas locales con la colaboración de actores públicos, comunitarios, privados y de la sociedad civil. Sin embargo, el análisis muestra que estas rutas aún dependen de definiciones al marco regulatorio, incluyendo:

- Qué reglas aplican a las micro-redes de hasta 0.7 MW, que no necesitan permiso, pero tampoco tienen reglas sobre el registro de sus usuarias ni sobre los derechos de estas.
- Si la electricidad que una micro-red entrega a sus usuarias es legalmente un servicio de suministro, con las obligaciones y protecciones que eso conlleva, o una forma de autoconsumo.
- Qué tipo de organización puede vender electricidad a los hogares de una micro-red, dado que la regulación exige constituirse como “una sola entidad legal” sin definir qué significa.
- Cómo se fijan las tarifas y ante quién pueden quejarse las usuarias.
- Con qué permiso y bajo qué reglas podría la CFE operar una micro-red.
- Si el Fondo de Servicio Universal Energético puede financiar micro-redes que no sean propiedad de la CFE.

La mayoría de estos vacíos puede atenderse mediante disposiciones administrativas, criterios de interpretación y las reglas de operación del Fondo. Una vez resueltos, la experiencia práctica permitirá

afinar procedimientos, instrumentos y reglas, siempre que los proyectos se documenten, evalúen y cuenten con canales para convertir sus resultados en conocimiento institucional compartido.

Dentro de este proceso, la apropiación comunitaria ocupa un lugar central. La instalación de infraestructura garantiza solo la existencia material del sistema; su permanencia depende de acuerdos que puedan sostenerse durante su vida útil, con responsabilidades claras de administración, mantenimiento y resolución de conflictos, y con mecanismos de transparencia y rendición de cuentas que reduzcan el riesgo de concentración de poder.

Las micro-redes requieren, además, coordinación interinstitucional desde su concepción, porque su desarrollo involucra planeación energética, metas ambientales, conocimiento territorial, gestión financiera y desarrollo social, así como a gobiernos estatales y municipales e instituciones vinculadas con pueblos indígenas y servicios básicos. Esta necesidad de coordinación, junto con la importancia de que las comunidades conozcan las opciones que hoy ofrece el marco, sustenta varias de las recomendaciones siguientes.

Recomendaciones

1. **Resolver los vacíos regulatorios (SENER y CNE).** Emitir disposiciones o criterios que atiendan los vacíos identificados en la sección 4.6.2, en particular:
    - reglas básicas para las micro-redes que no requieren permiso;
    - una lista de las figuras jurídicas que cumplen el requisito de una sola entidad legal;
    - lineamientos mínimos de tarifas y un mecanismo de queja para usuarias de micro-redes;
    - el ejercicio de la facultad para fijar tarifas específicas para los Pequeños Sistemas Eléctricos, con la confirmación de que alcanza a las micro-redes y el criterio de que ninguna usuaria pague más que con la tarifa doméstica subsidiada (DOF, 2025b, art. 169);
    - un esquema de colaboración para micro-redes operadas por la CFE;
    - la confirmación de que las viviendas de una micro-red comunitaria pueden conservar su contrato con la CFE.
    - Además, revisar la regla que cancela el permiso cuando la demanda de las usuarias es baja en relación con la capacidad instalada. Las micro-redes solares suelen tener más capacidad que demanda, sobre todo en sus primeros años, y podrían perder el permiso por esa razón.
2. **Abrir el financiamiento público (SENER).** Que las reglas de operación del Fondo de Servicio Universal Energético reconozcan como elegibles a las micro-redes comunitarias y a las desarrolladas por organizaciones sin fines de lucro, con criterios de desempeño y de transferencia de activos.
3. **Generación colectiva para comunidades conectadas (CNE).** Incorporar un esquema de generación colectiva en las nuevas disposiciones de generación distribuida, para que las comunidades conectadas puedan generar de forma compartida por debajo de 0.7 MW.
4. **Acompañamiento a proyectos (autoridades, gobiernos subnacionales, organizaciones civiles y cooperación internacional).** Explorar una figura de acompañamiento, esta-

blecida por disposición normativa o por acuerdos voluntarios, que funcione como puente entre programas, autoridades, equipos técnicos y comunidades. Esta figura acompañaría el proceso desde la identificación de la necesidad hasta la apropiación del sistema. Pueden desempeñarla organizaciones de la sociedad civil, gobiernos subnacionales u otras entidades con experiencia territorial, siempre que sus responsabilidades estén claramente definidas.

5. **Difusión y aprendizaje.** Difundir entre las comunidades las rutas que ofrece el marco vigente, los beneficios y responsabilidades de cada modelo y los pasos para iniciar un proyecto. En paralelo, documentar y evaluar los primeros proyectos para retroalimentar la regulación.
6. **Siguiente paso de investigación.** Evaluar la viabilidad técnica y económica de los modelos en casos concretos y desarrollar criterios para elegir entre micro-red, sistemas individuales y extensión de la red según las condiciones de cada comunidad.

En conjunto, este documento muestra que México cuenta con una oportunidad real para incorporar las micro-redes a sus estrategias de acceso, justicia energética y desarrollo territorial, y que esa oportunidad puede aprovecharse por más de una vía. Los modelos público, comunitario y con organización ancla ilustran que el marco jurídico y la diversidad de los territorios permiten arreglos distintos según quién impulse el proyecto y qué necesidades deba atender. El reto es convertir esa posibilidad en capacidad de implementación. Eso requiere reglas claras, financiamiento adecuado, coordinación entre actores, acompañamiento sostenido y proyectos capaces de adaptar su diseño y operación a las condiciones del territorio. Sobre esa base podrá construirse una trayectoria mexicana de micro-redes, tan diversa en sus modelos como sus territorios, y articulada por el propósito común de garantizar energía suficiente, confiable, asequible y sustentable a quienes hoy viven sin ella o con un servicio insuficiente.


7.0
CIENCIAS SOCIALES
370

REFERENCIAS

Academia de Contratación Pública de México (2017) Testimonio para la Subasta de Largo Plazo SLP-1/2017. Disponible en: https://www.cenace.gob.mx/Docs/05_SLP/2017/58%20Testimonio%20de%20la%20Subasta%20de%20Largo%20Plazo%20SLP%20No.1%202017%20v%2029%2011%202017.pdf (Consultado: 3 de agosto de 2026)

Angelou, N., Kersey, J., Koo, B.B., Padam, G., Zaman, F., Park, J., Amankwah, A., Sagesaka, A., Oseni, G. y Palacios-Lopez, A. (2026) The Multi-Tier Framework for Energy Access: Insights and impact from a decade of surveys. World Bank. Disponible en: https://www.esmap.org/publications/multi-tier-framework-energy-access-insights-andimpact-decade-surveys (Consultado: 1 de julio de 2026).

BMWK (2023) Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2023). Disponible en: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/EEG_2023.pdf (Consultado: 1 de julio de 2026).

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2026) Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de junio de 2026.

Carmona Díaz de León, E.P. (2021) 'El acceso a la energía eléctrica como derecho humano', Revista de Investigaciones Jurídicas, 47, pp. 35–72. Disponible en: https://www.eld.edu.mx/Revista-de-Investigaciones-Juridicas/RIJ-47/Capitulos/2.-ELACCESO-A-LA-ENERGIA-ELECTRICA-COMO-DERECHO-HUMANO.pdf (Consultado:1 de julio de 2026).

CFE (2022) 'CFE Patrimonio de los Mexicanos', La Jornada, 7 de noviembre, p. 16.

CFE (2026) Programa de Justicia Energética: Avances en electrificación 2024-2026. Disponible en: https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=10463 (Consultado: 1 de julio de 2026).

CODHEM (2025) Diálogos en Derechos Humanos, núm. 38: Derecho a la energía. Comisión de Derechos Humanos del Estado de México. Disponible en: https://instituto.codhem.org.mx/2025/10/28/derecho-a-la-energia/ (Consultado: 1 de julio de 2026).

CRE (2017) Resolución RES/142/2017 de la Comisión Reguladora de Energía 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. Diario Oficial de la Federación, 7 de marzo. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5474790&fecha=07/03/2017 (Consultado: 3 de noviembre de 2026).

De Buen Rodríguez, O., Navarrete Barbosa, J.I. y Hernández López, P. (2018) Análisis del impacto de las Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética en el ingreso-gasto del sector residencial de México a partir de datos de INEGI (1990–2016). Cuadernos de la Conuee, núm. 9. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). Disponible en: https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/Cuadernos/cuadernoNo9.pdf

DOF (2009) Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2009-2012. Diario Oficial de la Federación, 6 de agosto.

DOF (2014) Decreto por el que se expiden la Ley de la Industria Eléctrica, la Ley de Energía Geotérmica y se adicionan y reforman diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación, 11 de agosto. Disponible en: https://dof.gob.mx/index.php?year=2014&month=08&day=11#gsc.tab=0 (Consultado: 3 de noviembre de 2026).

DOF (2025a) Decreto por el que se expiden la Ley de la Empresa Pública del Estado, Comisión Federal de Electricidad; la Ley de la Empresa Pública del Estado, Petróleos Mexicanos; la Ley del Sector Eléctrico; la Ley del Sector Hidrocarburos; la Ley de Planeación y Transición Energética [...]. Diario Oficial de la Federación, 18 de marzo. Disponible en: https://dof.gob.mx/index_111.php?year=2025&month=03&day=18#gsc.tab=0.

DOF (2025b) Decreto por el que se expide el Reglamento de la Ley del Sector Eléctrico. Diario Oficial de la Federación, 3 de octubre. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5769155&fecha=03/10/2025#gsc.tab=0 (Consultado: 1 de julio de 2026).

DOF (2025c) Acuerdo de la Comisión Nacional de Energía por el que se emiten las Disposiciones Administrativas de Carácter General para regular la figura de Autoconsumo de Energía Eléctrica. Diario Oficial de la Federación, 12 de diciembre. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5776013&fecha=12/12/2025#gsc.tab=0 (Consultado: 1 de septiembre de 2026).

DOF (2025d) Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de febrero de 1992. Ultima reforma publicada Diario Oficial de la Federación, 14 de noviembre de 2025. Disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAgra.pdf (Consultado: 10 de noviembre de 2026)

EnDev (2021) Tiers, markets, sustainability: Trends in rural off-grid electrification. Disponible en: https://endev.info/wp-content/uploads/2021/07/EnDev_Learning_and_Innovation_Agenda_Rural_Electrification.pdf (Consultado: 1 de julio de 2026).

ESMAP (2022) Mini grids for half a billion people: Market outlook and handbook for decision makers. World Bank. Disponible en: https://www.esmap.org/publications/mini-grids-half-billion-people-market-outlook-andhandbook-decision-makers.

Espinoza Prado, G.P., Gutiérrez Sánchez, N. y Mena López, S.A. (2024) "'Copiar y pegar": La transferencia de políticas y su influencia en la implementación de políticas de vigilancia electrónica para personas privadas de libertad en Perú y Colombia', Politai: Revista de Ciencia Política, 15(25), pp. 79–100. Disponible en: https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/politai/article/view/30067/26981.

García Bustamante, C.A. (2025) 'En México, 37 % de la población vive con pobreza energética', Sistema de Noticias Universo, 4 de julio. Universidad Veracruzana. Disponible en: http://uv.mx/prensa/general/en-mexico-37-de-poblacion-vive-con-pobreza-energetica/ (Consultado: 1 de julio de 2026).

GIZ (2025) Capacitación sobre el sector eléctrico aislado de la red [Material de capacitación], 19 de mayo.

Gobierno de México (2025) Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php%3Fcodigo%3D5755162%26fecha%3D15/04/2025%23gsc.tab%3D0#gsc.tab=0 (Consultado: 1 de julio de 2026).

GOGLA (2022) Global Off-Grid Solar Market Report: Semi-annual sales and impact data. Disponible en: https://gogla.org/wp-content/uploads/2024/11/gogla_sales-and-impact-reporth2-2022.pdf (Consultado: 1 de julio de 2026).

IEA, (2023). Guidebook for Improved Electricity Access Statistics, Paris: International Energy Agency. Disponi-

ble en: https://www.iea.org/reports/guidebook-for-improved-electricity-access-statistics (Consultado: 29 de octubre de 2026)

IEG (2025) An Evaluation of the World Bank Group's Support to Electricity Access in Sub-Saharan Africa, 2015–24: Approach Paper. Washington, DC: Independent Evaluation Group, World Bank Group. Disponible en: https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/923eaf45-39a1-48dd-9746-f54bd50b1bf2/content (Consultado: 10 de noviembre de 2026).

INEGI (2025) Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2024 [Conjunto de datos]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2024/ (Consultado: 1 de julio de 2026).

INEGI (2026) Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental (ENCIG) 2025. Principales resultados. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/programas/encig/2025/ (Consultado: 29 de agosto de 2026).

Iniciativa Climática de México (2026) Ejido Solar. Disponible en: https://iniciativaclimatica.org/ejido_solar/ (Consultado: 2 de julio de 2026)

IRENA (2015) Off-grid renewable energy systems: Status and methodological issues. International Renewable Energy Agency. Disponible en: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Off-grid_Renewable_Systems_WP_2015.pdf

IRENA (2018) Policies and regulations for renewable energy mini-grids. International Renewable Energy Agency. Disponible en: https://erranet.org/download/policies-and-regulations-for-renewable-energy-mini-grids/?wpdmdl=45629&refresh=698b9ba3b06381770757027 (Consultado: 1 de julio de 2026).

IRENA (2019) Innovation landscape brief: Renewable mini-grids. International Renewable Energy Agency. Disponible en: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/ (Consultado: 1 de julio de 2026).

IRENA (2023) Renewable energy for remote communities: A guidebook for off-grid projects. International Renewable Energy Agency. Disponible en: https://www.irena.org/Publications/2023/Nov/Renewable-energy-for-remotecommunities-A-guidebook-for-off-grid-projects (Consultado: 1 de julio de 2026).

Martínez-Vega, R.E., Robles, M., Salgado-Herrera, N.M., Rodríguez-Rodríguez, J.R. y Rodríguez-Hernández, O. (2024) 'Validación de una microrred mediante software in the loop para la inyección de potencia activa en redes eléctricas de distribución', Ingeniería Investigación y Tecnología, 25(4), pp. 1–13. Disponible en: https://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/v25n4-06.php

Naciones Unidas (2023) Energía - Objetivo de Desarrollo Sostenible 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. Disponible en: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/ (Consultado: 1 de julio de 2026).

NEPR (2018) Reglamento 9028: Regulation on Microgrid Development. Negociado de Energía de Puerto Rico. Disponible en: https://energia.pr.gov/wp-content/uploads/sites/7/2018/08/Reglamento-9028-Regulation-on-Microgrid-Development.pdf (Consultado: 3 de noviembre de 2026).

Nikkhajoei, H. y Lasseter, R.H. (2009) 'Distributed Generation Interface to the CERTS Microgrid', IEEE Transactions on Power Delivery, 24(3), pp. 1598–1608. Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/document/5109862

Osinergmin (2006) Ley No. 28832, Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la generación eléctrica. Disponible en: http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/SitePages/default.aspx (Consultado: 1 de julio de 2026).

Osinergmin (2015) Ley No. 28749, Ley General de Electrificación Rural. Disponible en: http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/SitePages/default.aspx (Consultado: 1 de julio de 2026).

pv magazine México (2023) 'Ejido Solar y su nueva planta de generación distribuida de 499 kW en Huachinera, Sonora', pv magazine México, 8 de agosto. Disponible en: https://www.pv-magazine-mexico.com/2023/08/08/ejido-solar-y-su-nueva-planta-de-generacion-distribuida-de-499-kw-en-huachinera-sonora/ (Consultado: 3 de noviembre de 2026).

REN21 et al. (2014) Mini-grid policy toolkit. Disponible en: https://www.ren21.net/2014-mini-grid-policy-toolkit/ (Consultado: 1 de julio de 2026).

SEforALL y Mini-Grids Partnership (2024) State of the global mini-grids market report 2024. Sustainable Energy for All. Disponible en: https://www.seforall.org/publications/state-of-the-global-mini-grids-market-report-2024 (Consultado: 1 de julio de 2026).

SEMARNAT (2017) Guía de programas de fomento a la generación de energía con recursos renovables. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/47854/ (Consultado: 1 de julio de 2026).

SENER (2024) Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2024-2038. Secretaría de Energía. Disponible en: https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/Prodecen/20%202024-2038%20Cap%25

SENER (2025a) Programa Sectorial de Energía 2025-2030. Secretaría de Energía. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5776838&fecha=22/12/2025#gsc.tab=0 (Consultado: 3 de noviembre de 2026)

SENER (2025b) Programa Techos Solares para el Bienestar. Secretaría de Energía. Disponible en: https://techosolarbienestar.energia.gob.mx/ (Consultado: 3 de noviembre de 2026).

Sovacool, B.K., Hess, D.J., Amir, S., Geels, F.W., Hirsh, R., Rodriguez Medina, L., Miller, C., Alvial Palavicino, C., Phadke, R., Ryghaug, M., Schot, J., Silvast, A., Stephens, J., Stirling, A., Turnheim, B., van der Vleuten, E., van Lente, H. y Yearley, S. (2020) 'Sociotechnical agendas: Reviewing future directions for energy and climate research', Energy Research & Social Science, 70, 101617. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101617.

Strumińska-Kutra, M., Dembek, A., Hielscher, S. y Stadler, M. (2023) 'Innovating urban governance for sustainable energy transitions: Between institutional design and institutional adaptation', Environmental Innovation and Societal Transitions, 48, 100751. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.eist.2023.100751.

UNIDO et al. (2020) Fast tracking rural electrification through accelerated and precise mini-grid policy formulation: Clean Energy Mini-Grid Policy Development Guide. Disponible en: https://www.unido.org/sites/default/files/files/2021-03/ (Consultado: 1 de julio de 2026).

UN Women (2026) Time use and social inequality: A gendered perspective. UN Women Data Hub, 2 de marzo. Disponible en: https://data.unwomen.org/publications/time-use-and-social-inequality-gendered-perspective (Consultado: 3 de noviembre de 2026).

USDA (2023) Empowering Rural America Program (New ERA). Disponible en: https://www.rd.usda.gov/sites/default/files/RD-FS-RUS-NewERA-FINAL508.pdf

USDA (2026) Rural Energy for America Program: Renewable energy systems and energy efficiency improvement guaranteed loans.

USDOE (2026) Energy Technology Innovation Partnership Project. Disponible en: https://www.rd.usda.gov/pro-

grams-services/energy-programs/rural-energy-america-program-renewable-energy-systems-energy-efficiency-improvement-guaranteed-loans (Consultado: 1 de julio de 2026).

Vieira de Carvalho, A., Rojas, L.N., Méndez, P., Dufresne, V., Langlois, P., Couture-Roy, M. y Flamand, S. (2016) Guía D. Arreglos institucionales para programas de eficiencia energética. Banco Interamericano de Desarrollo. Disponible en: https://publications.iadb.org/es/publicacion/15606/guia-d-arreglos-institucionales-para-programas-de-eficiencia-energetica (Consultado: 1 de julio de 2026).

World Bank, IFC, GOGLA, ESMAP, Vivid Economics y Open Capital Advisors (2020) Off-grid Solar Market Trends Report 2020. Disponible en: https://mtr.esmap.org/pdfs (Consultado: 1 de julio de 2026).

World Bank, IRENA, IEA, ESMAP, UNSD y WHO (2026) SDG 7.1.1 Electrification Dataset [Serie de datos]. Disponible en: https://trackingsdg7.esmap.org/downloads (Consultado: 1 de julio de 2026).



Instituto de Desarrollo
Energía y Ambiente

ideathinktank.org.mx