

Comunidades Energéticas: Un modelo para fortalecer la resiliencia climática en Colombia

Juliana Durán Prieto, Héctor Miguel Donado, Andrea Méndez, Juan David Reina, Carolina Useche

CONTENIDO

Puntos destacados	1
Resumen ejecutivo	2
Introducción	2
Metodología	3
Contexto nacional	3
Marco conceptual	5
Diseño para la mitigación y adaptación al cambio climático.....	6
Diseño para el fortalecimiento organizativo.....	8
Diseño para la seguridad energética.....	9
Diseño para la seguridad alimentaria ...	11
Diseño para la seguridad hídrica.....	13
Conclusiones	14
Referencias bibliográficas.....	16
Agradecimientos.....	20

Los documentos de trabajo contienen investigaciones preliminares, análisis, conclusiones y recomendaciones. Se distribuyen para estimular la discusión oportuna y la retroalimentación crítica, y para influir en el debate en curso sobre temas emergentes.

Citación sugerida: Durán, J., H. Donado, A. Méndez, J.D. Reina, C. Useche. 2026. “Comunidades Energéticas: Un modelo para fortalecer la resiliencia climática en Colombia”. Documento de Trabajo. World Resources Institute (WRI). <https://doi.org/10.46830/wriwp.24.00123>

Puntos destacados

- Este documento de trabajo propone integrar el Nexo Agua-Energía-Alimentos en la implementación de la Estrategia de Comunidades Energéticas en Colombia. Se plantea como un eje integrador para la articulación de sectores e instituciones con los territorios y sus comunidades, en la construcción de un nuevo modelo energético bajo en carbono y resiliente al clima. Este modelo debe entenderse como un proceso sociocultural y económico de transformación.
- En el contexto de la Transición Energética Justa, y frente a los desafíos del cambio climático, las Comunidades Energéticas en Colombia desempeñan un papel clave. Su contribución se refleja en la descarbonización de la matriz energética, el acceso a electricidad para las comunidades vulnerables y el fortalecimiento de la resiliencia climática del país.
- Tres elementos son claves en el diseño de las Comunidades Energéticas: la integración del clima, el fortalecimiento comunitario y el desarrollo de modelos de negocio comunitarios. Estos elementos deben asegurar que las comunidades planifiquen soluciones con visión de largo plazo, que no solo garanticen su seguridad energética sino también hídrica y alimentaria. De este modo, se generan beneficios para las personas y para la conservación y uso sostenible de la naturaleza, entendida también como fuente misma de la energía.

Resumen ejecutivo

Contexto

Colombia enfrenta desafíos significativos en su sistema energético, caracterizado por una dependencia de fuentes hidroeléctricas (72 por ciento de la generación eléctrica depende del agua), y un sistema energético con alta vulnerabilidad a los fenómenos climáticos de El Niño y La Niña (IEA 2023). Esta situación, aunada a la necesidad de acelerar la acción climática nacional para cumplir con los compromisos del Acuerdo de París, en particular con la implementación de la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC, por sus siglas en inglés), que tiene como meta emitir como máximo 169,44 millones de MtCO₂eq hasta 2030, equivalente a una reducción del 51 por ciento de las emisiones respecto a la proyección de emisiones en 2030 en el escenario de referencia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2021).

Las Comunidades Energéticas (CE) contribuyen a la Estrategia Climática de Largo Plazo (E2050) de Colombia, que busca una sociedad carbono neutral y resiliente para 2050, al promover la diversificación de la matriz energética y el uso de renovables, especialmente en las Zonas No Interconectadas (ZNI) con alta pobreza energética, donde las comunidades dependen fuertemente del diésel y donde la dependencia de este combustible (262,33 kW de 311,43 kW de capacidad total en 2023) resulta insostenible para la descarbonización (IPSE 2023). Además, esta dependencia genera impactos negativos en la salud humana, al aumentar la exposición a gases y partículas vinculadas con enfermedades respiratorias, cardiovasculares y riesgo de cáncer (Benbrahim-Tallaa et al. 2012; IFC 2019).

La Estrategia de Comunidades Energéticas lanzada en 2024 por el Gobierno nacional busca reducir la pobreza energética, democratizar la generación de energía y promover la participación ciudadana en articulación con la hoja de ruta para la Transición Energética Justa (TEJ) (Ministerio de Minas y Energía 2024a). Frente a los impactos de un clima cambiante, las Comunidades Energéticas son una estrategia emergente con gran potencial para fortalecer la resiliencia climática en Colombia, especialmente en contextos rurales y territorios afectados por el cambio climático y la desigualdad social, garantizando el acceso a energía limpia, confiable y segura para todas y todos. Estas comunidades permiten a los ciudadanos, empresas locales y autoridades colaborar en la generación, comercialización y consumo de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FN CER), combustibles renovables y recursos energéticos distribuidos, reduciendo la dependencia de fuentes fósiles y aumentando la autosuficiencia energética.

Sobre este documento de trabajo

El presente estudio responde a una solicitud directa del Gobierno nacional de Colombia, a través del Ministerio de Minas y Energía, para apoyar su hoja de ruta de la TEJ. Asimismo, busca contribuir al cumplimiento de los objetivos nacionales establecidos en los instrumentos del Acuerdo de París, particularmente en lo que respecta a la implementación de la Estrategia de CE.

Este documento de trabajo tiene como objetivo presentar un análisis sobre el diseño de CE para su resiliencia climática, a partir de un marco conceptual que analiza la interrelación entre la energía, el agua y los alimentos. Esto con el fin de identificar y proponer caminos que potencien la sostenibilidad a largo plazo de las iniciativas energéticas comunitarias y que orienten su diseño desde un análisis multidimensional e integral, más allá de la energética. El estudio incluyó una revisión bibliográfica sobre el tema, diálogos con cuatro CE piloto en el territorio nacional, así como la articulación con actores del nivel nacional y subnacional para discutir en torno a la implementación de esta estrategia en Colombia.

Introducción

El sector energético representa el 31 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia (IDEAM et al. 2021), lo que lo convierte en un sector clave para cumplir la meta de reducción del 51 por ciento de emisiones a 2030, según la NDC de 2020. Entre sus medidas destacan la diversificación de la matriz energética, el impulso a la auto-generación con fuentes alternativas y la transformación de la generación en ZNI.

Esta meta es central para la TEJ, entendida como la transformación hacia un modelo energético bajo en emisiones, más justo y sostenible (Ministerio de Minas y Energía 2023), que también busca reducir la pobreza, generar empleo, fomentar la inclusión social, garantizar la seguridad energética y promover el crecimiento económico.

La TEJ en Colombia propone avanzar hacia un marco regulatorio basado en la justicia tarifaria, la gestión territorial y comunitaria, y la democratización de la energía, con el fin de construir un sistema energético resiliente, confiable y seguro, capaz de adaptarse a los impactos del cambio climático (Ministerio de Minas y Energía 2023).

En este contexto, el Gobierno de Colombia ha establecido las CE como una estrategia innovadora de democratización energética orientada a que comunidades, especialmente en zonas rurales y de difícil acceso, se conviertan en autogeneradores colectivos (productores de energía para autoconsumo, con posibilidad de inyectar excedentes a la red, según Resolución 101 072 de 2025)

o generadores de distribución colectiva (productores cercanos al consumo conectados a través de redes locales o microrredes, según Decreto 2236 de 2023 y Resolución 4059 de 2024).

Más allá de una solución técnica para mejorar el acceso a energía limpia, las CE tienen un alto potencial transformador. Como indican Bain y Florez (2024), esta política ofrece una oportunidad para impulsar cambios sistémicos y abordar déficits de justicia en el sector, siempre que las comunidades reciban el apoyo necesario para aprovechar este nuevo espacio político y promover formas de gobernanza más inclusivas.

Este documento de trabajo analiza cómo las comunidades en el país pueden incorporar el Nexo de Agua-Energía-Alimentos (véase con mayor detalle en la sección del Marco conceptual) en el diseño de CE resilientes al clima, con el objetivo de que estas se conviertan no solo en una solución para garantizar seguridad energética, especialmente a las comunidades en las ZNI, sino que también permitan brindar seguridad alimentaria e hídrica, al tiempo que se generen beneficios para la naturaleza y se gestionen los riesgos de un clima cambiante.

Metodología

El primer paso de este trabajo fue la revisión de literatura, incluyendo políticas públicas del Estado colombiano y documentos de organismos nacionales sobre CE y TEJ. Esta revisión también se centró en identificar conceptualizaciones existentes en materia ambiental, energética y de desarrollo sostenible relacionadas con el Nexo Agua-Energía-Alimentos, para articular un marco conceptual que permita analizar el diseño de CE resilientes al cambio climático.

La revisión de la información se complementó con visitas de campo a cuatro comunidades con proyectos de energía renovable en diferentes fases de implementación en Colombia, para recopilar información cualitativa a través de la observación y toma de datos sobre las condiciones, necesidades y características de las CE y su entorno; es decir, para poder comprender el contexto del desarrollo de este tipo de iniciativas y contrastar con la realidad las hipótesis o datos teóricos de la revisión y el análisis documental y ajustar las recomendaciones que este documento aborda.

La selección de las CE se hizo basada en el método de muestreo de bola de nieve (Parker et al. 2019) para determinar cuatro experiencias a nivel comunitario de autogeneración de energía en las regiones Caribe, Pacífico y Andina de Colombia. Este método se basa en referencias de sujetos u organizaciones iniciales para identificar y reclutar a nuevos participantes. En este estudio, a través de diálogos con actores gubernamentales y organizaciones del tercer sector, se identificaron las comunidades a visitar.

Los cuatro proyectos identificados con esta metodología se describen en la Caja 1.

La investigación incluyó también la articulación con actores nacionales y subnacionales para dialogar en torno a la estrategia de CE en el marco de la TEJ en Colombia, con el fin de identificar acciones y sinergias institucionales. A nivel nacional, se colaboró con los ministerios de Minas y Energía, Agricultura e Igualdad, mientras que a nivel local se involucraron gobernaciones, alcaldías y entidades territoriales como Parques Nacionales y Corporaciones Autónomas Regionales, con los cuales se establecieron diálogos en los territorios visitados.

Contexto nacional

Aunque el 94,92 por ciento de la población colombiana tiene acceso a electricidad, persisten desigualdades territoriales: cerca del 52 por ciento del territorio aún no está conectado al Sistema Interconectado Nacional (SIN), lo que limita el acceso a un servicio eléctrico continuo y de calidad en muchas zonas rurales (UPME 2023). Según el Informe sobre Pobreza Energética Multidimensional (Ministerio de Minas y Energía 2024b), que mide el acceso insuficiente a servicios energéticos en los hogares mediante 16 variables en 4 dimensiones (calidad de la energía, vivienda funcional, aprender y comunicarse, y territorio equipado), la brecha entre departamentos es amplia. Departamentos históricamente desatendidos como Vichada, Vaupés, La Guajira, Guainía, Amazonas y Chocó presentan un Índice de Pobreza Energética Multidimensional (IPEM) superior al 40 por ciento, mientras que en Cundinamarca, Antioquia y Tolima este indicador se ubica entre 13 y 23 por ciento (Ministerio de Minas y Energía 2024a). Esta disparidad refleja una relación directa entre pobreza energética, desarrollo económico y presencia estatal. En este contexto, es clave ampliar la cobertura energética, especialmente en las ZNI, para mejorar el bienestar y la calidad de vida de la población.

Para ello, el Plan Nacional de Desarrollo 2022 – 2026 y el Decreto 2236 de 2023 (Presidencia de la República de Colombia 2023) definen las CE como organizaciones conformadas por personas o entidades públicas y/o privadas que cooperan mediante contratos o convenios para desarrollar actividades de generación, comercialización y uso eficiente de energía a partir de FNCER, combustibles renovables y recursos energéticos distribuidos. Esto implica que las comunidades no solo participan como beneficiarias, sino también como líderes, administradoras, propietarias y usuarias, en un modelo activo y participativo, siendo el primero de este tipo en el país (Camino hacia Carbono Neutral 2024).

Las CE promueven la democratización del acceso y consumo de energía, buscando reducir la pobreza energética y garantizar una energía asequible, segura, sostenible y moderna para las personas (Ministerio de Minas y Energía 2024a).

Caja 1 | Casos de estudio sobre autogeneración energética comunitaria en Colombia

Dibulla, La Guajira

El proyecto E-Rurality, en el corregimiento de Mingueo (Dibulla), en el Caribe colombiano, busca implementar una estación comunitaria de carga solar para motocicletas eléctricas, en un contexto donde el transporte en moto es clave y el servicio eléctrico es deficiente. Además de proveer energía para vehículos y otros dispositivos para la comunidad beneficiada, el proyecto incluye formación técnica en reconversión de motores de motos de combustibles fósiles a eléctricos. Este proyecto, que es liderado por entidades públicas, académicas y por la comunidad, representada por la Junta de Acción Comunal del Barrio 7 de junio de Mingueo, apunta a fortalecer la autonomía energética de las comunidades indígenas y afrodescendientes en este territorio.

Isla Múcura y Santa Cruz del Islote

Ubicadas en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo, estas islas cuentan con una historia de electrificación híbrida (solar-diésel) con un sistema instalado en 2013 por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE) para las ZNI, el cual colapsó por fallas en su administración, operación y mantenimiento, pese a que el Estado ha intervenido en diversas ocasiones con inversión y reparación del sistema (Flórez 2024). Desde 2023 las islas permanecen sin energía. Las comunidades, organizadas bajo un consejo comunitario afrodescendiente, esperan un nuevo sistema solar que garantice acceso energético, facilite proyectos como desalinización de agua y ecoturismo, y contribuya a enfrentar retos de gobernanza territorial.

Bahía Málaga, Valle del Cauca

En este territorio del Pacífico colombiano, reconocido por su biodiversidad marina, en el Parque Nacional Natural Uramba Bahía Málaga, se ha implementado un sistema híbrido de microrredes solar-diésel para cuatro comunidades afrodescendientes, las cuales solo contaban con cuatro horas de energía diarias suministradas por una planta diésel administrada por la propia comunidad, complementada con sistemas fotovoltaicos individuales y algunas plantas diésel de uso particular. El proyecto, construido participativamente y con apoyo técnico y financiero de instituciones como la Universidad del Valle, el Instituto Global de Crecimiento Verde (GGGI, por sus siglas en inglés) y el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (Fenoge), busca garantizar acceso continuo a energía y mejorar el bienestar social y económico de sus habitantes en el territorio (Fenoge 2025).

Natagaima, Tolima

Dos resguardos indígenas lideran las iniciativas energéticas en el municipio de Natagaima, al sur del Tolima, con apoyo del Grupo Semillas y organizaciones de cooperación que han sido aliadas, como la Corporación para la Energía y el Medio Ambiente (Corpoema), Fastenaktion y las empresas EBP de Chile y Suiza (Grupo Semillas et al. 2023). El resguardo Tamirco implementó un sistema solar para el desarrollo de una piscícola comunitaria y en el resguardo de Palma Alta, uno de sus líderes implementó un biodigestor individual para producción de biogás para autoconsumo, a partir del uso de las heces de porcinos. Ambas iniciativas surgen frente al deficiente servicio eléctrico convencional y promueven el modelo de Energías Comunitarias, que articula el Nexo Agua-Energía-Alimentos como base para el buen vivir, la soberanía territorial y la sostenibilidad productiva (véase en el Marco conceptual).

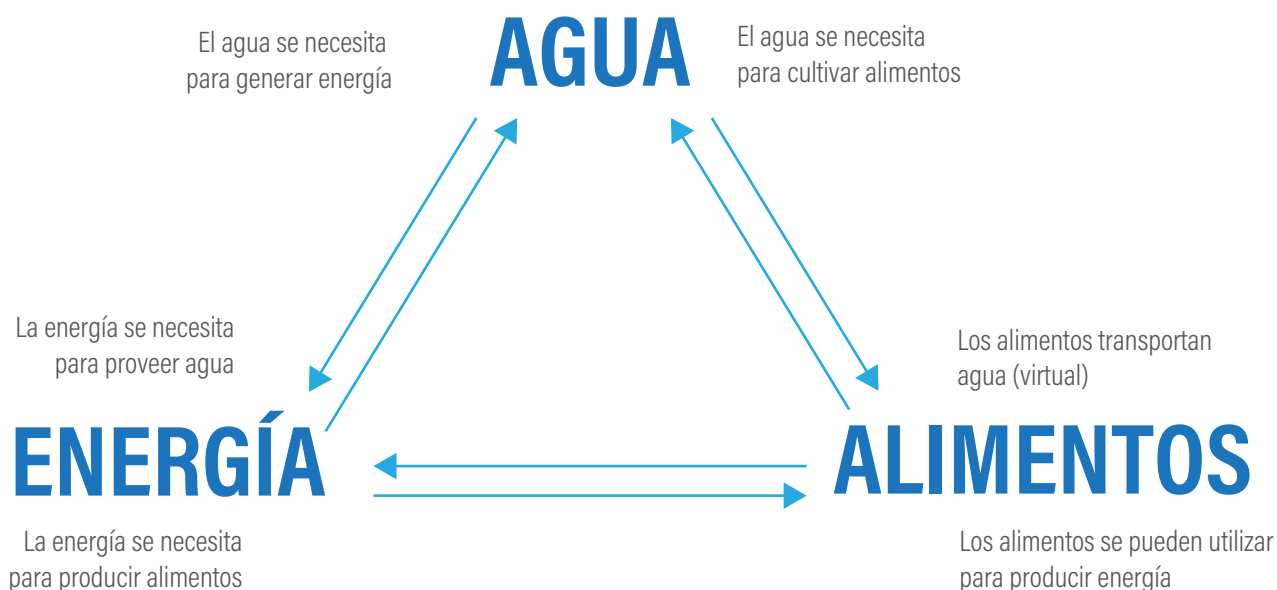
Fuente: Elaboración propia con base en entrevistas realizadas en campo.

Además, mediante el uso de FNCER, se busca descarbonizar la generación local, aumentar la confiabilidad del sistema ante la crisis climática, impulsar la economía local y promover un uso eficiente y socioambientalmente responsable del potencial energético del país (Ministerio de Minas y Energía 2023).

Para finales de 2024, el Gobierno nacional declaró que alrededor de 100¹ CE operaban en todo el territorio nacional, frente a las más de 18.000 comunidades actualmente registradas en el Registro de Comunidades Energéticas (RCE), definido por el Ministerio de Minas y Energía bajo la Resolución 40509 del 21 de noviembre de 2024, la cual, adicionalmente, establece criterios de focalización y priorización para la orientación de recursos públicos con destino a las Comunidades Energéticas (Presidencia de la República de Colombia 2024).

Como se trata de una nueva estrategia, actualmente diversas organizaciones y autores (Castro et al. 2023; Ramírez-Tovar et al. 2023; Camino hacia Carbono Neutral 2024) se han enfocado en generar conocimiento para el diseño, implementación y sostenibilidad de CE desde un enfoque en la gestión del proyecto energético. **El presente estudio amplía el conocimiento existente, pero desde una perspectiva que trasciende lo puramente energético, como enfoque tradicional, reconociendo la interconexión de la energía con el agua y los alimentos y su relación con el factor clima;** esto, con el fin de contribuir a la construcción de CE resilientes al cambio climático.

Figura 1 | Modelo conceptual del Nexo Agua-Energía-Alimentos (A-E-A)



Fuente: Flores, citado en Walker 2020.

Marco conceptual: el Nexo Agua-Energía-Alimentos en el contexto de las CE

El Nexo Agua-Energía-Alimentos (A-E-A Figura 1) es un enfoque promovido por organizaciones como el World Economic Forum (WEF, por sus siglas en inglés) (2011), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés 2014), la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés 2015) y la academia (Bazilian et al. 2011; Albrecht et al. 2018; Nhamo et al. 2025), que reconoce la interdependencia entre estos tres recursos y que su gestión es clave para lograr un desarrollo sostenible, eficiente y resiliente, que traiga beneficios para la naturaleza y las personas, especialmente en el contexto de cambio climático, el cual crea nuevas incertidumbres en el acceso a los recursos y hace que los sistemas existentes sean más vulnerables (Naidoo et al. 2021).

Este enfoque ayuda a identificar sinergias y compensaciones entre agua, energía y alimentos; integrar impactos sociales y ambientales, y promover políticas intersectoriales más eficaces y coherentes (Albrecht et al. 2018; Naidoo et al. 2021; Nhamo et al. 2025). Actualmente, la plataforma Global Nexus (2015) recopila experiencias globales y locales en el marco de este nexo para guiar a profesionales, investigadores y tomadores de decisiones en promover una visión integral para garantizar el acceso universal a estos recursos.

En el contexto de las CE, el Nexo A-E-A puede entenderse como una forma de gestionar estos tres recursos de manera conjunta, aprovechando las energías renovables locales. Para lograrlo, es esencial implementar soluciones energéticas que minimicen la presión sobre cada uno de los recursos y optimicen su uso, reconociendo que:

El **agua** es un recurso vital para múltiples dimensiones del bienestar humano; es indispensable no solo para la producción de alimentos y la generación de energía, particularmente en sistemas hidroeléctricos, sino también para el consumo humano directo, ya sea para beber, preparar alimentos, mantener condiciones básicas de higiene o para su transformación en otros productos como hielo o jugos (Jägerskog et al. 2015; Lalawmpuii 2023).

En Colombia, alrededor del 70 por ciento de la generación eléctrica proviene de centrales hidroeléctricas (IEA 2023), aunque su capacidad está en riesgo por el cambio climático (IEA 2021). La energía hidráulica es considerada una FNCER viable para el desarrollo de CE, especialmente mediante proyectos hidroeléctricos de pequeña escala, de acuerdo con la Ley 1715 de 2014 (Congreso de la República de Colombia 2014). Sin embargo, la generación de energía como la hidroeléctrica puede requerir grandes cantidades de agua; por ello, si los proyectos hidroeléctricos, incluso los pequeños, no se gestionan correctamente, pueden alterar el

flujo ecológico y reducir la disponibilidad de agua para las comunidades, provocando conflictos por este recurso (IEA 2021; Athayde et al. 2019).

La **energía** es esencial en toda la cadena agroalimentaria, desde el secado, refrigeración, almacenamiento y transporte, hasta la distribución de alimentos, así como en actividades indirectas como la fabricación de fertilizantes y riego (Lalawmpuii 2023). También es clave en la potabilización y distribución de agua segura en contextos rurales.

Por todo esto, la energía es también considerada un impulsor de las innovaciones en los sistemas agroalimentarios y de gestión hídrica. Sin embargo, la energía contribuye con cerca de un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector agroalimentario, especialmente cuando se utiliza en etapas posteriores a la cosecha, estimándose además que alrededor del 30 por ciento de esa energía se pierde por desperdicio de alimentos (IRENA y FAO 2021).

Se calcula que la pérdida y desperdicio de alimentos representa alrededor del 8 por ciento de las emisiones globales de GEI cada año (Flanagan et al. 2019). En países de ingresos altos, el desperdicio ocurre principalmente en hogares y restaurantes, mientras que en regiones de ingresos bajos las pérdidas se producen durante el transporte, manipulación y almacenamiento (Flanagan et al. 2019).

Por otra parte, la producción de **alimentos** depende del acceso a la energía para los procesos agrícolas descritos previamente. Así, la producción de alimentos está influenciada por la disponibilidad de energía para transformar y distribuir los productos alimentarios. Se estima que la cadena de suministro agroalimentaria representa el 30 por ciento del consumo mundial de energía y es el mayor consumidor de recursos hídricos, siendo responsable de aproximadamente el 70 por ciento del uso de agua dulce en el mundo (IRENA 2015; IRENA y FAO 2021), evidenciando la interdependencia de los recursos en el Nexo A-E-A.

El cambio climático añade incertidumbre al acceso a estos recursos y aumenta la vulnerabilidad de los sistemas A-E-A (Lalawmpuii 2023), un desafío emergente que requiere atención, especialmente desde la perspectiva de las CE, que buscan soluciones sostenibles y resilientes a largo plazo.

En este contexto, este marco conceptual será fundamental para el éxito del proyecto de CE en el marco de la TEJ en Colombia, ya que puede servir como punto de articulación entre actores de diferentes sectores (ambiental, agricultura, energía, otros) y niveles de gobierno para mejorar la gobernanza territorial desde una visión integradora, que promueva la sostenibilidad de las CE. De esta manera, se aseguraría la coherencia en la formulación de diversas acciones, dirigiendo

esfuerzos y coordinando actividades para garantizar no solo el acceso a la energía en las comunidades, sino también su seguridad alimentaria e hídrica.

Las CE podrían convertirse en el mecanismo a través del cual se materialice el Nexo A-E-A, superando algunas de las barreras previamente identificadas en términos normativos e interinstitucionales para su operativización (Tolba et al. 2018; Mei-Hua y Shang-Lien 2022), logrando tener inversiones más sostenibles y costo-efectivas en los territorios. Esto, a su vez, se traduciría en mayores retornos económicos, sociales y ambientales (Naranjo y Willaarts 2020).

Como plantean Ramírez-Tovar et al. (2023), las CE como modelo pueden tender puentes entre las energías renovables y el desarrollo socioeconómico local. El Nexo A-E-A consolida la visión de la energía como motor de desarrollo comunitario, ligado a actividades productivas rurales y a la gestión de recursos hídricos, garantizando soberanía agroalimentaria y sostenibilidad ambiental (Grupo Semillas et al. 2023). Esta perspectiva se refleja en el concepto de Energías Comunitarias (EC), promovido por organizaciones colombianas como Censat Agua Viva, Comunidades SETAA, Fundaexpresión, Asociación de Cabildos Indígenas del Norte del Cauca (ACIN) y Grupo Semillas, que vinculan la transición energética con la agroecología y la soberanía hídrica y alimentaria, ambas construidas desde la gestión comunitaria con el desarrollo de proyectos de autoabastecimiento energético (Soler-Villamizar y Rankin 2021; Soler et al. 2023).

Diseño para la mitigación y adaptación al cambio climático

El cambio climático ya está impactando tanto ecosistemas como estructuras sociales, productivas y culturales en todo el mundo (IPCC 2023). Frente al aumento de fenómenos climáticos extremos, las CE deben considerar las condiciones geográficas y climáticas de sus territorios para diseñar proyectos resilientes a estas alteraciones. Las CE son una oportunidad para generar mecanismos de reducción de emisiones y procesos de adaptación a nivel local desde un enfoque en la justicia energética. A continuación, se describen una serie de elementos de diseño para alinear la implementación de CE con la acción climática.

El cambio climático incide de manera simultánea en la oferta y demanda de electricidad. El aumento de temperaturas y la mayor frecuencia de eventos extremos, como sequías, olas de calor, inundaciones o tormentas, reduce la confiabilidad del suministro eléctrico actual y limita el potencial de generación futura. Esto hace necesario diversificar la matriz energética, incorporar fuentes alternativas y sistemas de respaldo, y avanzar hacia una planificación eléctrica más resiliente y adaptada al riesgo climático (Antonini et al. 2024).

Las soluciones energéticas descentralizadas en las ZNI deben diseñarse considerando la geografía, la vulnerabilidad y el riesgo climático local; la infraestructura disponible, y los requerimientos de uso final (Colmenares-Quintero et al. 2023). Por ejemplo, un sistema comunitario en una escuela ubicada en una isla y expuesta a inundaciones costeras y salinidad requiere un diseño distinto al de una escuela continental, afectada por deslizamientos o inundaciones por lluvia. Esto resalta la necesidad de un diagnóstico previo y ajustes específicos del sistema para garantizar la sostenibilidad y capacidad de respuesta a largo plazo.

Según la FAO (2024), un diagnóstico climático debe responder a preguntas como:

- ¿Cómo es el clima en mi territorio?
- ¿Cómo evolucionan las variables precipitación y temperatura en función de los eventos de variabilidad climática El Niño o La Niña?
- ¿Cuál es la influencia esperada del cambio climático en el comportamiento de esas variables?
- ¿Cuáles son los eventos hidroclimatológicos extremos más recurrentes en mi territorio y con qué frecuencia se dan?

Este diagnóstico permite anticipar los riesgos y planificar soluciones energéticas que sean resilientes, eficientes y sostenibles frente a las condiciones y riesgos del entorno.

Las comunidades piloto identificaron claramente sus riesgos climáticos. En Dibulla (La Guajira), la comunidad destaca las inundaciones extremas, recordando la inundación de 2003 que destruyó el barrio Bosque, y teme nuevos riesgos por aumento en la frecuencia de las crecientes de los ríos, que son además repentinas. También destacan las sequías extremas, agravadas por la pérdida de cobertura vegetal, que intensifica la escasez de agua.

En Isla Múcura y Santa Cruz del Islote, el archipiélago sufre de manera directa la erosión costera, el aumento del nivel del mar y la afectación de ecosistemas como manglares y corales, lo que ha costado para sus comunidades pérdida de territorio, generando procesos de migración climática (Guerrero y Galán 2022). Como respuesta, existen programas de siembra de manglar, creación de playas comunitarias y apoyo a la pesca artesanal. Sin embargo, persiste la amenaza de desaparición de varias islas.

En Natagaima, las comunidades también manifiestan que el clima ha cambiado. Este municipio, ubicado al norte del desierto de la Tatacoa, enfrenta olas de calor, incremento en plagas y desertificación. La compactación y erosión del suelo, sumadas a la escasez de agua por el bajo caudal del río Magdalena, afectan gravemente los cultivos y la producción piscícola. Frente a esto, las comunidades han desarrollado prácticas de reconversión y diversificación productiva y de defensa de la soberanía alimentaria, como el uso de semillas nativas y el sistema de infraes-

tructura por lo general subterránea que se utiliza para captar, almacenar y, en algunos casos, distribuir agua, especialmente en zonas donde no hay acceso constante a fuentes de agua potable.

Este conocimiento climático construido desde lo comunitario es fundamental para el diseño de soluciones energéticas adaptadas al contexto local. Sin conocimiento climático, una comunidad energética puede ser técnicamente viable, pero no sostenible ni resiliente. Integrar el clima en la planificación permite maximizar la eficiencia energética, por ejemplo, aprovechando la radiación solar en temporadas secas o utilizando biomasa proveniente de la producción agrícola en ciertas épocas del año y, al mismo tiempo, promover prácticas sostenibles que se ajustan a las variaciones climáticas actuales y futuras, fortaleciendo la capacidad de adaptación frente al cambio climático.

Este conocimiento para el diseño puede complementarse con información disponible desde el nivel gubernamental sobre vulnerabilidad y riesgo climático en el territorio, a través de instrumentos como los Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Territoriales y otros documentos de análisis de vulnerabilidad y riesgo climático desarrollados por las entidades territoriales.

Por otra parte, la implementación de CE requiere la coordinación entre los sectores de energía y ambiente, pero también de otros como agricultura, equidad y educación, dados los desafíos interconectados de la seguridad del agua, la energía y la alimentación y sus impactos sobre las personas. A nivel territorial, es imperante involucrar actores locales como gobiernos subnacionales, autoridades ambientales (como las Corporaciones Autónomas Regionales), Parques Nacionales, organizaciones no gubernamentales y a la sociedad civil, entre otras. Esta articulación garantiza que las CE no sean iniciativas aisladas, sino parte transversal de una estrategia de Estado, en línea con los compromisos climáticos del país, siendo identificada esta articulación como uno de los principales retos para el desarrollo de CE en el territorio nacional (Durán et al. 2025).

Para garantizar el éxito y adaptación de estas iniciativas es clave contar con un plan de monitoreo, evaluación, investigación y aprendizaje (MERL, por sus siglas en inglés), que promueva la sostenibilidad de las soluciones renovables y evalúe sus beneficios a largo plazo. Este plan debe ser participativo, involucrando a comunidades, universidades, entidades públicas y privadas, y organizaciones de cooperación. En este contexto, el RCE creado en Colombia para el registro de las CE puede ser una herramienta clave que permite seguir el avance del programa y establecer un mecanismo institucional claro y estandarizado de monitoreo.

En cuanto a los indicadores de seguimiento, un ejemplo interesante a nivel internacional es el desarrollado por el Observatorio de Energía Común en España, impulsado por la Fundación Ecología y Desarrollo (Ecodes 2025), en colaboración con el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográ-

fico Español, que tiene por objetivo crear un espacio para el aprendizaje y el fomento del conocimiento colectivo, acelerando la formación de CE transformadoras. Este Observatorio de Energía Común ha generado una batería de indicadores a nivel del Estado español, que pueden ser parte de un plan inicial de MERL para Colombia (Tabla 1).

En Colombia, es importante destacar el trabajo que ha venido realizando Transforma, a través del Observatorio de Transición Energética Justa. Aunque su propuesta no presenta indicadores específicos de MERL, enfocados exclusivamente en CE, sí incluye indicadores de resiliencia y equidad energética que pueden ser articulados a un marco común de evaluación y seguimiento. Estos insumos representan un aporte valioso para construir sistemas de monitoreo más integrales y alineados con los principios de justicia energética en el contexto colombiano (Transforma 2025).

Diseño para el fortalecimiento organizativo

La organización social y comunitaria es clave para el desarrollo y operación a largo plazo de las CE y debe considerarse desde el diseño técnico, para generar mecanismos de veeduría comunitaria. Estos se requieren para manejar las tensiones propias en la toma de decisiones colectivas según la figura jurídica de la CE, para lo cual es esencial fomentar la comunicación asertiva y empática entre los miembros de la comunidad, garantizando cohesión social. El diseño de CE debe entonces articularse con los procesos de organización comunitaria existentes para que desde la CE se fomente el bienestar colectivo (González et al. 2022b). Por otra parte, Heinenmann et al. (2024) proponen un modelo organizacional sostenible, basado en un tejido social fuerte, motivación clara de la comunidad, definición del modelo de negocio y formalización del sistema.

En las CE visitadas se identificaron diversos esquemas de organización social, así como una serie de retos sociales que condicionan el éxito y la sostenibilidad de los sistemas energéticos implementados.

En La Guajira, la CE identificó como barrera social el miedo al cambio tecnológico y las percepciones negativas sobre la potencia y durabilidad de las motos eléctricas, adaptadas mediante *retrofit*, frente a las diésel. Esta barrera se ha reducido gracias al fortalecimiento de la organización comunitaria, especialmente a través de la junta de acción comunal, que ha sido clave para la articulación y la generación de confianza. Asimismo, la instalación de la electrolinera en la casa comunal contó con el acompañamiento de una trabajadora social, quien ha impulsado la apropiación del proyecto, mitigado tensiones, gestionado conflictos y liderado estrategias de comunicación y capacitación, fortaleciendo la aceptación social y la sostenibilidad del proyecto.

Tabla 1 | **Batería de indicadores de monitoreo, evaluación, investigación y aprendizaje (MERL) para CE**

1. Número de CE
2. Porcentaje de municipios con una CE
3. Porcentaje de CE por cada 100.000 habitantes
4. Porcentaje de CE con al menos el 50 por ciento de mujeres en su Junta de Gobierno
5. Porcentaje total de mujeres en las Juntas de Gobierno
6. Tipos de participantes
7. Actividades que desarrollan
8. Rol del ayuntamiento (alcaldía)
9. Figura jurídica de la CE
10. Estado del proyecto energético
11. Número de socios
12. Aspectos sociales y de financiación

Nota: CE=Comunidades Energéticas; MERL, por sus siglas en inglés = monitoreo, evaluación, investigación y aprendizaje.

Fuente: Ecodes 2024.

En Isla Múcura y Santa Cruz del Islote, la organización social, conformada por el Consejo Comunitario Afrodescendiente de las Islas de San Bernardo, mantiene una comunicación efectiva con la comunidad a través de aplicaciones de mensajería como WhatsApp, donde se informan a los miembros de la comunidad las novedades de cartera o deudas por el uso de energía. También existen formas de organización alrededor de Juntas de Acción Comunal (JAC), conformadas por mujeres y hombres, en las que se toman decisiones de manera asamblearia. Estas organizaciones cuentan con procesos de transparencia de toma de decisiones, cuyo objetivo es la consolidación de procesos organizativos; de esta manera se organizan legalmente los diversos sectores productivos. En las dos comunidades las mujeres administran el dinero referente a la gestión energética y ellas tienen espacios de rendición de cuentas cada semana con su comunidad.

La comunidad enfrenta retos sociales como el uso de sistemas de sonido de alto consumo (“picós”), que amenazan la estabilidad de los sistemas fotovoltaicos y la sostenibilidad del suministro energético. Estas prácticas, junto con actitudes individualistas en el uso de recursos compartidos, generan tensiones internas. Por otra parte, existe una crisis de relevo generacional en el liderazgo comunitario, que debilita la gestión colectiva y la continuidad del proyecto. Además, la falta de titulación legal sobre las tierras insulares limita la autonomía territorial; resolver este problema es clave para fortalecer la gobernanza y asegurar un desarrollo comunitario sostenible.

En Natagaima, las decisiones en cada resguardo indígena se toman de manera colectiva, respetando las estructuras tradicionales de gobernanza. En Tamirco, un consejo ganadero y de

pesca se reúne quincenalmente para promover la rendición de cuentas y fortalecer el tejido social. Además, se han realizado intercambios de saberes con comunidades con proyectos de autogeneración energética en otros territorios (norte del Cauca, Antioquia, Santander), fortaleciendo capacidades locales y el aprendizaje colectivo en energías comunitarias. Esto ha fomentado la integración de todos los miembros de la comunidad, quienes asumen diversos roles; por ejemplo, las mujeres cumplen funciones de tesoreras, veedoras y lideresas en el resguardo de Tamirco.

En Bahía Málaga, el Consejo Comunitario de Comunidades Negras (CCCN) cuenta en cada vereda con un coordinador encargado de operar y mantener las plantas diésel. Con la entrada en operación de las miniredes comunitarias y su nuevo esquema de gestión, existe incertidumbre sobre el futuro rol de estos comités. No obstante, la comunidad posee experiencia previa en la gestión energética, lo que ha facilitado la transición hacia fuentes renovables. Las mujeres han participado activamente en los procesos de capacitación del proyecto, avanzando en inclusión y empoderamiento.

Uno de los principales desafíos de esta CE es la falta de relevo generacional, lo que pone en riesgo la continuidad de sus procesos organizativos. Sin embargo, se espera que la llegada de la nueva infraestructura energética contribuya a fomentar el arraigo y el repoblamiento del territorio, especialmente entre las generaciones más jóvenes.

Otro elemento vital para la operación de los sistemas energéticos en las comunidades es la formación y capacitación de los miembros de las comunidades. En el caso de La Guajira y Natagaima, las capacitaciones fueron bien recibidas. En La Guajira se observó una estrategia de capacitación liderada por Eolos y la Universidad de la Guajira, con un contenido orientado a profundizar el desensamble de motocicletas, el aislamiento de baterías, la instalación de la caja metálica, las conexiones eléctricas y el reensamblaje de motocicletas. En Natagaima las comunidades se han formado en dimensiones técnicas, agroecológicas y económicas mediante la Escuela Manuel Quintín Lame. Además, reciben capacitación de la organización Grupo Semillas y participan de intercambios con comunidades indígenas y campesinas en otros departamentos.

Por otra parte, en Isla Múcura y Santa Cruz del Islote la comunidad expresó que las capacitaciones de tres meses ofrecidas por el IPSE y el operador privado del sistema, en el marco de la implementación de las soluciones fotovoltaicas, no fueron suficientes para comprender las complejidades del sistema y su operación. En Bahía Málaga, la empresa contratista que instaló las soluciones fotovoltaicas en el territorio (HG Ingenieros) realizó capacitaciones técnicas, administrativas y legales regularmente; sin embargo, la comunidad manifestó

durante las entrevistas que en ocasiones estas capacitaciones no siguieron la periodicidad establecida, dejando inconformidades entre los y las participantes.

Con base en estas experiencias, es evidente que la fortaleza de la organización social y el fortalecimiento de capacidades mediante las capacitaciones técnicas son elementos importantes para el éxito de las CE ante los desafíos que surgen en su implementación. Para que estos procesos formativos sean efectivos, las capacitaciones deben estar bien estructuradas y contar con una financiación adecuada, de manera que las comunidades dispongan del tiempo, los recursos y las herramientas para aprender y aplicar los conocimientos adquiridos. Además, es fundamental que estas capacitaciones se diseñen de acuerdo con las necesidades y realidades locales, asegurando la inclusión de las mujeres, quienes ya desempeñan un rol central en la gestión comunitaria. Asimismo, debe garantizarse la participación de otros grupos etarios clave, como los y las jóvenes, cuya vinculación es esencial para asegurar el relevo generacional y la sostenibilidad de los procesos en el largo plazo.

Diseño para la seguridad energética

El diseño de CE debe priorizar la seguridad energética, un concepto que ha sido interpretado de formas diversas, pero que en un sentido amplio puede ser entendido como la capacidad de satisfacer las necesidades energéticas actuales y futuras de la sociedad de manera continua, segura, asequible y sostenible. Esto implica considerar el crecimiento económico, social y demográfico de la sociedad, así como asegurar modelos de financiamiento que garanticen la operación y el mantenimiento del sistema energético en el largo plazo, acompañados de una cultura tarifaria sólida y apropiada a los contextos locales o de los territorios (Strojny et al. 2023).

Desde la perspectiva de la seguridad energética, la energía actúa como un agente de transformación social, más allá del simple suministro, lo cual lleva a modificar patrones de consumo, reducir la demanda y reconfigurar los sistemas económicos mediante estándares de eficiencia y criterios ambientales. Así, el debate sobre seguridad energética trasciende la disponibilidad del recurso e integra la sostenibilidad y la justicia socioambiental (Strojny et al. 2023). En este marco, las CE deben garantizar un acceso confiable a la energía y promover transformaciones estructurales que aseguren su sostenibilidad a largo plazo. En Bahía Málaga, antes de la CE, el servicio dependía de plantas diésel y funcionaba solo cuatro horas al día, aunque existían experiencias individuales con energía solar en tiendas, escuelas, posadas y en una iglesia, donde los propietarios controlaban su producción y consumo.

Pese a ello, la limitada disponibilidad de un servicio energético confiable ha tenido un impacto significativo en el bienestar comunitario. La confiabilidad no solo implica estar conectado, sino también contar con calidad, continuidad y suficientes horas de servicio para un acceso efectivo. Durante las entrevistas, las mujeres señalaron que la falta de energía las obligaba a concentrar las tareas domésticas en la noche, reduciendo su tiempo de descanso y vida social. Además, esta limitación afectaba sus ingresos y dificultaba la conservación de alimentos, que debían cocinarse de inmediato para evitar su pérdida.

Con el proyecto de CE en Bahía Málaga se está resolviendo la inseguridad energética en términos de horas y calidad de prestación del servicio. La comunidad tiene la esperanza de que esto pueda posibilitar el retorno de los jóvenes, fortaleciendo la gobernanza territorial, la organización comunitaria y el goce del territorio.

La energía genera nuevas oportunidades económicas mediante proyectos productivos que fortalecen los ingresos familiares. En Bahía Málaga, el acceso a energía permite agregar valor al molusco piangua, tradicionalmente recolectado por mujeres, al asegurar una cadena de frío estable y posibilitar su transformación en subproductos como chorizos, ceviches y papas rellenas, parte de la oferta gastronómica local. También facilita el envasado al vacío para su exportación a Ecuador, principal destino comercial. Iniciativas asociativas como Raíces Pioneras, dedicada al cultivo de piangua, y la Fundación Sueños de Vida Milagrosa, que promueve la economía circular con artesanías recicladas, se han fortalecido con el acceso a la energía en la zona.

El financiamiento es clave para la sostenibilidad de las CE. Aunque las comunidades visitadas han avanzado en el acceso a energía limpia, enfrentan desafíos en gestión económica, cultura de pago, claridad tarifaria y planificación a largo plazo. En Dibulla (La Guajira), el proyecto de electrolinera costó 180 millones de pesos, financiado por cooperación internacional, incluyendo la instalación de un sistema fotovoltaico, motos eléctricas y *retrofit* de motos a gasolina. Sin embargo, el modelo de gratuidad del acceso a la energía pone en riesgo su sostenibilidad. La comunidad aún carece de mecanismos propios de autofinanciación y la propuesta de Polen Transiciones Justas, de crear una cooperativa para recaudar fondos está en su fase inicial.

Situación similar se observa en Isla Múcura y Santa Cruz del Islote, donde las soluciones energéticas han respondido al déficit de servicios básicos y abierto nuevas oportunidades productivas ligadas al turismo. La gestión financiera del sistema está a cargo de liderazgos comunitarios, principalmente mujeres, que aplican mecanismos de cobro solidario y logran operar sin apoyo externo del operador privado. Se destaca una conciencia colectiva sobre el uso responsable de la energía y la necesidad de mantener una cultura de pago para garantizar la continuidad del servicio.

En contraste, Natagaima (Tolima) representa un ejemplo sólido de cómo las comunidades pueden estructurar modelos de negocio comunitarios y mecanismos financieros internos que garanticen la sostenibilidad de sus proyectos energéticos a mediano y largo plazo. En los resguardos de Tamirco y Palma Alta, el acceso a la energía no solo ha permitido apoyar la producción piscícola y mejorar temas de acceso a gas metano para la cocción de alimentos, respectivamente, sino que también se ha articulado con la creación de instrumentos financieros comunitarios orientados al desarrollo territorial. Destacan entre ellos el Fondo Rotatorio Comunitario del Sur del Tolima (Focost) un instrumento económico y financiero diseñado para apoyar el desarrollo social y económico de los pequeños productores indígenas y campesinos del sur del Tolima. Junto a este se encuentra la Cooperativa Multiactiva Coosaviunidos, que se encarga de administrar el recurso financiero del fondo para movilizar recursos locales, los cuales se destinan al cofinanciamiento de réplicas de sistemas energéticos vinculados a proyectos productivos en el territorio (Grupo Semillas et al. 2023). En el caso específico de Tamirco, el 5 por ciento de las ventas del pescado se destinan al fondo, permitiendo cubrir los costos de mantenimiento del sistema energético y asegurando su operación continua.

Estos modelos de negocio, basados en principios de economía social y solidaria, han sido claves para generar confianza en la sostenibilidad financiera de los proyectos, lo cual ha facilitado el acceso a recursos de cooperación internacional. Esta capacidad de cofinanciar mejoras, atender fallas técnicas y garantizar la continuidad operativa de los sistemas refuerza su viabilidad como modelo replicable en otros contextos rurales.

De estos casos se extraen aprendizajes clave. Primero, la cultura de pago y reglas tarifarias claras son esenciales para la viabilidad financiera de los sistemas energéticos comunitarios; su ausencia genera incertidumbre y dificulta la planificación. Segundo, mecanismos de autofinanciamiento como cooperativas y fondos colectivos resultan eficaces, especialmente si se acompañan de formación y apoyo técnico. Tercero, es necesario contar con protocolos claros de administración, operación y mantenimiento, considerando que en las comunidades visitadas aún se observa una gestión híbrida, donde tanto terceros como miembros de la comunidad participan en estos procesos. Por ello, resulta fundamental fortalecer las capacidades de la comunidad para asumir estos roles, especialmente en las ZNI, donde la escasa disponibilidad de soporte externo demanda mayor autosuficiencia y resiliencia.

En resumen, el financiamiento sostenible de las CE en Colombia requiere no solo la inversión inicial, sino también una arquitectura financiera comunitaria sólida, basada en compromiso social, transparencia, apropiación del conocimiento y respaldo institucional. Es clave adoptar modelos de negocio comunitarios que movilicen recursos locales y aseguren la viabilidad financiera y operativa a mediano y largo plazo,

fortaleciendo la gobernanza y generando confianza dentro de las comunidades y con actores externos. Las comunidades que integran estos factores tienen más probabilidades de mantener sus sistemas energéticos y transformar su realidad social y económica de manera autónoma y resiliente.

Diseño para la seguridad alimentaria

Las vulnerabilidades de los sistemas de alimentos, energía y agua frente al cambio climático representan un desafío en la construcción de resiliencia para la generación de energías renovables y la producción de alimentos (Mpandeli et al. 2018). El Nexo A-E-A visibiliza el componente de energía para la alimentación, siendo clave en esta sinergia el garantizar que la producción de energía no ponga en riesgo la seguridad alimentaria de una comunidad y garantice igualmente su seguridad energética (Naranjo y Willaarts 2020). Esto, considerando además que la agricultura, pesca o ganadería son actividades altamente susceptibles a los cambios en los patrones climáticos, especialmente a los eventos extremos que afectan tanto la producción de alimentos como la disponibilidad de agua para la generación de energía (Yildiz 2019). Son varias las aplicaciones de la energía renovable que se están implementando a lo largo de las cadenas agroalimentarias, trayendo beneficios para las comunidades (Naranjo y Willaarts 2020). Existe un portafolio de soluciones tecnológicas que tienen el potencial de aplicarse en el diseño de CE bajo el enfoque de seguridad alimentaria. Entre ellas se destacan: sistemas agrovoltaicos (incluyendo los sistemas solares de bombeo para irrigación en la producción agrícola); sistemas de almacenamiento en frío y sistemas de agroprocesamiento basados en energías renovables; y bioenergía sostenible (IRENA y FAO 2021).

En las comunidades de las regiones insular y andina visitadas, los sistemas de almacenamiento en frío y el agroprocesamiento con energías renovables fueron considerados esenciales para dinamizar la economía local y garantizar la soberanía alimentaria. La falta de energía limita la manipulación, almacenamiento y venta de alimentos perecederos. En lugares como Bahía Málaga, Isla Múcura, Santa Cruz del Islote y Natagaima, el uso de energía solar ha permitido procesar y refrigerar el pescado, así como elaborar otros productos con valor agregado como empanadas, y producir hielo, lo que ha fortalecido los ingresos comunitarios. Mejorar el acceso al agua y las prácticas de refrigeración consolida la seguridad alimentaria tanto de estas comunidades como de otras, entre ellas las Wayuu, en La Guajira (Díaz, 2024). En este contexto, el Nexo Energía-Alimentos se integra al diseño de las CE como estrategia clave para impulsar las economías locales y asegurar la soberanía alimentaria.

Respecto al tema de la refrigeración de alimentos, en todo el mundo se estima que cerca del 14 por ciento de los alimentos producidos se pierden entre las etapas posteriores a la cosecha y la venta (FAO 2020). Ante los impactos de un clima cambiante, el reto de asegurar que las comunidades puedan tener acceso a los alimentos, pero también a su conservación, es una necesidad apremiante.

De acuerdo con Lange et al (2016), se estima que mejorar el acceso a la refrigeración podría evitar el deterioro de hasta una cuarta parte de los alimentos perecederos que se producen actualmente en los países con almacenamiento en frío o que carecen del mismo. Además, el acceso limitado a la refrigeración no solo genera pérdidas económicas directas para los agricultores y otros actores de la cadena agroalimentaria, sino que limita su poder de negociación, obligándolos a vender sus productos poco después de la cosecha, generalmente a precios más bajos para evitar que se echen a perder. Poseer instalaciones de almacenamiento adecuadas brinda la oportunidad de planificar mejor el momento de la venta y obtener precios justos por los productos. Además, el tiempo adicional de almacenamiento permite a los consumidores tomar decisiones de compra más conscientes (IRENA y FAO 2021).

Respecto a la autogeneración de energía agrovoltaica, esta última también ha tomado relevancia como sistema energético de uso en comunidades rurales y agrícolas (IRENA 2015; IRENA y FAO 2021). Dicho sistema se basa en la instalación de paneles fotovoltaicos en suelos destinados a la agricultura o la ganadería. Así, un predio con uso agropecuario puede poseer una doble funcionalidad; por un lado, producir alimentos o emplearse para la cría de ganado, y por otro, ser útil para la generación de electricidad procedente de la energía solar (Barron-Gafford 2019; Soto-Gómez 2024).

Como ventaja de este tipo de sistemas, se destaca la eficiencia del uso de la tierra a partir de la producción dual de alimentos y energía, evitando potenciales conflictos por competencia en el uso del suelo. Incluso sobresalen también beneficios en la eficiencia del uso del agua, ya que estos paneles, al generar sombra, ayudan a las plantas a reducir la pérdida de agua por evaporación, lo que resulta especialmente ventajoso en las regiones áridas y semiáridas (Hassanien y Lie 2017). Sin embargo, más allá de sus beneficios técnicos, los sistemas agrovoltaicos representan una oportunidad estratégica para avanzar hacia modelos de desarrollo rural más resilientes y sostenibles, que integren la seguridad alimentaria con la transición energética.

Esta integración puede fortalecer la autonomía de las comunidades rurales, diversificar sus fuentes de ingreso y reducir su vulnerabilidad frente al cambio climático (Cuppari et al. 2021; Harvey et al. 2024). No obstante, uno de los principales retos es la elevada inversión inicial que requieren dichos sistemas, lo cual puede convertirse en una barrera significativa

para su adopción, especialmente en comunidades vulnerables con recursos limitados. Estas comunidades, en muchos casos, carecen de acceso a crédito, garantías o capital semilla, lo que dificulta su participación en este tipo de proyectos. A este reto financiero se suman desafíos técnicos como la necesidad de adaptar los diseños tecnológicos a las condiciones específicas de cada territorio, teniendo en cuenta factores climáticos, culturales y productivos locales, además de otras consideraciones relacionadas con temas de estrés fisiológico de las plantas y con los efectos de sombra en la producción agrícola (Cuppari et al. 2021; Harvey et al. 2024; Soto-Gómez 2024).

Por otra parte, los sistemas agrovoltaicos enfrentan retos regulatorios asociados a un marco regulatorio poco claro. Aunque Colombia cuenta con legislación que promueve las FNCER, tales como la Ley 1715 de 2014 y el Decreto 2236 de 2023 sobre Comunidades Energéticas, el marco regulatorio no establece de manera explícita sistemas híbridos como los agrovoltaicos. A pesar de estos desafíos, los sistemas agrovoltaicos ofrecen una solución prometedora a la tarea de armonizar la producción de energía y la agricultura. No obstante, su implementación requiere un análisis más profundo y contextualizado bajo el marco de las CE.

En Colombia, la literatura concerniente a CE no ha documentado, hasta ahora, evidencias de sinergias negativas del Nexo A-E-A relacionadas con este tipo de sistemas. Esto puede deberse, en parte, a la reciente implementación de este tipo de proyectos. El más reconocido hasta el momento es el desarrollado en 2024 por el Fenoge, en colaboración con el Consejo Comunitario de Comunidades Negras de Bocas del Palo, en la región Pacífica colombiana (Valle del Cauca). Este proyecto consiste en un sistema agrovoltaico solar con una capacidad instalada de 101,4 kilovatio pico (kWp), conformado por 186 paneles de 545 vatios pico (Wp) cada uno. Su objetivo es promover el autoconsumo energético y fomentar una producción agrícola sostenible, beneficiando directamente a 115 familias de la comunidad (Fenoge 2024).

Otro ejemplo, aún en pilotaje para diferentes sistemas agrícolas y ganaderos, lo ofrece el proyecto JET-AgriSOL, que actualmente está en fase de ejecución por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), bajo la Iniciativa Climática Internacional (IKI, por sus siglas en inglés) (IATI 2025). Resultados concluyentes de estos proyectos sobre beneficios y/o impactos negativos en las comunidades en el mediano y largo plazo aún están por documentarse.

Finalmente, otra tecnología vinculada al Nexo Energía-Alimentos que puede ser aplicable en las CE para garantizar su seguridad alimentaria es la bioenergía sostenible y moderna, la cual es considerada parte de la matriz de energías renovables en diversos países, capaz de contribuir al cumplimiento de las NDC y a los esfuerzos en la lucha contra el cambio climático (IRENA y FAO 2021). La bioenergía corresponde al empleo

de residuos orgánicos de origen animal o vegetal para la generación de energía eléctrica, calor y biogás, producidos de manera sostenible con tecnologías eficientes, ofreciendo una solución local viable, especialmente en comunidades agrícolas (IRENA 2015; Camino Hacia Carbono Neutral 2024).

Las heces de cría porcina, bovina o avícola y los residuos de procesos agrícolas pueden utilizarse para producir biogás a diferentes escalas y con distintos fines, por ejemplo, para la cocción de alimentos y para iluminar las residencias de las comunidades en las ZNI de Colombia, pero también para producir calor y electricidad en comercios y como bicombustibles para sistemas de transporte urbano. Se calcula que 125 millones de personas utilizan biogás para cocinar en todo el mundo, la mayoría en países asiáticos como China, Nepal, Vietnam, India y Bangladesh (IRENA y FAO 2021). En Colombia, las biomásas con mayor potencial de aprovechamiento para la generación de energía incluyen la vinaza de caña de azúcar, los residuos avícolas, los subproductos de la palma de aceite, los residuos sólidos urbanos de origen orgánico y los residuos porcícolas (Duarte 2010). La biomasa es considerada una de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), según la Ley 1715 de 2014, y presenta un alto potencial de uso en las Comunidades Energéticas (CE).

En Natagaima se identificó una experiencia local de un piloto de bioenergía a partir de las heces de cría no tecnificada de porcinos, actividad económica tradicional de este municipio del sur del Tolima, con un impacto positivo asociado a la disminución en los gastos de una familia destinados a la compra de gas propano para los procesos de cocción de alimentos y de alumbrado. Este tipo de tecnología de biodigestores ha sido también usada en otros territorios y comunidades en Colombia de manera exitosa, aunque en el marco de la transición energética no han tenido el deseado apoyo estatal que esperan las comunidades en los territorios. No existe una razón clara sobre el por qué no se ha dinamizado más su implementación, destacándose actualmente como una de las Energías Comunitarias articulada a procesos de agroecología en los territorios (Soler-Villamizar y Rankin 2021; Sandoval 2024).

Adicionalmente, vale la pena considerar la viabilidad de extender este análisis hacia un modelo forestal-energía, tomando como referencia la experiencia del programa Programa REM Visión Amazonía, liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Visión Amazonía 2025). En este caso, REM Visión Amazonía ha financiado la identificación y estructuración de una CE a partir de la implementación de un sistema energético basado en biomasa generada por los residuos de un aserradero local. Esta iniciativa no solo promueve el uso sostenible de los recursos naturales, sino que también demuestra el potencial del modelo forestal-energía en el marco de una Transición Energética Justa.

Diseño para la seguridad hídrica

La seguridad hídrica puede entenderse como “la capacidad de un territorio para garantizar el acceso equitativo, en calidad y cantidad, a servicios hídricos resilientes que permitan el desarrollo humano y económico sostenible de su población” (Urquiza y Billi 2020). Actualmente, la crisis climática está alterando el ciclo del agua con impactos directos sobre las personas y la naturaleza, por lo que garantizar la seguridad hídrica, pero también la seguridad energética, vinculada en Colombia a sus fuentes hídricas, con un 70 por ciento de su producción eléctrica proveniente de la hidroenergía, representa un gran desafío (UPME 2015; IEA 2021; IEA 2023). Esta alta dependencia hídrica convierte al sistema energético nacional en uno vulnerable a las variaciones climáticas extremas, como lo evidenció el apagón de la década de 1990, provocado por un fuerte episodio de El Niño, que redujo los niveles de los embalses a mínimos históricos y obligó al país a imponer severos racionamientos de energía (Mateus 2016). Como señala Sovacool et al. (2012), “la seguridad energética y la seguridad hídrica están profundamente entrelazadas, y los riesgos asociados a una suelen amplificarse en presencia de vulnerabilidades en la otra”.

La materialización de los impactos climáticos sobre el recurso hídrico para las comunidades piloto visitadas en el territorio nacional incluyen, por ejemplo, procesos de desertificación en Natagaima y erosión costera en Isla Múcura, Santa Cruz del Islote y en los territorios insulares de Bahía Málaga, en donde, además, está ocurriendo el secamiento de los esteros, lo cual afecta la navegabilidad fluvial en la zona. Además, sequías extremas asociados al Fenómeno de El Niño, con eventos cada vez más extremos como el presentado en el periodo 2023-2024 en Colombia (IDEAM 2024), han incrementado las dificultades de acceso al agua para las comunidades en estos territorios, afectando su seguridad hídrica pero también alimentaria, ligada al uso del agua para la pesca y/o para la producción piscícola, de la cual dependen estas comunidades como fuente económica y alimentaria.

En este contexto de variabilidad climática, la relación entre el agua y la energía adquiere una importancia estratégica. Este nexo es clave para gestionar de manera eficiente los recursos naturales a partir del uso de soluciones energéticas, principalmente renovables, que aseguren la sostenibilidad del suministro tanto de agua como de energía, en la medida en que estas fuentes de energía, al ser menos dependientes del agua (excepto las soluciones hidroeléctricas), ayudan a reducir la presión sobre los recursos hídricos que impone la producción energética de carbón, petróleo y/o gas, las cuales son altamente intensivas en agua (IRENA 2015).

Es aquí donde las CE juegan un rol esencial para que en su diseño incorporen el componente de seguridad hídrica en el contexto de la mitigación y adaptación al cambio climático,

a través de la implementación de soluciones energéticas que pueden ir desde los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, a los sistemas de bombeo y riego solar, pequeños aprovechamientos hidroeléctricos e incluso sistemas de desalinización con energía solar o eólica, entre algunas tecnologías existentes (IRENA 2015; Soler-Villamizar y Rankin 2021; Goose et al. 2023). Estas tecnologías manejadas de manera eficiente contribuirán a enfrentar los desafíos del cambio climático y la creciente demanda de agua y energía, especialmente para las comunidades en territorios insulares del Caribe y el Pacífico colombiano, las cuales presentan, por su condición territorial, grandes dificultades de acceso al agua dulce y la energía.

Aunque la literatura no documenta ampliamente casos problemáticos o no exitosos en Colombia relacionados con el Nexo Agua-Energía desde un enfoque comunitario, resulta pertinente explorar otros casos dentro del territorio nacional donde se manifiesten sinergias negativas. Un ejemplo de ello es el riesgo de que la producción energética, incluso a partir de fuentes renovables, incremente significativamente la demanda de agua, comprometiendo su disponibilidad para el consumo humano o para otros usos esenciales. Este tipo de impactos ha sido más evidente en proyectos de energías renovables a gran escala, donde la planificación sectorial no siempre contempla de manera integral la gestión del recurso hídrico, generando tensiones entre el desarrollo energético, la conservación ambiental y el bienestar comunitario. Un caso reciente y de amplio cubrimiento en Colombia es el de la hidroeléctrica Hidroituango, en Antioquia (Zuleta 2021; Pardo 2022).

Partiendo del concepto de seguridad hídrica, que implica garantizar un suministro adecuado y sostenible de agua para las comunidades dentro de un territorio, el diseñar e implementar un modelo de gestión del Nexo Agua-Energía más integrado y sostenible desde las CE implica también considerarlas como un mecanismo para el ordenamiento territorial alrededor del agua. De esta manera, las CE contribuyen no solo a la gestión energética, sino también a la planificación y protección de los recursos hídricos, promoviendo un desarrollo territorial equilibrado y resiliente.

En el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, el Gobierno de Colombia ha establecido como eje fundamental para la transformación del país hacia una economía baja en carbono y más resiliente ante los desafíos climáticos el ordenamiento del territorio alrededor del agua, idea que indica que “el agua, la protección de la biodiversidad y las personas serán el centro de la planeación de los territorios, permitiendo a la población tener hábitats resilientes a los cambios del clima, donde se protejan los recursos naturales y se garantice el bienestar de la población mediante el respeto por el agua y el acceso a los servicios ecosistémicos” (DNP 2022).

En este contexto, las CE deben diseñarse considerando el potencial energético y el agua como eje del ordenamiento territorial, integrando el Nexo Agua-Energía para garantizar bienestar comunitario y protección ambiental. La gestión comunitaria de la energía implica reorganizar el territorio alrededor del agua, mediante planes energéticos participativos que combinan saberes locales y tecnologías adecuadas (Soler-Villamizar y Rankin 2021). Estos planes responden, además, a problemáticas hídricas ocasionadas por sequías e inundaciones que ocurren en los territorios, para promover acceso a agua potable, soberanía alimentaria y mejores condiciones de vida.

Para las comunidades de Bahía Málaga y las islas Múcura y Santa Cruz del Islote, el agua de los océanos Pacífico y Atlántico es clave para su desarrollo socioeconómico y territorial, como lo muestra el Plan de Bienestar de Bahía Málaga (Consejo Comunitario 2017). Configurar un territorio energizado alrededor del agua implica valorar su potencial ambiental y conservar su biodiversidad, base del bienestar comunitario. Esto conlleva reducir impactos negativos por la sobreexplotación pesquera y la tala de manglares, promoviendo acciones de conservación y restauración, como los proyectos de restauración de manglar impulsados por estas comunidades para lograr territorios sostenibles y resilientes, con agua y energía como pilares del desarrollo local.

Finalmente, las comunidades isleñas y costeras, que dependen en gran medida de los recursos marinos, requieren con urgencia una mayor inversión en investigación y desarrollo de fuentes de energía renovable provenientes del mar. Tecnologías como la energía mareomotriz (a partir del movimiento de las mareas), undimotriz (de las olas), térmica oceánica (basada en los gradientes de temperatura) y osmótica (originada por la diferencia de salinidad entre el agua dulce y salada) representan oportunidades reales de generación energética sostenible (Khan et al. 2017), especialmente si se desarrollan desde los contextos locales, generando sinergias positivas con la conservación y restauración de ecosistemas estratégicos como los manglares.

Conclusiones

Las Comunidades Energéticas (CE) se configuran como un componente estratégico para avanzar en una Transición Energética Justa en Colombia, particularmente para las Zonas No Interconectadas (ZNI), donde los desafíos de acceso, aislamiento y vulnerabilidad climática son más acentuados para sus comunidades.

A partir de las experiencias piloto se destacan una serie de aprendizajes y hallazgos que permiten comprender mejor los factores críticos para su sostenibilidad y escalabilidad.

En primer lugar, uno de los aprendizajes más significativos es que las Comunidades Energéticas representan un punto de entrada estratégico para operacionalizar el enfoque del Nexo Agua-Energía-Alimentos (A-E-A), principalmente en las ZNI en Colombia. Esto implica no solo mirar la energía como un servicio aislado, sino entenderla como un eje articulador de la seguridad alimentaria, el acceso al agua y la resiliencia climática de las comunidades en el territorio. Así, su implementación permite habilitar el acceso a energía limpia y descentralizada, que a su vez potencia procesos locales de producción agrícola, manejo de recursos hídricos y conservación de alimentos.

Un ejemplo clave donde este nexo se evidencia lo ofrece el resguardo de Tamirco, en Natagaima, donde el fortalecimiento de una práctica agrícola basada en la producción y refrigeración de pescado ha sido posible gracias a la gestión eficiente del recurso hídrico mediante un sistema de bombeo solar. Esta experiencia ha demostrado, además, que el fortalecimiento de procesos de gobernanza local, la promoción de la soberanía alimentaria para la comunidad y la generación de un modelo económico solidario son indispensables para garantizar los medios de vida de la comunidad y su autosuficiencia.

Se sugiere explorar cómo esta sinergia, que transforma las dinámicas sociales y económicas de los territorios, está dándose en otras de las Comunidades Energéticas ya en operación en el territorio nacional. Esto con el fin de garantizar a las comunidades el acceso a una energía más limpia, asequible y equitativa, así como a alimentos y agua de calidad, mientras se fortalece su empoderamiento en la gestión sostenible de sus recursos. Las siguientes son las principales líneas de acción que se proponen en el marco del presente estudio:

1. El Nexo A-E-A ofrece una perspectiva integradora para alinear políticas y programas de estos tres sectores y fomentar así iniciativas interinstitucionales claves. Para ello, es clave seguir avanzando en el fortalecimiento de la interoperabilidad y la coordinación interinstitucional y multinivel, ya que, si bien existen esfuerzos de articulación entre ministerios y entes territoriales, especialmente para acelerar la implementación de CE en el territorio nacional, aún se presentan desafíos en la alineación de enfoques, instrumentos y agendas, lo que podría afectar la implementación integral de estas iniciativas en los territorios.
2. Se evidenció que las estructuras comunitarias preexistentes y los liderazgos locales han jugado un rol determinante en la viabilidad de las cuatro experiencias de estudio, porque potencian la apropiación y la permanencia de las iniciativas en el tiempo. Por ello, el diseño e implementación de CE requiere centrarse en esquemas de gobernanza inclusivos,

que reconozcan el rol estratégico y la participación activa y efectiva de los distintos grupos sociales, incluyendo activamente a mujeres, jóvenes, líderes y lideresas comunitarias, entre otros, en la toma de decisiones y gestión de los proyectos energéticos en sus territorios, puesto que el rol de la comunidad no puede limitarse a ser beneficiaria de una tecnología. La participación de estos actores garantizará la legitimidad social del proyecto y su sostenibilidad en el largo plazo.

3. Desde el fortalecimiento de capacidades comunitarias y de la apropiación tecnológica se evidenció que, para garantizar la sostenibilidad operativa de los sistemas energéticos, se requiere invertir en procesos de formación técnica y organizacional dirigidos a los miembros de las comunidades. Las experiencias mostraron que la gestión híbrida, entre terceros y miembros de la comunidad, aún es predominante, pero que existen avances en procesos de formación técnica y transferencia de conocimiento que van más allá de lo energético para incluir aspectos sociales, económicos y de gobernanza. En contextos como las ZNI, donde el acceso a una asistencia externa es limitado, capacitar a miembros de la comunidad para asumir la operación, mantenimiento y administración de los sistemas se convierte en una estrategia clave para su autosuficiencia y resiliencia.
4. Se destacó el papel de los modelos de negocio comunitarios como mecanismos efectivos de sostenibilidad financiera. El caso del resguardo de Tamirco, donde se destina un porcentaje fijo de los ingresos por ventas de pescado al mantenimiento del sistema energético, representa una práctica replicable e ilustra cómo los esquemas de autofinanciamiento comunitario pueden integrarse exitosamente con modelos de economía solidaria, aportando a la continuidad y escalabilidad de los proyectos energéticos de base comunitaria.

Finalmente, resulta fundamental que las CE se diseñen incorporando tecnologías limpias y soluciones adaptadas a las realidades específicas de cada territorio, teniendo en cuenta no solo las condiciones climáticas locales, sino también las dinámicas productivas, las prácticas socioculturales y los saberes comunitarios. Integrar estos elementos permite desarrollar soluciones energéticas pertinentes, sostenibles y resilientes.

En particular, el componente climático debe ocupar un lugar central en el diseño y planificación de las CE. Su incorporación desde el inicio se configura como un factor determinante para la sostenibilidad técnica y social de los sistemas, permitiendo también orientar estrategias de adaptación que respondan al contexto de alta vulnerabilidad climática que enfrentan muchos territorios en Colombia.

En las cuatro comunidades piloto analizadas se identificaron eventos climáticos como sequías prolongadas, alteraciones en los patrones de lluvia, aumento de temperaturas y cambios en los vientos como las principales amenazas para su seguridad energética, hídrica y alimentaria. Estos eventos, cada vez más frecuentes e intensos, afectan directamente los medios de vida locales y exigen respuestas estructurales que integren el Nexa Agua-Energía-Alimentos.

Notas finales

¹ La cifra sobre el número de CE en operación en el territorio nacional será actualizada con base en la información oficial que, se espera, sea emitida próximamente por el Ministerio de Minas y Energía del Gobierno de Colombia, teniendo en cuenta los avances en la implementación de estas comunidades desde 2024 hasta lo que va de 2026.

² La selección de las cuatro CE que presenta este documento se basó también en los criterios que se describen a continuación:

- Estado de implementación: se consideraron experiencias de autogeneración energética en diferentes etapas, desde la fase de diseño y la implementación temprana hasta iniciativas con un mayor grado de madurez.
- Accesibilidad (para el diálogo y geográfica): se valoró especialmente la facilidad para establecer diálogos con los líderes y las lideresas comunitarias y otros miembros de la comunidad, así como la posibilidad de realizar visitas al territorio por su facilidad de acceso y condiciones de seguridad.
- Diversidad de resultados: se incluyeron tanto casos exitosos como no exitosos, con el fin de obtener aprendizajes diversos sobre los procesos de conformación y gestión de las CE.

Acrónimos y abreviaturas

CE	Comunidades Energéticas
EC	Energías Comunitarias
E2050	Estrategia Climática de Largo Plazo de Colombia
FNCER	Fuentes No Convencionales de Energía Renovable
GEI	Gases de Efecto Invernadero
NDC	Nationally Determined Contributions (Contribución Nacionalmente Determinada)
MERL	Monitoring, Evaluation, Research and Learning (Monitoreo, evaluación, investigación y aprendizaje)
TEJ	Transición Energética Justa
ZNI	Zonas No Interconectadas

Referencias bibliográficas

- Albrecht, T.R., A. Crootof y C.A. Scott. 2018. "The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment". *Environmental Research Letters*: 13 043002: 1-26.
- Antonini, E.G.A., A. Di Bella, I. Savelli, L. Drouet y M. Tavoni. 2024. "Weather- and climate-driven power supply and demand time series for power and energy system analyses". *Scientific Data* 11: 1324. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-04129-8>
- Athayde, S., C.G. Duarte, A.L.C.F. Gallardo, E.M. Moretto, L.A. Sangoi, A.P.A. Dibo, J. Siqueira-Gay y L.E. Sánchez. 2019. "Improving Policies and Instruments to Address Cumulative Impacts of Small Hydro-power in the Amazon". *Energy Policy* 132: 265-271.
- Bain, K. y J. Florez. 2024. "Making the energy transition a justice one: A political analysis and collective ideas for action". <https://governanceactionhub.org/colombia-energy-transition-and-the-governance-action-hub/>
- Barron-Gafford, G.A., M.A. Pavao-Zuckerman, R.L. Minor, L.F. Sutter, I. Barnett-Moreno, D.T. Blackett, M. Thompson, K. Dimond, A.K. Gerlak, G.P. Nabhan y J.E. Mackinnon. 2019. "Agrivoltaics provide mutual benefits across the food-energy-water nexus in drylands". *Nature Sustainability* 2: 848-855. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>
- Bazilian, M., H. Rogner, M. Howells, S. Hermann, D. Arent, D. Gielen, P. Steduto, A. Mueller, P. Komor, R. Tol. y K.K. Yumkella. 2011. "Considering the Energy, Water and Food Nexus: Towards an Integrated Modelling Approach." *Energy Policy* 39 12: 7896-7906.
- Benbrahim-Tallaa, L., R.A. Baan, Y. Grosse, B. Lauby-Secretan, F.El Ghissassi, V. Bouvard, N. Guha, D. Loomis y K. Straif. 2012. "Carcinogenicity of diesel-engine and gasoline-engine exhausts and some nitroarenes". *News* 13 (7): 663-664.
- Camino hacia Carbono Neutral. 2024. "Guía para el desarrollo de comunidades energéticas hacia el fomento de economías locales". Colombia Inteligente. <https://colombiainteligente.org/tendencias/guia-para-el-desarrollo-de-comunidades-energeticas-hacia-el-fomento-de-economias-locales/>
- Congreso de la República de Colombia. Ley 1715 de 2014. Por la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Diario Oficial 49.150 de 2014. http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html
- Consejo Comunitario de las Comunidades Negras de La Plata-Bahía Málaga, R. Valencia, I. Díaz, A. García, C.J. Hurtado, A. Palma, S. Valencia. 2017. "Plan de Bienestar Étnico Territorial del Consejo Comunitario de las Comunidades Negras de La Plata-Bahía Málaga 2019 -2028". Alfagraphics E.U. Cali. Colombia.
- Colmenares-Quintero, R.F., G. Maestre-Gongora, O.C. Valderrama-Riveros M. Baquero-Almazo y K.E. Stansfield. 2023. "A Data-Driven Architecture for Smart Renewable Energy Microgrids in Non-Interconnected Zones: A Colombian Case Study". *Energies* 16(23): 7900. <https://doi.org/10.3390/en16237900>
- Cuppari, R.I., C.W. Higgins y G.W. Characklis. 2021. "Agrivoltaics and Weather Risk: a Diversification Strategy for Landowners". *Applied Energy* 291:116809.
- Díaz, C. 2024. "Construyendo Comunidades Energéticas: Esfuerzos colaborativos para una transición justa". Blog. Results for Development. <https://r4d.org/blog/construyendo-comunidades-energeticas-esfuerzos-colaborativos-transicion-justa/>
- DNP (Departamento Nacional de Planeación). 2022. Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia, Potencia Mundial de la Vida. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/plan-nacional-de-desarrollo-2022-2026-colombia-potencia-mundial-de-la-vida.pdf>
- Durán, J., J.D. Reina y C. Useche. 2025. "Comunidades Energéticas en Colombia: Historias de éxito, desafíos y aprendizajes en el marco de la Transición Energética Justa". Blog. World Resources Institute. <https://es.wri.org/insights/comunidades-energeticas-en-colombia-historias-de-exito-desafios-y-aprendizajes-en-el-marco>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2014. "Walking the Nexus Talk: Assessing the Water-Energy-Food Nexus in the Context of the Sustainable Energy for All Initiative". www.fao.org/3/a-i3959e.pdf
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2020. "Food loss and waste must be reduced for greater food security and environmental sustainability". www.fao.org/news/story/en/item/1310271/icode/
- FENOGE (Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía). 2024. "Comunidad Energética de Bocas del Palo". Noviembre 25. <https://fenoge.gov.co/proyectos/comunidad-energetica-bocas-del-palo/>
- FENOGE (Fondo de Energías no Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía). 2025. "Comunidad Energética de Bahía Málaga". <https://fenoge.gov.co/proyectos/comunidad-energetica-de-bahia-malaga/>
- Flanagan, K., K. Robertson y C. Hanson. 2019. "Reducing Food Loss and Waste: Setting a Global Action Agenda". World Resources Institute. <https://www.wri.org/research/reducing-food-loss-and-waste-setting-global-action-agenda>.
- Global Nexus Platform. 2015. "Nexus: The Water, Energy & Food Security Resource Platform". <https://www.water-energy-food.org/nexus-platform-the-water-energy-food-nexus/>
- González, A.B.P., J.E. Viglio y Ferreira L. da C. (2022a). "Energy communities in sustainable transitions: The South American case". *Sustentabilidade Em Debate*. 13(2): 156-174. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v13n2.2022.41266>
- González, A.B.P., J.E. Viglio y L. da C. Ferreira. (2022b). "Comunidades Energéticas na América Latina: Visando uma transição energética a partir da noção de Bem Viver". *Desenvolvimento em Questão*. 20(58), 58. <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2022.58.11832>
- Goosen, M., H. Mahmoudi, Y. Alyousef, N. Ghaffour. 2023. "Solar desalination: A review of recent developments in environmental, regulatory and economic issues". *Solar Compass* 5: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.solcom.2023.100034>.
- Grupo Semillas, Fastenaktion, Corpoema y EBP. 2023. "La inclusión energética como motor de desarrollo centrado en la comunidad". Bogotá, Colombia. <https://semillas.org.co/es/la-inclusion-energetica-como-motor-de-desarrollo-centrado-en-la-comunidad>

- Harvey, C., J.C. Babativa y A.D. Bahamón. 2024. "Viabilidad económica de los sistemas agrivoltaicos en Colombia". *Semestre Económico* 27(62): 2248-4345. <https://doi.org/10.22395/seec.v27n62a4561>
- Hassanien R.H.E. y M. Li. 2017. "Influences of greenhouse-integrated semi-transparent photovoltaics on microclimate and lettuce growth". *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 10(6): 11-22.
- Heinemann, G., A. Ramírez, P. Alidadi y C. von Hirschhausen. 2024. "From Vision to Action: Building Sustainable Energy Communities in Colombia". *International Association for Energy Economics* 36-44. <https://www.iaee.org/en/publications/newsletterdl.aspx?id=1076>.
- IATI (International Aid Transparency Initiative). 2025. "Supporting Colombia's Just Energy Transition, climate resilience, and food security by introducing inclusive agri-photovoltaic systems (JET-AgriSOL)". Abril 25. <https://datastore.iatistandard.org/activity/XI-IATI-IKI-17009496>
- IDEAM, Fundación Natura, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2021. "Tercer Informe Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CM-NUCC)". <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BUR3%20-%20COLOMBIA.pdf>
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2024. Comunicación N.o 23. "¿Cómo avanza El Niño?"
- IEA (International Energy Agency). 2021. "Climate Impacts on Latin American Hydropower". IEA, París. <https://www.iea.org/reports/climate-impacts-on-latin-american-hydropower>
- IEA (International Energy Agency). 2023. "Colombia Country profile". IEA Data Services. <https://www.iea.org/countries/colombia/electricity>
- IFC (International Finance Corporation). 2019. "The Dirty Footprint of the Broken Grid: The Impacts of Fossil Fuel Back-up Generators in Developing Countries". World Bank Group. Washington D.C., USA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2023. "Summary for Policymakers". En *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, editado por H. Lee y J. Romero, 1-34. IPCC, Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- IPSE (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas). 2023. "Caracterización Energética de las ZNI". IPSE-CNM. <https://ipse.gov.co/cnm/caracterizacion-de-las-zni/>
- IRENA (International Renewable Energy Agency). 2015. "Renewable Energy in the Water, Energy & Food Nexus". https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Water_Energy_Food_Nexus_2015.pdf
- IRENA y FAO. 2021. "Renewable energy for agri-food systems – Towards the Sustainable Development Goals and the Paris agreement". Abu Dhabi and Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7433en>.
- Jägerskog, A., T.J. Clausen, T. Holmgren y K. Lexén (eds.). 2015. "Water for Development – Charting a Water Wise Path". Report N.o 35. SIWI, Stockholm.
- Khan, N., A. Kail, N. Abas, y A. Haider. 2017. "Review of ocean tidal, wave and thermal energy technologies". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72: 590-604.
- Lange, B., C. Priesemann, M. Geiss y A. Lambrecht. 2016. "Promoting food security and safety via cold chains: Technology options, cooling needs and energy requirements". *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, Eschborn*. [https://energypedia.info/wiki/File:GIZ_\(2016\)_-_Promoting_Food_Security_and_Safety_via_Cold_Chains.pdf](https://energypedia.info/wiki/File:GIZ_(2016)_-_Promoting_Food_Security_and_Safety_via_Cold_Chains.pdf)
- Lalawmpuii, P.K.R. 2023. "Role of water-energy-food nexus in environmental management and climate action". *Energy Nexus* 11: 100230. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100230>.
- Mateus, A. C. 2016. "Crisis energética en Colombia". *Tecnología, Investigación y Academia* 4(2): 74-81.
- Mpandeli, S., D. Naidoo, T. Mabhaudhi, C. Nhemachena, L. Nhamo, S. Liphadzi, S. Hlahla, y A.T. Modi. (2018). "Climate Change Adaptation through the Water-Energy-Food Nexus in Southern Africa". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15 (10): 2306.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2021. "Contribución Determinada a Nivel Nacional: Actualización 2020". Bogotá: Gobierno de Colombia, 2021. <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/NDC%20actualizada%20de%20Colombia.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Visión Amazonía. 2025. "El reto de llevar energía a la Amazonía". Marzo 2025. <https://visionamazonia.minambiente.gov.co/news/el-reto-de-llevar-energia-a-la-amazonia-colombiana/>
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia. 2023. "Diagnóstico base para la Transición energética Justa". https://www.minenergia.gov.co/documents/12591/DIAGN%C3%93STICO_BASE_PARA_LA_TRANSICI%C3%93N_ENERG%C3%89TICA_JUSTA_-_2024.pdf
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia. 2024a. "Metodología General Estrategia Comunidades Energéticas". <https://www.minenergia.gov.co/documents/13312/Metodologia-General-Estrategia-Nacional-Comunidades-Energeticas-2024.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia. 2024b. "Informe sobre pobreza energética multidimensional en Colombia 2022-2023". / <https://www.minenergia.gov.co/documents/13267/Pobreza-energetica-MME-2025.pdf>
- Mei-Hua, Y. y L. Shang-Lien. 2022. "Principles of food-energy-water nexus governance". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15:111937. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111937>.
- Morales, H.J. 2022. "Análisis del impacto socioambiental de las hidroeléctricas El Quimbo e Hidroituango en Colombia". (Trabajo de grado, Fundación Universidad de América) Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8954>
- Flórez, J.M. 2024. "La luz perdida: cuando el sol se apagó en las islas". Mutante, 11 de marzo de 2024. <https://mutante.org/contenidos/la-luz-perdida-cuando-el-sol-se-apago-en-las-islas/>.
- Naranjo, L. y B.A. Willaarts. 2020. "Guía metodológica: diseño de acciones con enfoque del Nexo entre agua, energía y alimentación para países de América Latina y el Caribe". Serie Recursos Naturales y Desarrollo, N.º 197 LC/TS.2020/117, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

- Naidoo, D., L. Nhamo, S. Mpandeli, N. Sobratee, A. Senzanje, S. Liphadzi, R. Slotow, M. Jacobson, A. T. Modi y T. Mabhaudhi. 2021. "Operationalising the water-energy-food nexus through the theory of change". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 149: 111416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111416>.
- Nhamo, L., S. Mpandeli, S. Liphadzi y T. Mabhaudhi. 2025. "Catalyzing sustainable development goals through the water-energy-food nexus". *iScience* 28 (2): 111902
- Ecodes (Fundación Ecología y Desarrollo). 2024. Informe de indicadores 2024: Observatorio de comunidades energéticas. Observatorio de Energía Común, Zaragoza..
- Parker, C., S. Scott y A. Geddes. 2019. "Snowball Sampling." En *SAGE Research Methods Foundations*, editado por P. Atkinson, S. Delamont, A. Cernat, J. W. Sakshaug, and R. A. Williams, 15-30. Londres: SAGE Publications.
- Presidencia de la República de Colombia. 2023. Decreto 2236 de 2023 "Por medio del cual se adiciona al Decreto 1073 de 2015 con el fin de reglamentar parcialmente el artículo 235 de la Ley 2294 de 2023 del Plan Nacional de Desarrollo 2022 - 2026 en lo relacionado con las Comunidades Energéticas en el marco de la Transición Energética Justa en Colombia", Diario Oficial 52.617 de 2023. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=227230>
- Presidencia de la República de Colombia. 2024. "Ya funcionan en Colombia 100 comunidades energéticas que están en manos de la gente, anunció Minminas". <https://www.presidencia.gov.co/prensa/Paginas/Ya-funcionan-en-Colombia-100-comunidades-energeticas-que-estan-en-manos-241011.aspx>. Último acceso abril 2025.
- Ramírez-Tovar, A.M., L. Duque Restrepo, C. Rodríguez, J.M. España y J.P. Cárdenas. 2023. "Guía para desarrollar comunidades energéticas en Colombia". https://www.eia.edu.co/wp-content/uploads/2023/10/2.-Guias-Comunidades_Espanol_vfinal.pdf
- Guerrero, O.C., I. Galán. 2022. "Comunidades de Isla Múcura, entre la erosión y el ascenso del nivel del mar". Red Prensa Verde <https://redprensaverde.org/2022/11/18/comunidades-de-isla-mucura-entre-la-erosion-y-el-ascenso-del-nivel-del-mar/>
- Sandoval, L. 2024. "Energías alternativas son usadas por comunidades indígenas al norte del Cauca". En *¿Hacia dónde va el campo colombiano?*, editado por Grupo Semillas, n.o 80. <https://semillas.org.co/es/revista/80>
- Soler-Villamizar, J.P. y A.J. Rankin. 2021. "Energías comunitarias para la transición justa". *Gestión y Ambiente* 24 (Supl2): 252-66. <https://doi.org/10.15446/ga.v24nsupl2.92941>
- Soler J.P., L. Villamizar, F. Jiménez, Y. L. Mora, D.M. Giraldo, H. Morantes, C. Avendaño y L.L. Sandoval. 2023. "Promoción y fortalecimiento de las Energías Comunitarias en Colombia". <https://censat.org/wp-content/uploads/2023/03/Promocion-y-fortalecimiento-de-las-Energias-Comunitarias-en-Colombia.pdf>
- Sovacool, B.K. 2012. "Energy Security: Challenges and Needs". *WIREs Energy and Environment* 1(1): 5159.
- Strojny, J., A. Krakowiak-Bal, J. Knaga y P. Kacorzyk. 2023. "Energy Security: A Conceptual Overview". *Energies* 16, 5042. <https://doi.org/10.3390/en16135042>
- Soto-Gómez, D. 2024. "Integration of Crops, Livestock, and Solar Panels: A Review of Agrivoltaic Systems". *Agronomy* (14): 1824. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081824>
- Tolba, H.A., M. Khalifa, I. McNamara, L. Ribbe y J. Sycz. 2018. "The Water-Energy-Food Security Nexus: A review of nexus literature and ongoing Nexus initiatives for Policymakers". Nexus Regional Dialogue Programme (NRD). Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- Transforma. 2025. Observatorio de Transición Energética Justa. <https://observatorio-tej-transforma.com/>. Último acceso diciembre 2025.
- UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética), Pontificia Universidad Javeriana, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Colciencias. 2015. "Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia". Capítulo 1. Hidroenergía. Bogotá, Colombia.
- UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética). 2023. "Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica 2019-2023". https://www1.upme.gov.co/siel/PIEC/2019-23/PIEC_2019-2023_VF.pdf
- Urquiza, A y M. Billi. 2020. "Agua para el futuro: Estrategia de seguridad hídrica para América Latina y el Caribe. Definición y aproximación territorial para el análisis de brechas y riesgos de la población". Documentos de Proyectos (LC/TS. 220/138). Santiago. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Walker, S. 2020. "Triple Threat: Water, Energy and Food Insecurity". World Resources Institute. October 19, 2020. <https://www.wri.org/insights/triple-threat-water-energy-and-food-insecurity>
- WEF (World Economic Forum). 2011. "Water Security: Water-Food-Energy-Climate Nexus". The World Economic Forum Water Initiative, editado por Dominic Waughray. Washington D.C., USA: Island Press.
- Yildiz, I. 2019. "Review of climate change issues: A forcing function perspective in agricultural and energy innovation". *International Journal of Energy Research* 43(6): 2200–2215. doi:<https://doi.org/10.1002/er.4435>.
- Zuleta, I.C. 2021. "Hidroituango: Un desastre socioambiental con responsabilidad internacional". *Eclairages*. 17. <https://doi.org/10.4000/ideas.10005>

AGRADECIMIENTOS

Las y los autores expresan su profundo agradecimiento por los valiosos comentarios y recomendaciones proporcionados por las organizaciones e individuos que participaron en las consultas realizadas como parte del proceso de elaboración de este documento.

Agradecemos especialmente al Governance Action Hub, en particular a Carlos Díaz y a Jorge Aponte; a Polen Transiciones Justas, sobre todo a Nadia Combariza y Juan Pablo Díaz; al Grupo Semillas, con Fernando Castrillón Zapata, Yasmin Mora y otros colaboradores; a Corpoema y a la GIZ, en especial a Carolina Nocua, Nidya Chaparro y Laura García, y al Fenoge, en particular a Luis Miguel Renjifo. También extendemos el agradecimiento a las comunidades visitadas en las regiones Caribe, Pacífico y Andina, a sus líderes y lideresas, a los miembros del Consejo Comunitario de La Plata – Bahía Málaga y del Consejo Comunitario de Comunidades Negras del Archipiélago de San Bernardo, a los resguardos indígenas de Tamirco y Palma Alta, a las agremiaciones y asociaciones de pescadores, piangüeras, agricultores, juntas de acción comunal de Mingueo y Múcura, y a todas y todos quienes, en territorio, nos apoyaron para entender la complejidad de este tipo de iniciativas en su diseño e implementación.

Además, queremos agradecer al Ministerio de Minas y Energía, especialmente al grupo de Comunidades Energéticas, en cabeza de Jorge Aponte y su equipo de trabajo, por las reflexiones y retroalimentación de los resultados de este estudio. Este documento es parte de la investigación realizada en el marco del proyecto titulado "Accelerating Just Transitions in Colombia", financiado por el Ministerio de Asuntos Exteriores de Dinamarca.

Finalmente, las y los autores expresan un profundo agradecimiento a quienes evaluaron esta publicación: Sylvana Bohrt, Juan Sebastián Arbeláez, Carolina Nocua Sánchez, Leonardo Aponte Pulido y Carlos Díaz. También se agradece al equipo de WRI, especialmente a Carlos Muñoz Piña (editor de esta publicación), así como a Sara Botero y Anamaría Martínez del equipo de Investigación, Datos e Impacto.

Para esta investigación, Juliana Durán aportó en el diseño e implementación del estudio, al registro y validación de los resultados, así como a la elaboración, revisión y edición del manuscrito. Andrea Méndez y Hector Donado contribuyeron a la elaboración y revisión del manuscrito. Juan David Reina definió la metodología general de trabajo, realizó la curaduría de los datos recolectados en campo y llevó a cabo el análisis formal de los resultados de la investigación. Carolina Useche, por su parte, participó en la conceptualización e implementación del estudio.

ACERCA DE LA AUTORÍA

Juliana Durán Prieto es Coordinadora de Proyectos del programa de Clima, Economía y Finanzas de WRI Colombia.
Contacto: Juliana.Duran@wri.org

Héctor Miguel Donado es Coordinador de investigación y proyectos del programa de Clima, Economía y Finanzas del World Resources Institute.
Contacto: Hector.Donado@wri.org

Andrea Méndez es Asociada de Gestión de Proyectos del programa de Clima, Economía y Finanzas del World Resources Institute.
Contacto: Andrea.Mendez@wri.org

Juan David Reina es Consultor Externo de Comunidades Energéticas del programa de Clima, Economía y Finanzas de WRI Colombia.
Contacto: juan.david.reina@gmail.com

Carolina Useche es Directora del programa de Clima, Economía y Finanzas de WRI Colombia.
Contacto: Carolina.Useche@wri.org

ACERCA DE WRI

El Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés) trabaja para mejorar la vida de las personas, proteger y restaurar la naturaleza, y estabilizar el clima. Como una organización de investigación independiente, utilizamos nuestros datos, experiencia y alcance global para incidir en políticas y catalizar cambios en sistemas como los alimentos, la tierra y el agua; la energía y las ciudades. Nuestro equipo de más de 2.000 personas trabaja directamente en más de una docena de países prioritarios y con socios en más de 50 naciones.



Copyright 2026 World Resources Institute. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.
To view a copy of the license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>