

# enerLAC

Revista de  
Energía de  
Latinoamérica  
y el Caribe

Electrificación de la última milla del corredor seco mesoamericano. Solución del nexo agua-alimentación-energía.

Valoración de factores de impacto para reducir las emisiones de carbono del autotransporte de carga en México.

Desafíos e incertidumbres del desarrollo sostenible en la planificación de la energía eléctrica. Un enfoque brasileño.

Vulnerabilidad energética en el área metropolitana de Buenos Aires. Caracterización del consumo y problemáticas en el Barrio Presidente Sarmiento.

Efficient heating of sanitary water with heat pump.

Medición de pobreza y vulnerabilidad energética de los hogares. El caso de la provincia de Río Negro, Argentina.

La coexistencia de energías renovables y convencionales en el partido de Bahía Blanca para el periodo 2013-2018



---

### COMITÉ EDITORIAL

Alfonso Blanco

*Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Ecuador.*

Pablo Garcés

*Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Ecuador.*

Marcelo Vega

*Asociación de Universidades Grupo Montevideo (AUGM). Uruguay.*

---

### COMITÉ AD-HONOREM

Andrés Romero C.

*Pontificia Universidad Católica de Chile.*

Leonardo Beltrán.

*Institute of the Americas. México.*

Manlio Coviello.

*Pontificia Universidad Católica de Chile.*

Mauricio Medinaceli.

*Investigador independiente. Bolivia.*

Ubiratan Francisco Castellano.

*Investigador independiente. Brasil.*

---

### COORDINADORES DE LA EDICIÓN

DIRECTOR GENERAL

Alfonso Blanco

DIRECTORES EJECUTIVOS

Pablo Garcés

Marcelo Vega

COORDINADORA DE PRODUCCIÓN

Blanca Guanocunga.

*Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).*

---

### COLABORADORES

Raquel Atiaja.

*Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).*

Ana María Arroyo. *Diseño y diagramación*

---

## REVISORES

José Alonso Mateos.

*Universidad Internacional de Valencia. España.*

Diego Coronel Bejarano.

*Universidad Nacional de Asunción. Paraguay.*

Byron Chilinguina.

*Consultor independiente. Ecuador.*

Pedro Díaz Fustier.

*Universidad Tecnológica de la Habana.*

*Facultad de Ingeniería Eléctrica. Cuba.*

Sergio Fuentes.

*Universitat Politècnica de Catalunya. España.*

Fabio García Lucero.

*Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Ecuador.*

Marx Gómez Liendo.

*Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. (IVIC).*

*Venezuela.*

Luis Guerra Flores.

*Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Ecuador.*

María Ibáñez Martín.

*Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur  
(IIESS-UNS-CONICET). Argentina.*

José La Cal Herrera.

*Universidad de Jaén. España.*

Francisco Macías Aguilera.

*Universidad de Guanajuato. México.*

Marina Yesica Recalde.

*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de  
Argentina (CONICET).*

Rafael Soria.

*Escuela Politécnica Nacional (EPN). Ecuador.*

Hugo Zurlo.

*Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Argentina.*

---

© Copyright Organización Latinoamericana de Energía  
(OLADE) 2021. Todos los derechos reservados.

ISSN: 2602-8042 (Impresa)

ISSN: 2631-2522 (Electrónica)

Dirección: Av. Mariscal Antonio José de Sucre N58-63 y  
Fernández Salvador.

Quito - Ecuador

Página web Revista ENERLAC: <http://enerlac.olade.org>

Página web OLADE: [www.olade.org](http://www.olade.org)

Mail ENERLAC: [enerlac@olade.org](mailto:enerlac@olade.org)

Teléfonos: (+593 2) 2598-122 / 2598-280 / 2597-995

Fotografía de la portada Wilhem Gunkel en Unsplash. Fotografía  
de la contraportada Alexander Schimmeck en Unsplash.

Diseño de la portada y contraportada Ana María Arroyo.

### NOTA DE RESPONSABILIDAD DE CONTENIDO

Las ideas expresadas en este documento son responsabilidad  
de los autores y no comprometen a las organizaciones  
mencionadas.



# ELECTRIFICACIÓN DE LA ÚLTIMA MILLA DEL CORREDOR SECO MESOAMERICANO. SOLUCIÓN DEL NEXO AGUA-ALIMENTACIÓN-ENERGÍA

*ELECTRIFICATION OF THE LAST MILE OF THE MESOAMERICAN DRY CORRIDOR.  
SOLUTION OF THE WATER-FOOD-ENERGY NEXUS*

David Ribó-Pérez <sup>1</sup>, Ángela Herraiz-Cañete <sup>2</sup>, Paula Casamayor-Segarra <sup>3</sup>, Karem del Castillo Velázquez <sup>4</sup>,  
Tomás Gómez-Navarro <sup>5</sup>, Sergio Zelaya-Bonilla <sup>6</sup>

Recibido: 01/06/2020 y Aceptado: 24/03/2021  
ENERLAC. Volumen V. Número 1. Junio, 2021 (10 - 33)  
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de Sigmund en Unsplash.

1 Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética. España.

[david.ribo@iie.upv.es](mailto:david.ribo@iie.upv.es)

<https://orcid.org/0000-0003-1089-5197>

2 Universitat Politècnica de València Instituto de Ingeniería Energética. España.

[Angelahc5@gmail.com](mailto:Angelahc5@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-4780-4375>

3 Consultor independiente. España.

[paula.casamayor@gmail.com](mailto:paula.casamayor@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-1476-8622>

4 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Italia.

[Karem.DelCastilloVelazquez@fao.org](mailto:Karem.DelCastilloVelazquez@fao.org)

<https://orcid.org/0000-0002-0941-9831>

5 Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética. España.

[tgomez@dpi.upv.es](mailto:tgomez@dpi.upv.es)

<https://orcid.org/0000-0001-6114-2414>

6 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Italia.

[Sergio.ZelayaBonilla@fao.org](mailto:Sergio.ZelayaBonilla@fao.org)

## RESUMEN

En este artículo presentamos una estrategia para resolver el trilema alimentación, agua y energía según los ODS. La estrategia fomenta las Comunidades Rurales Bajas en Carbono, comunidades sin acceso a la red de energía, situación habitual en el corredor seco mesoamericano. La estrategia va encaminada a la electrificación de la última milla, para ello se propone: (i) aumentar el acceso al agua y a la energía de forma local, (ii) mejorar la eficiencia energética en todas las etapas de la cadena de suministro; (iii) utilizar exclusivamente energías renovables endógenas; (iv) manejo sostenible de

recursos forestales; y (v) garantizar la seguridad alimentaria. La estrategia se aplica a la comunidad de El Santuario en Honduras. Se propone un proyecto de gestión de agua, producción de alimentos y biocombustibles, y una red híbrida de energías renovables. Hemos estudiado la viabilidad y el impacto de replicar esta solución a las comunidades rurales del corredor seco mesoamericano. Los impactos de escalar esta metodología contribuirían significativamente a que se cumplan los ODS.

**Palabras clave:** Desarrollo Rural, Electrificación Rural, Trilema Agua-Alimentación-Energía, Cambio Climático, Microrredes Híbridas, Energías Renovables, Honduras.

## ABSTRACT

*This article presents a strategy to solve the food energy water nexus according to the SDGs framework. The strategy intends to promote zero carbon rural communities in communities without access to electricity, a common situation in the Mesoamerican Dry Corridor. The strategy seeks to electrify the last mile tackling: (i) increase access to local resources of water and energy, (ii) improve the energy efficiency in all the steps of the value chain, (iii) exclusive use of local renewable energy sources, (iv) sustainable management of forests and (v) ensuring the food security. The strategy is applied to the rural community of El Santuario in Honduras. We propose a project of water management, food and biomass production and a renewable micro-grid. We study the viability and impact of replying this solutions to the rural communities in the Mesoamerican Dry Corridor and the impact of scaling this methodology to fulfill SDGs requirements.*

**Keywords:** Rural Development, Rural Electrification, Food Energy Water Nexus, Climate Change, Hybrid Micro-Grids, Renewable Energy, Honduras.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo expone una metodología integral para fomentar el desarrollo en comunidades rurales utilizando las microrredes renovables de electricidad (MRE) para fomentar acciones de mejora y resiliencia en el nexo agua-alimentación-energía (AAE). Se presenta un análisis metodológico de los elementos críticos a tratar, un caso de estudio en una comunidad rural en Honduras y las posibilidades de replicabilidad en comunidades semejantes de la zona del corredor seco mesoamericano.

El acceso a la electricidad es un factor clave para el desarrollo. Organizaciones internacionales como el Banco Mundial o la Agencia Internacional de la Energía aseguran que el acceso a la electricidad lleva asociadas mejoras en las condiciones socio-económicas, de salud, educación y equidad de género (Kanagawa and Nakata, 2008). La electricidad es esencial para el desarrollo de otras actividades económicas y por ello su ausencia se ha mencionado como una de las razones de la pobreza rural (Chaurey, Ranganathan and Mohanty, 2004). Sin embargo, casi mil millones de personas siguen sin acceso a la electricidad, algo que las Naciones Unidas está intentando paliar mediante el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 “Energía asequible y no contaminante” y el programa “*Sustainable Energy for All*”.

El 80% de las personas sin acceso a la electricidad viven en áreas rurales del África subsahariana, el sudeste asiático y Latinoamérica (International Energy Agency, n.d.). Estas zonas suelen encontrarse en zonas remotas y poco accesibles, algo que implica un elevado coste de inversión para extender las redes eléctricas centralizadas. Esta situación de aislamiento combinado con la reducción en costes de los sistemas de generación renovable y de almacenamiento han supuesto que las microrredes renovables de electricidad (MRE) se conviertan en una de las soluciones más viable y sean recomendadas por la IEA en


sus escenarios de electrificación (International Energy Agency, 2017).

Las MRE son instalaciones que combinan diferentes tecnologías energéticas renovables para suministrar electricidad en isla a comunidades rurales aisladas basándose en los recursos disponibles de la zona y han sido ampliamente probados en Latinoamérica. La electricidad generada se utiliza para consumos residenciales, comunitarios y productivos, de esta forma se mejora la situación dentro de las viviendas, pero también se facilita el acceso a tecnología en los centros educativos, zonas comunitarias, pequeños negocios o usos productivos agrícolas e industriales. Así, el acceso a energía tiene un particular efecto en la seguridad alimentaria (Sola, Ochieng, Yila, and Iiyama, 2016) pero también en la economía local que, comúnmente en zonas rurales, se caracteriza por sistemas agroalimentarios y la conservación de los ecosistemas mediante un manejo sostenible y la acción climática.

Los usos productivos de esta electricidad pueden traducirse en mejoras en la gestión hídrica de la zona y mejoras en la cadena agroalimentaria de tal forma que al abordar de forma holística la electrificación de estas zonas rurales se apoya a una mejora integral del trilema AAE. De esta forma, la electricidad no se planifica para únicamente dar respuesta a necesidades de iluminación o elementos electrónicos, sino que también tiene en cuenta el almacenamiento de alimentos en cámaras frigoríficas o el bombeo de agua para el riego de huertos familiares. Así, la solución se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 2 “Hambre cero”, 6 “Agua limpia y saneamiento” y 7 “Energía limpia y no contaminante”.

Este artículo presenta una metodología para abordar el trilema AAE desde la electrificación de comunidades rurales aisladas mediante MRE. La metodología es luego aplicada a un caso real de una comunidad rural en el corredor seco mesoamericano en Honduras.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera, en la siguiente sección se presenta la situación de la última milla latinoamericana. Posteriormente se presenta la metodología desarrollada para abordar la electrificación rural bajo un prisma de desarrollo rural y el nexo AAE. En la cuarta sección se aborda el caso de la comunidad El Santuario en Honduras. La escalabilidad de este tipo de actuaciones es caracterizada en el quinto apartado y en el sexto se extraen las conclusiones y recomendaciones.



**El 80% de las personas  
sin acceso a la  
electricidad viven en  
áreas rurales del África  
subsahariana,  
el sudeste asiático y  
Latinoamérica.**

## ÚLTIMA MILLA EN CENTROAMÉRICA

Basándonos en las tasas de acceso a la electricidad, pudiera parecer que la situación en el caso de Latinoamérica es buena, ya que actualmente un 97% de la población cuenta con cobertura eléctrica. Sin embargo, todavía existen 19.04 millones de personas que carecen del acceso a esta forma de energía (Iorio y Sanin, 2019). Aunque esta cantidad es menor comparada con otras regiones como África Subsahariana o India; la mayoría de la población sin conexión eléctrica en Latinoamérica habita en áreas remotas, con dispersión geográfica e insuficientes infraestructuras. Lo cual supone una mayor dificultad en lograr el objetivo de abastecer eléctricamente al 100% de la población

(AECID; CNMC; Ariae, 2016) debido a la alta inversión y esfuerzos necesarios para electrificar ese último 3% restante. Es la denominada “dispersión de la denominada última milla”, según la literatura científica y organismos como el BM (Banco Mundial, 2018; González García y Pérez Arriaga, 2018).

Aunque los reguladores energéticos de la región hayan hecho una gran labor previamente expandiendo las redes eléctricas nacionales aumentando en gran medida las tasas totales de suministro eléctrico (CNMC, 2017), para continuar progresando hacia el acceso universal resulta imprescindible lidiar con las dificultades relacionadas con la electrificación y el suministro de servicio eléctrico de última milla en zonas remotas que suelen encontrarse a su vez en situaciones de exclusión, con servicios básicos, altos costes de suministro y escasos ingresos. En otras palabras, poblaciones con alto grado de pobreza multidimensional (CNMC, 2017).

Debido a esta situación, en América Latina los esfuerzos están siendo concentrados en electrificar “la última milla” (González García y Pérez Arriaga, 2018), precisando para ello nuevos modelos de servicio, implementación y regulación, nuevos actores, y nuevos mecanismos e instrumentos (CNMC, 2017).

Centroamérica no es ajena a las dificultades presentadas previamente en cuanto a la universalización del acceso a la electricidad en Latinoamérica. En el año 2017, la población centroamericana contaba con una tasa de electrificación media del 90%, ubicándola por encima del promedio mundial pero dejando a 4.7 millones de personas sin abastecimiento eléctrico, de las cuales el 75% habita en las zonas rurales centroamericanas donde una de cada cinco personas no cuenta con acceso a la energía (IEA, 2020). Haciendo una comparativa entre los países centroamericanos, se puede determinar que, mientras Costa Rica cuenta con la mayor tasa de electrificación de alrededor del 99%, Honduras muestra el menor nivel de electrifica-

ción con un 75% aproximadamente. Dos tercios de los territorios centroamericanos sin electrificar se concentran en Nicaragua y Guatemala, es decir, alrededor de 3.1 millones de personas (Instituto Centroamericano de Estudios Fiscales, 2018). Dentro de Centroamérica, el corredor seco mesoamericano es además unas de las zonas de mayor riesgo a las consecuencias del cambio climático, en gran parte sequías como las ya padecidas en el último lustro (FAO, 2016).

Por tanto, la descentralización energética aparece como una alternativa con potencial para proveer de energía a las áreas rurales. Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), para suministrar electricidad de manera universal, el 55% de toda la energía debe ser generada de manera descentralizada en pequeñas redes y sistemas de energía independientes, como los paneles solares y los molinos de viento (International Energy Agency, 2017). Esta solución garantizaría que las comunidades rurales tuviesen acceso a la energía eléctrica implementando cerca del punto de consumo sistemas de producción energética (Instituto Centroamericano de Estudios Fiscales, 2018).

La descentralización, además, presenta una serie de ventajas al poder tomar las poblaciones rurales un rol activo en su desarrollo, transformar su estructura productiva, empoderar a la comunidad y aprovechar fuentes energéticas renovables locales, proteger los ecosistemas locales y contribuir a la mitigación y adaptación al cambio climático de las comunidades aisladas (Instituto Centroamericano de Estudios Fiscales, 2018). La descentralización energética debe ir acompañada de medidas complementarias en otros ámbitos diferentes al tecnológico que incorporen modelos innovadores. De esta manera garantizando una solución integral que recorra esa última milla restante, como alianzas entre actores, nuevos marcos regulatorios y planificación eléctrica.

En este contexto, presentamos una metodología para materializar esta mirada holística de de-

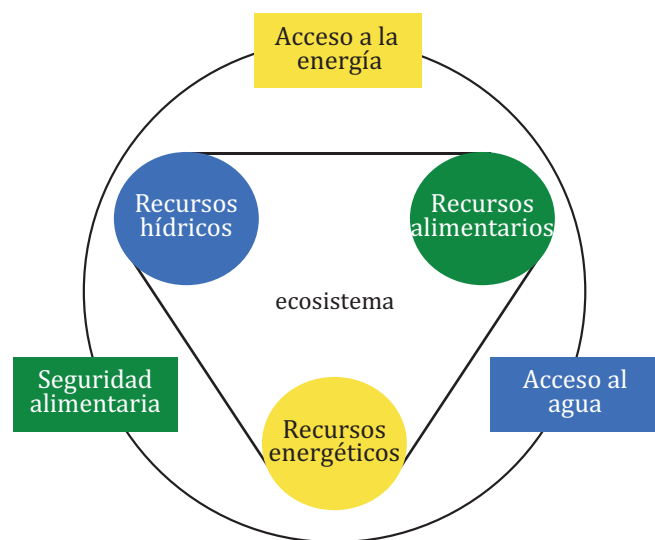
sarrollo que permita electrificar la última milla con un enfoque en la mejora de las condiciones del nexo AAE y permita estimular la seguridad alimentaria e hídrica local.

## ESTRATEGIA PARA LA ELECTRIFICACIÓN Y DESARROLLO RURAL

### Aproximación al nexo Agua-Alimentación-Energía

La FAO define el nexo Agua-Alimentación-Energía como un concepto que describe y aborda la compleja interrelación entre los sistemas de recursos existentes y nuestra dependencia de estos para conseguir nuestros objetivos económicos, medioambientales y sociales (FAO, 2014). Los recursos alimentarios, energéticos e hídricos están fuertemente relacionados y las acciones o usos de uno tienen impactos y consecuencias en la disponibilidad y calidad de los otros. Es claro el ejemplo global de la disminución de los recursos alimentarios y la presión sobre los recursos hídricos asociados al cultivo de biocombustibles, poniendo así en riesgo la seguridad alimentaria y el acceso al agua (Bazilian et al., 2011; Bonn Conference Synopsi, 2012).

Figura 1. Interacciones nexo AAE



Fuente: Elaboración propia basado en (Guijarro y Sánchez, 2015)



La Tabla 1 presenta un resumen de interacciones que pueden existir entre los diferentes componentes del nexo y que a su vez presentan una afección sinérgica de las consecuencias del cambio climático.

Tabla 1. Interacción entre los componentes del nexo AAE

|              | <b>Agua</b>  | <b>Alimentación</b>   | <b>Energía</b>  |
|--------------|--|---|---|
| Agua         | -  | Competición entre agua para usos sanitarios y producción de alimentos (ganadería, agricultura...) | Desalinización mediante renovables<br>Tratamiento de aguas mediante renovables<br>Irrigación con bombeo solar |
| Alimentación | Irrigación, fertilizantes y procesado de alimentos<br>Contaminación de aguas                 | -   | Mecanización agrícola<br>Producción de fertilizantes<br>Procesado, conservación y distribución de alimentos   |
| Energía      | Producción biocombustibles<br>Plantas hidroeléctricas<br>Refrigeración de generación térmica | Uso de tierras para producción de biocombustibles<br>Valorización de residuos agrícolas           | -   |

Fuente: Elaboración propia basado en (FAO, 2014; Reinhard, Verhagen, Wolters, and Ruben, 2017)

Basado en lo propuesto por Reinhard et al. (2017), para acercarse al nexo de una forma sistémica es necesario definir los límites del sistema, los problemas, las prioridades y los objetivos. Identificar las actividades relacionadas con el nexo, necesarias para conseguir los objetivos e integrar a los actores para obtener un resultado que tenga en cuenta los impactos cruzados en los tres elementos del nexo AAE.

Siguiendo este planteamiento, se propone una metodología que, teniendo en cuenta el objetivo de solucionar el problema del acceso a la electricidad de la última milla, se plantee las

soluciones de forma que produzca efectos colaterales positivos y no negativos en el resto de los componentes del nexo.

### **Necesidades energéticas**

El acceso a la electricidad suele suponer grandes saltos en la disponibilidad energética de las familias tanto de forma cuantitativa como de forma cualitativa. Asimismo, ayuda a abastecer consumos comunitarios y de usos productivos.

En la actualidad, los usos energéticos de estas comunidades consisten en consumos de biomasa

seca para la cocina, iluminación y climatización de las viviendas. Tras el salto al acceso a la electricidad, los estudios estiman que las necesidades energéticas básicas para asegurar unos niveles mínimos de desarrollo humano en zonas rurales son aproximadamente de 90 kWh por mes y vivienda (He and Reiner, 2014). Estos consumos residenciales son fundamentalmente en iluminación, climatización y uso de electrodomésticos como pequeñas neveras, computadoras o televisiones.

Asimismo, las comunidades rurales suelen tener necesidades energéticas en las zonas comunitarias ya sean exteriores a nivel de iluminación o zonas interiores como los centros religiosos, cocinas comunitarias o zonas educativas. A estos usos, puede ser también necesaria la inclusión de sistemas que afectan al nexo AAE como las necesidades energéticas de un sistema de saneamiento de agua, bombeos y almacenamiento o equipamientos agroalimentarios comunales o privados. Estos consumos tienen su correlación directa y han de ser tenidos en cuenta respecto a las necesidades de los otros dos elementos del nexo.

### **Impacto en el recurso hídrico**

No es casualidad que, en muchas poblaciones en localidades remotas, la falta de acceso a la energía se combina con la falta de acceso a agua potable y saneamiento (Smart Villages, 2016). Algo que se combina con la situación climática del corredor seco, con grandes déficits hídricos. Por ello es de suma importancia tomar conciencia de las interacciones positivas y negativas existentes entre estos dos elementos del nexo y contar con soluciones de desarrollo que maximicen las sinergias e impactos beneficiosos y que, a la vez, gestionen equilibradamente las compensaciones necesarias entre el suministro de energía y el acceso al agua (Smart Villages, 2016).

La energía es necesaria para el acceso, suministro, distribución, reciclaje y purificación del agua. En

localidades costeras con escaso o nulo acceso a aguas subterráneas, es posible obtener agua desalinizada consumiendo energía mecánica o térmica. El funcionamiento de los biodigestores y la generación de biogás necesitan considerables cantidades de agua y los paneles solares requieren de una cuantía reducida de agua para su limpieza y buen funcionamiento.

El caso del bombeo el recurso hídrico contenido en acuíferos u otras fuentes para distribuirlo y dirigirlo a parcelas de producción agrícola puede conllevar el riesgo de sobreexplotación del recurso hídrico por los bajos costes de operación. Sin embargo, se trata de una solución económica de bombeo descentralizado muy potente que contribuye a la expansión de la irrigación local sin necesidad de acceder a la red. Por ello se recomienda una gestión sostenible del uso del agua en poblaciones rurales aisladas con escasos recursos, y recolectar agua de lluvia siempre que sea posible.

### **Impacto en la seguridad alimentaria**

El acceso a energía eléctrica para uso doméstico tiene distintos beneficios para la seguridad alimentaria de comunidades rurales. En 1996, la Cumbre Mundial sobre la Alimentación definió que la seguridad alimentaria existe cuando “todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias, para llevar una vida activa y sana” (CEPAL, 2020). Esta definición incluye cuatro dimensiones:

1. la disponibilidad física de los alimentos,
2. el acceso económico y físico a los alimentos,
3. la utilización de los alimentos y
4. la estabilidad en el tiempo de las tres dimensiones anteriores.

El acceso a la energía es esencial para garantizar la seguridad alimentaria, pues facilita la producción, procesamiento y conservación de los alimentos; abriendo también nuevas oportunidades económicas en las zonas rurales que crean resiliencia y fortalecen los medios de vida (WFP, 2019).

La electrificación por medio de energías renovables proporciona la energía que los beneficiarios necesitan para alcanzar todas las dimensiones de seguridad alimentaria: disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad.

Representa un aumento de la disponibilidad en la producción de alimentos, el acceso a la energía aumenta la eficiencia y los rendimientos de cultivo. Las bombas de agua permiten la extracción, la distribución y el uso del agua para riego. Se logra así, el cultivo de nuevas especies agrícolas y la introducción de huertos familiares. Esto permite la diversificación de la dieta, siendo más resiliente y nutritiva. Permite también una mejora al acceso ya que los sistemas de energía bioquímicos transforman los desechos orgánicos en energía gaseosa y fertilizantes de suelo. Además, el consumo mejorado de leña, permite el ahorro de recursos económicos que pueden ser utilizados para comprar alimentos, combustibles e insumos agrícolas, como fertilizantes.

Respecto a la utilización, el acceso a la energía permite el almacenamiento y tratamiento (por ejemplo, refrigeración, secado, pasteurización, fermentación y envasado) que reducen la pérdida de alimentos después de la cosecha y mejoran la calidad de los alimentos, aumentando la disponibilidad de alimentos nutritivos a nivel doméstico y permitiendo a los agricultores controlar el momento de las ventas de cultivos, mejorando los ingresos del hogar. Finalmente, la electricidad ayuda a mejorar la estabilidad en el aprovechamiento de los recursos ya que mejora la capacidad de contar con energía eléctrica para almacenar estacionalmente agua y alimentos que suelen reducir durante la temporada seca.

## Soluciones energéticas

La selección de la mejor combinación de tecnologías para una MRE lleva asociado un proceso de análisis a nivel económico, tecnológico, medioambiental, social e institucional (Ribó-Pérez, Bastida-Molina, Gómez-Navarro, and Hurtado-Pérez, 2020). Se han de tener en cuenta los recursos energéticos locales, los costes de instalación y operación, pero también elementos como la demanda esperada o los apoyos a nivel institucional. La importancia de estos factores determinará la combinación de tecnologías energéticas más interesantes entre solar fotovoltaica, biomasa, eólica, baterías, hidráulica.

La zona del corredor seco mesoamericano presenta un buen recurso solar, dispone de biomasa leñosa y residuos agrícolas, y zonas con potencial eólico. Sin embargo, la escasez de agua dificulta la utilización de tecnologías hidráulicas o la valorización energética de la biomasa mediante la digestión anaerobia. Además, el recurso eólico resultó poco adecuado por inconstante y poco denso energéticamente (ONUDI, 2013).

Los diferentes recursos locales se estiman con bases estadísticas locales o globales (NASA, 2020; Solargis, 2020) y las diferentes necesidades energéticas han de ser estudiadas y consultadas con la comunidad siguiendo métodos participativos y que involucren a la mismas en el diseño de la solución y análisis de sus necesidades (GIZ, 2016).

Una vez se dispone de una proyección de la demanda futura y los recursos disponibles, diferentes elementos de *software* pueden utilizarse para modelar el comportamiento de las tecnologías a instalar y la capacidad de abastecer a la demanda esperada. Para ello, se propone el uso del *software* HOMER®, un programa diseñado por NREL y que ha sido ampliamente probado y utilizado en el diseño de MRE rurales (Ahmad et al., 2018; Bahramara, Moghaddam, and Haghifam, 2016; Mamaghani,

Avella Escandon, Najafi, Shirazi, and Rinaldi, 2016).

De esta forma se obtiene una solución que puede combinar diferentes tecnologías, en nuestro caso, proponemos una solución para el corredor seco mesoamericano que combina la solar fotovoltaica con un gasificador de biomasa y baterías. De esta forma se asegura un suministro fiable, gestionable y 100% renovable basado en recursos locales abundantes (Ribó-Pérez et al., 2020).

### CASO DE ESTUDIO: EL SANTUARIO-HONDURAS

La comunidad rural de “El Santuario” (en adelante la comunidad) pertenece al pueblo de San

Ramón Arriba, ubicado en el departamento de Choluteca, Honduras. Esta región se ubica en el corredor seco mesoamericano. La comunidad está compuesta por 79 familias con un promedio de cinco miembros por familia. El Santuario se ubica en una zona de pendientes rodeada por una variedad de bosque seco, mayoritariamente de pino-encino, con fuentes de agua a nivel de quebradas (secas en verano). La economía local está principalmente basada en la agricultura de subsistencia y el trabajo agrícola temporal. La zona se dedica a la siembra de frijol, maicillo y maíz, pero el excedente para comercialización es mínimo. La comunidad desea la diversificación hacia cultivos agroecológicos impulsados por sus actores locales, en especial yuca, camote y la creación de huertos familiares.

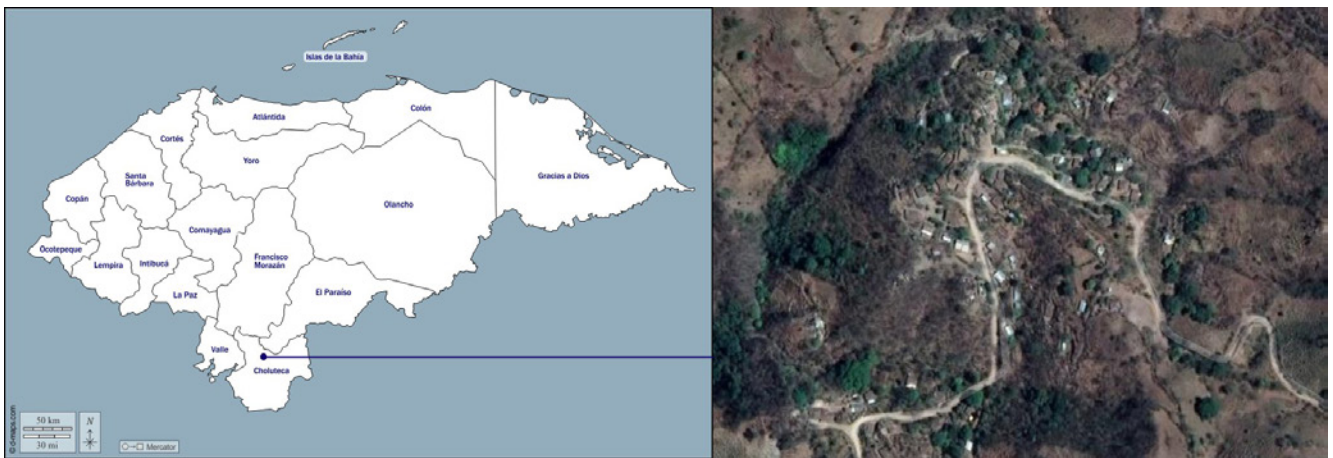
Figura 2. Habitantes de la comunidad El Santuario



Actualmente, la leña, el queroseno, las pilas y las velas son el principal recurso energético para los habitantes, a pesar del potencial de recursos de energía renovable del área. Como resultado de fenómenos meteorológicos extremos (aumentados en los últimos por el cambio

climático) y el aumento de la demanda de la población en crecimiento, la escasez de recursos se está acelerando. Por lo tanto, se requieren acciones para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos, energéticos y alimentarios.

Figura 3. Comunidad seleccionada para instalar la red inteligente híbrida



Fuente: © d-maps.com, © 2018 Google

El enfoque basado en el nexa AAE tiene como objetivo proporcionar acceso a la energía a la comunidad rural para mejorar los medios de vida de los habitantes y garantizar la seguridad alimentaria y el suministro de agua. Las acciones e intervenciones propuestas que tienen lugar en el caso de estudio se analizarán a continuación, teniendo en cuenta la perspectiva del nexa AAE y sus interacciones, validando así la utilidad de los sistemas de energía descentralizados para las aldeas rurales aisladas de la red principal.

### Aproximación al nexa agua-alimentación-energía

Para regar los campos agrícolas de manera eficiente, la organización ACICAFOC (<https://www.acicafoc.org/>) ha proyectado cuatro tanques de almacenamiento desde los cuales se realizará el riego por gravedad. Uno de los depósitos se llenará con agua de lluvia, y una bomba elevará agua subterránea a los otros tres desde un pozo de 4 m de profundidad.

El riego se realiza mediante sistemas eficientes que no desperdician el agua, pueden ser fácilmente gestionados, y permiten incorporar productos orgánicos fertilizantes o protectores contra plagas. La tierra regada comprende 1.4 ha

de especies hortícolas: tomates, lechugas, pepinos, pimientos y judías verdes. Todos ellos seleccionados por su importancia en la dieta básica de los habitantes de la comunidad.

En comparación con las bombas diésel habituales, o el bombeo manual, los sistemas de riego a pequeña escala basados en energía renovable superan las limitaciones del bombeo manual, pero no contaminan el medio ni necesitan combustibles escasos y exógenos.

La siguiente lista reúne los indicadores relevantes para la evaluación de impacto. Estos indicadores muestran las interacciones entre los componentes del nexa AAE y son los recomendados para intervenciones similares:

- Capacidad de bombeo: Se plantean 2 horas y 1,500 l/día. Pero podrían ser capaces de bombear hasta 18,000 l/día.
- Altura de bombeo: hasta 80 m.
- Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) evitadas por comparación con una bomba diésel: hasta 5.77 toneladas de CO<sub>2</sub>e/año.

- Área regada por la bomba: 1.4 ha
- Aumento del rendimiento para cultivos hortícolas en El Santuario después de la introducción del riego activo: hasta el 2000%

Además, se proyecta un plan de reforestación que incluye la plantación de 21 Ha de cultivos bioenergéticos. Las especies forestales elegidas son nativas, lo que contribuye a la diversificación de cultivos a través de especies locales. Parte del recurso bioenergético se utilizará para alimentar un gasificador (que se discute más adelante), como parte del sistema de MRE, para producir electricidad a partir de la biomasa cosechada. Los cultivos energéticos en crecimiento no solo proporcionarán un suministro de energía renovable y sostenible a la comunidad, sino que también contribuirán a la restauración del suelo con el tiempo.

Las especies forestales seleccionadas no necesitan consumo de agua aparte del agua de lluvia. Desde la perspectiva del cambio climático, el sistema de gasificación, en comparación con los generadores de combustible, representa una alternativa más sostenible y renovable, evitando así emisiones innecesarias de GEI.

En la siguiente lista se muestran indicadores clave para analizar la influencia que las plantaciones de cultivos bioenergéticos para

la generación de electricidad tienen en el agua y la seguridad alimentaria.

- Superficie ocupada: 21 ha.
- Eficiencia del uso del suelo: 3.7 ha/MWh de energía útil real producida
- Energía generada: hasta 6,768 kWh/año
- Potencia instalada (gasificador): 30 kWp.
- Energía producida por unidad de tierra: 270.72 KWh/ha-año
- Cantidad de agua utilizada: 0 l/ha-año.
- Electricidad producida por la biomasa: 0.8 kWh/kg biomasa
- Biomasa producida: 2.85 ton/ha-año
- Ahorro total de emisiones de GEI de la biomasa producida en comparación con un generador de combustible fósil: hasta 61.32 toneladas de CO<sub>2</sub>e/año

En general, desde una perspectiva energética, se han identificado los siguientes impactos en el agua y los recursos alimentarios y terrestres, que se resumen a continuación.

Tabla 2. Interacción entre los componentes del nexo AAE

|            | <b>Agua</b>  | <b>Alimentación</b>  |
|------------|--|--|
| Riesgos    | Sobre explotación de acuíferos.<br>Desperdicio de agua.<br>Competición con el uso de agua sanitaria.                               | Competición por el uso del suelo.<br>Deforestación.<br>Inseguridad alimentaria.  |
| Beneficios | Reducción de las pérdidas de agua.<br>Mejora del rendimiento de los usos de agua.<br>Disponibilidad de agua en periodos de sequía. | Diversificación de cultivos.<br>Regeneración de tierras.<br>Reducción de la pérdida de alimentos.<br>Mejora en la conservación y procesado de alimentos. |

Fuente: Elaboración propia basado en (FAO, 2014; Reinhard et al., 2017)

La mejora en las prácticas agrícolas sostenibles derivadas de los sistemas de irrigación y los esfuerzos de reforestación mejora la salud de los ecosistemas locales y aumentan la disponibilidad de leña, mejorando la resiliencia de las comunidades frente a las amenazas climáticas, lo que mantiene o aumenta la seguridad alimentaria.

### Necesidades energéticas

Como ya se ha adelantado, los diferentes consumos domiciliarios se han tipificado a partir de la literatura (GIZ, 2016), las demandas de la comunidad, la experiencia de los diferentes equipos de proyecto, y la tecnología existente y asimilada por la comunidad (electrodomésticos, medios de producción, sistemas comunitarios de alumbrado, etc.). Cada tipo de consumo ha sido definido por su uso, unidades existentes en la comunidad y potencia nominal consumida, siguiendo los parámetros descritos por la Empresa Nacional de Energía Eléctrica de Honduras (ENEE).

La curva de demanda se calcula a partir de los consumos horarios obtenidos al realizar el sumatorio de las potencias totales de cada uno de los consumos presentes en la comunidad por su coeficiente de simultaneidad.

$$D_h = \sum_i f_{ih} * \sum_j P_{ijh} \quad (1)$$

Donde  $D_h$  representa el punto de la curva de carga en el instante  $h$ ,  $f_{ih}$  son las familias que consumen en el momento  $h$ , y  $P_{ijh}$  la potencia demandada por el elemento eléctrico  $j$  (iluminación, móvil, TV, etc.), en la familia  $i$ , en el instante  $h$ .

En el caso de los consumos comunitarios, estos son más fáciles de predecir por dos motivos: una menor cantidad y un mayor control sobre sus características y tiempos de uso. De forma análoga a los consumos domiciliarios, los consumos

comunitarios han sido caracterizados por sus potencias nominales y la cantidad de unidades instaladas en la comunidad. La siguiente figura muestra la evolución temporal de la carga, en un día promedio.

Como se observa, se prevén demandas pico de hasta 18.1 kW de potencia, y la energía total consumida es de 201.09 kWh/día en promedio. El perfil presenta tres picos, en la mañana, a la hora del almuerzo y por la noche, lo que no acopla con la generación de energía a partir de la radiación solar, y obliga al uso de sistemas complementario de generación y almacenamiento de energía, es decir una planta híbrida.

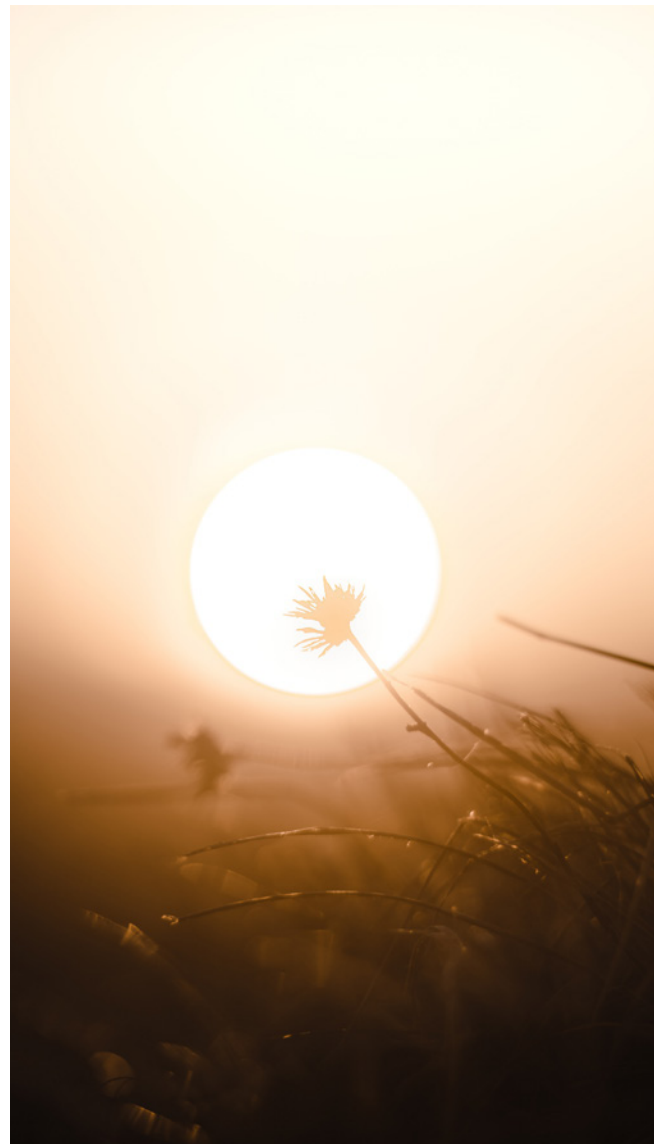
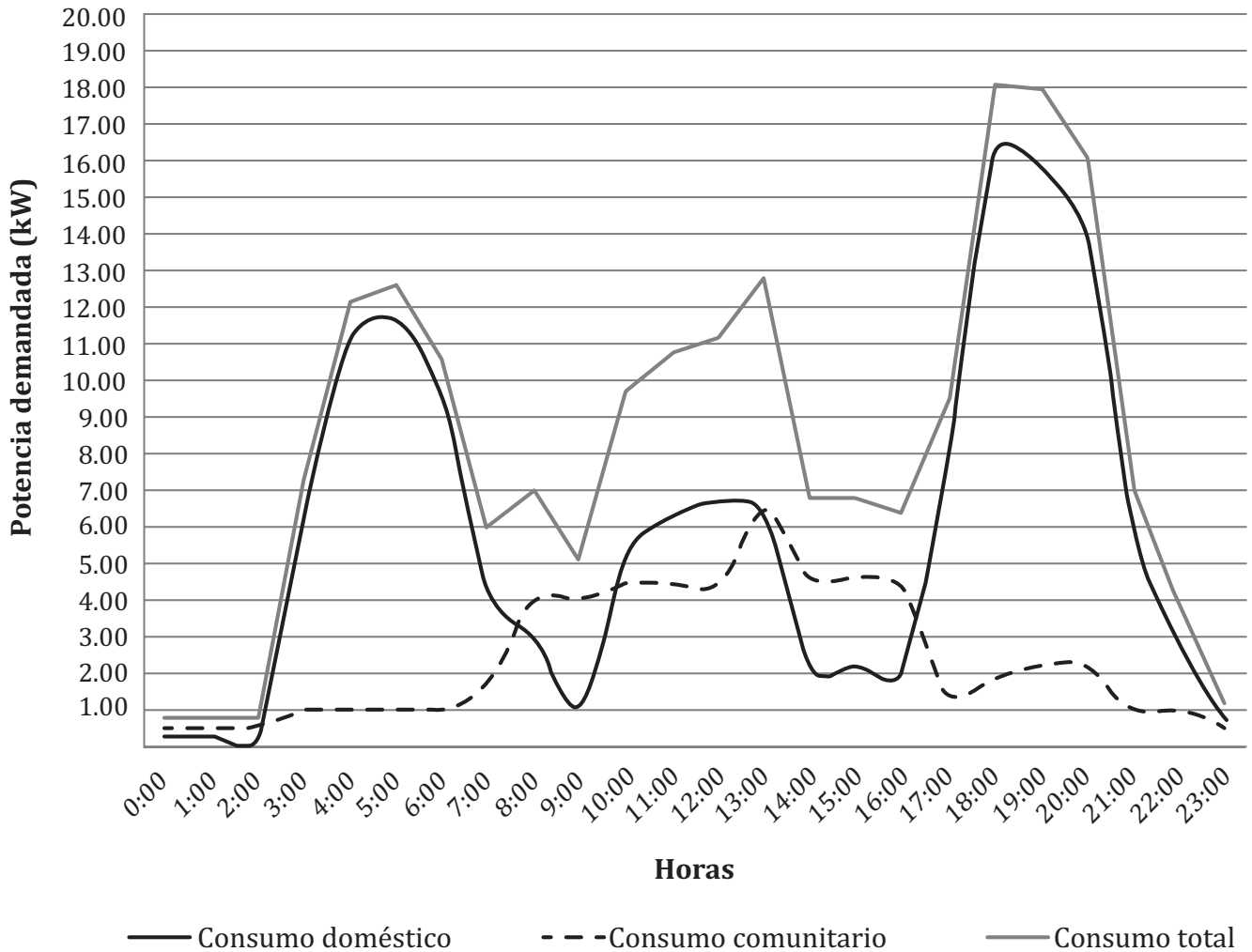


Foto de Mathieu Bigard en Unsplash.

Figura 4. Curva de carga estimada para la comunidad



Fuente: Elaboración propia

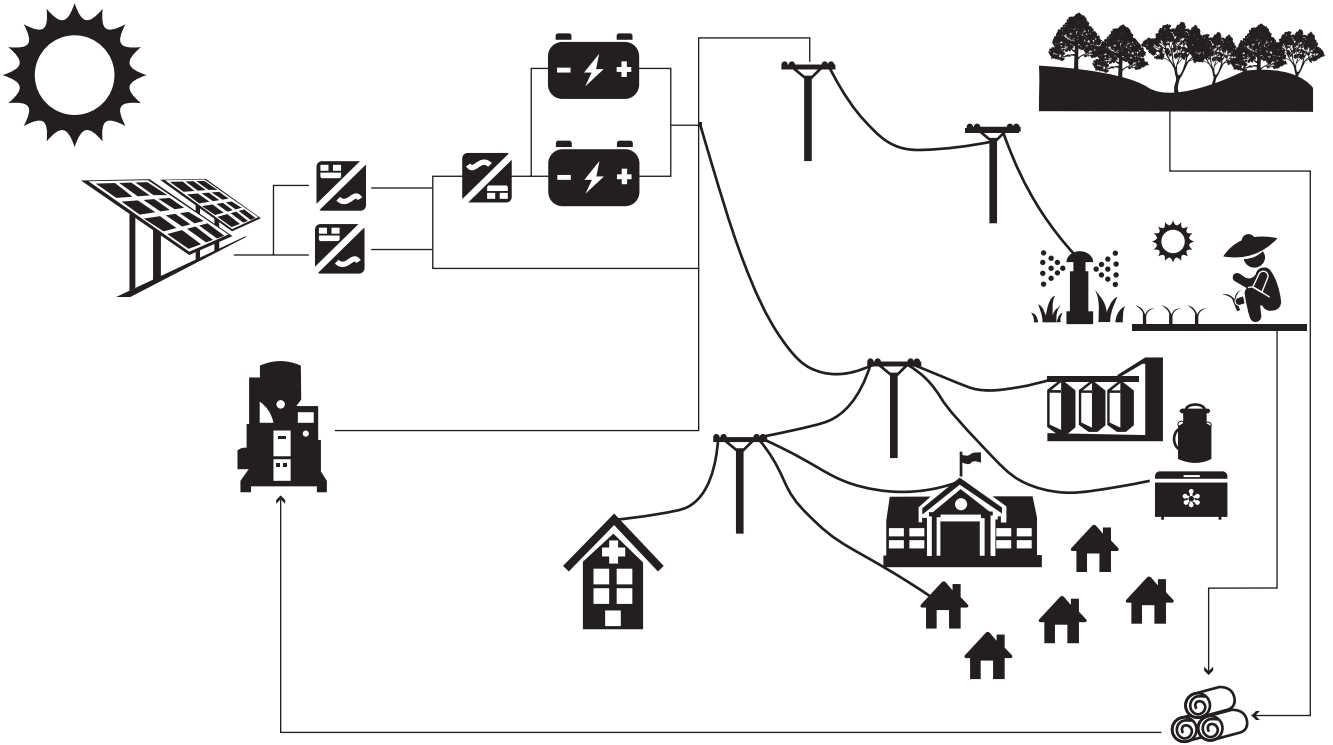
### Solución energética

Basado en todos los datos avanzados en las secciones anteriores, la MRE que se proyecta consta de un sistema de generación solar fotovoltaico, apoyado por un gasificador de biomasa y un banco de baterías (ver figura 5).

**Se requieren acciones para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos, energéticos y alimentarios.**



Figura 5. Curva de carga estimada para la comunidad



Fuente: Elaboración propia

Como se ha adelantado, mediante HOMER se simuló el comportamiento de la red híbrida a instalar en El Santuario que incluía:

- La estadística de insolación en El Santuario
  - La curva de demanda para la comunidad. Esta curva fue aleatorizada en un cierto porcentaje para reflejar variaciones casuales de los consumos.
  - Catálogos y datos de los paneles solares fotovoltaicos para el proyecto, y del resto de equipos: inversores, cargadores, baterías, equipo de monitoreo, etc.
  - El gasificador y su grupo generador de electricidad.
  - Otros datos necesarios para simular la red en operación durante el periodo de tiempo determinado.
- A esta información, en HOMER se añade las siguientes reglas de diseño:
- Nunca debe haber corte de suministro de energía, por mucho que se acumule fortuitamente la demanda y haya un pico de energía. O bien saltarán las protecciones contra exceso de intensidad de corriente, desconectando aquellos consumos que no deben estar conectados en ese instante, permitiendo el funcionamiento del resto. O bien la red proveerá la corriente necesaria.
  - Se debe minimizar el coste de inversión y operación del sistema

- Las baterías nunca deben bajar de una carga al 30% para prolongar su vida útil. Por la misma razón se debe maximizar el tiempo que están por encima del 60% de carga.
- Se simula la red operando durante 25 años.

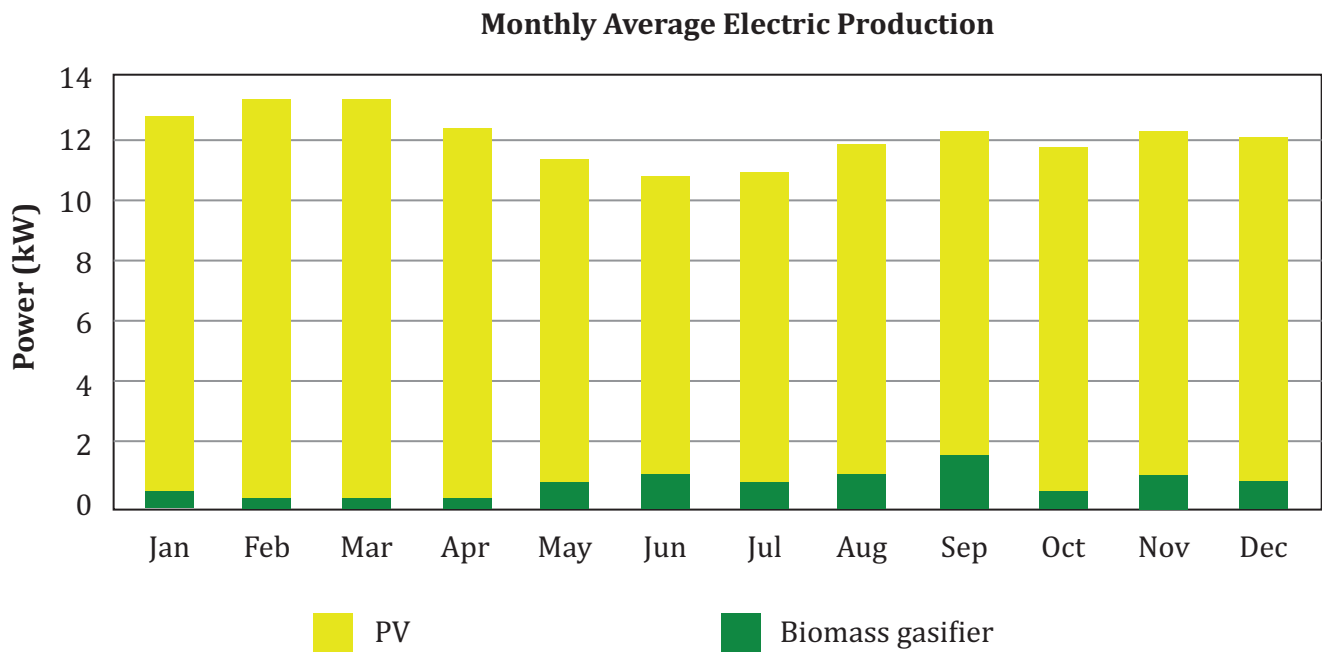
Mediante HOMER se analizaron hasta 41 configuraciones distintas a partir de la original diseñada, que fueron evaluadas en términos de energía generada, eficiencia, costes de inversión y explotación, número de cortes de luz y duración de los mismos, etc. Como resultado, el sistema que mejor cumple las reglas de diseño está compuesto de los siguientes elementos:

- Planta solar fotovoltaica con 40 kWp de paneles solares,

- Gasificador de biomasa de 30 kWp como sistema de soporte,
- Banco baterías de 200 kWh de almacenamiento,
- 2 inversores de 25 kW cada uno para la conexión de los módulos solares,
- 6 gestores de red de 6 kW cada uno, con posibilidad de crear la red eléctrica y de cargar o suministrar energía desde baterías.

Seguidamente se detalla el funcionamiento de la red. En primer lugar, la siguiente gráfica muestra la producción media mensual de la planta de generación fotovoltaica combinada con la de biomasa.

Figura 6. Curva de carga estimada para la comunidad



Fuente: Elaboración propia

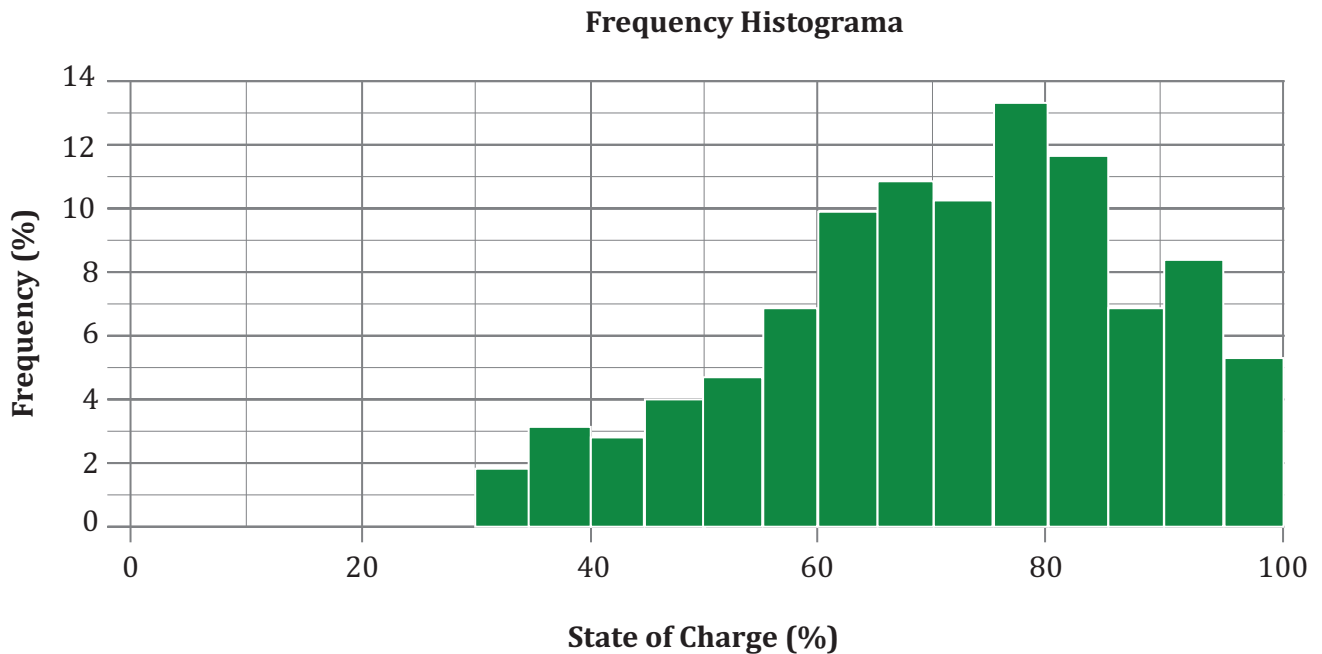
La necesidad del gasificador se manifiesta entre los meses de mayo y septiembre debido a la menor radiación solar y, por ende, menor producción solar como muestra la figura anterior.

Como muestra el siguiente histograma de frecuencia, las baterías se encuentran la mayor parte del tiempo por encima del 60% de su capacidad, no disminuyendo nunca del 30%

de esta. Los acumuladores proporcionan un valioso recurso en casos de emergencia, pero es importante resaltar que este recurso ha de ser utilizado lo mínimo posible, ya que altas y

frecuentes descargas de las baterías reducen exponencialmente su duración y es uno de los elementos más caros de la instalación.

Figura 7. Curva de carga estimada para la comunidad



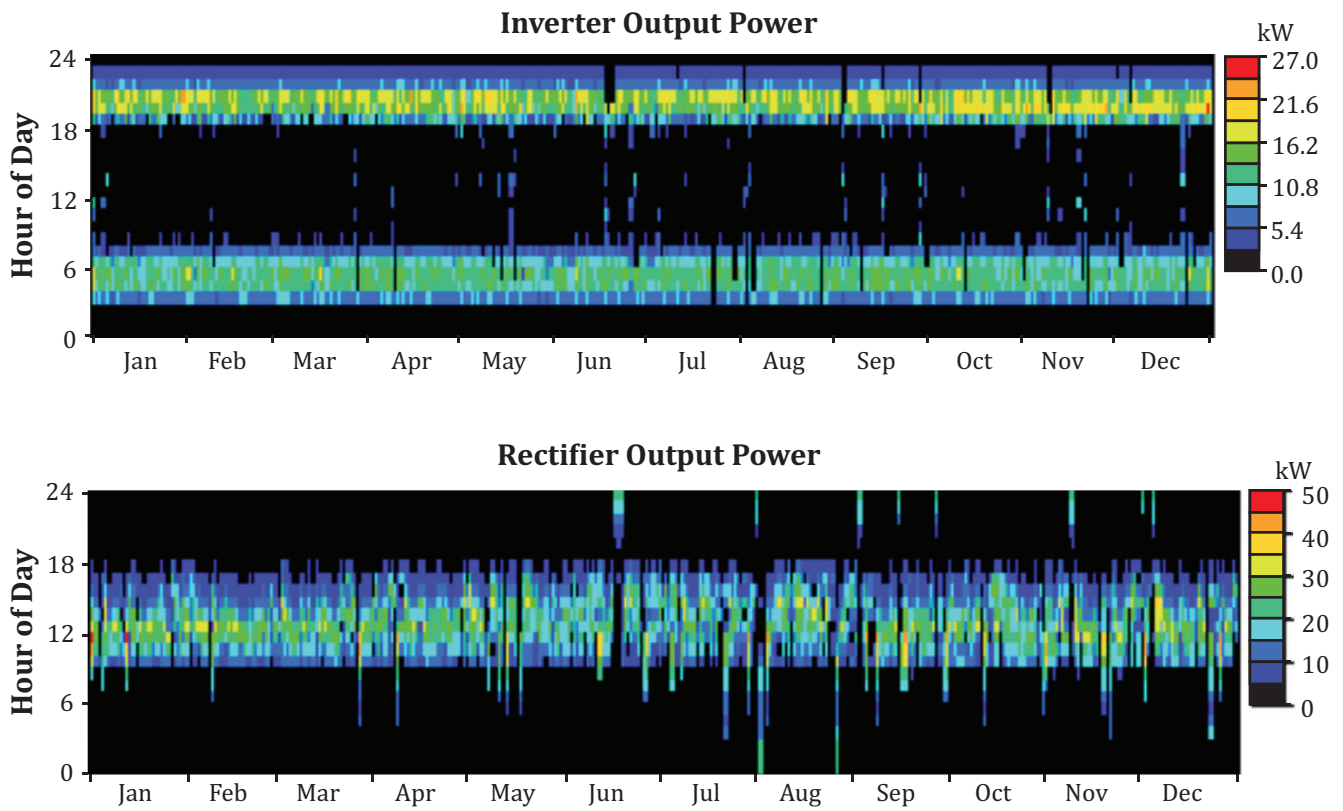
Fuente: Elaboración propia

Es importante resaltar que las horas más críticas de las baterías siempre se concentran en la mañana. Tras llegar al máximo de carga al finalizar la jornada solar, son las baterías las que principalmente suministran la electricidad a la comunidad. Al acabar la noche, las baterías suelen encontrarse en su mínimo de carga hasta que comienza a incidir la luz solar. Son en estos puntos críticos donde la comunidad debe estar atenta para encender el gasificador. El sistema avisa de la necesidad de completar la carga de las baterías, y se debe asegurar que siempre tenga suficiente combustible, es decir el gas de síntesis a partir de biomasa. La siguiente ilustración muestra la actuación del inversor/cargador cada hora, diariamente a lo largo de un año, según la predicción de HOMER.



Foto de Bence Sandor Sztrecska en Unsplash.

Figura 8. Curva de carga estimada para la comunidad



Fuente: Elaboración propia

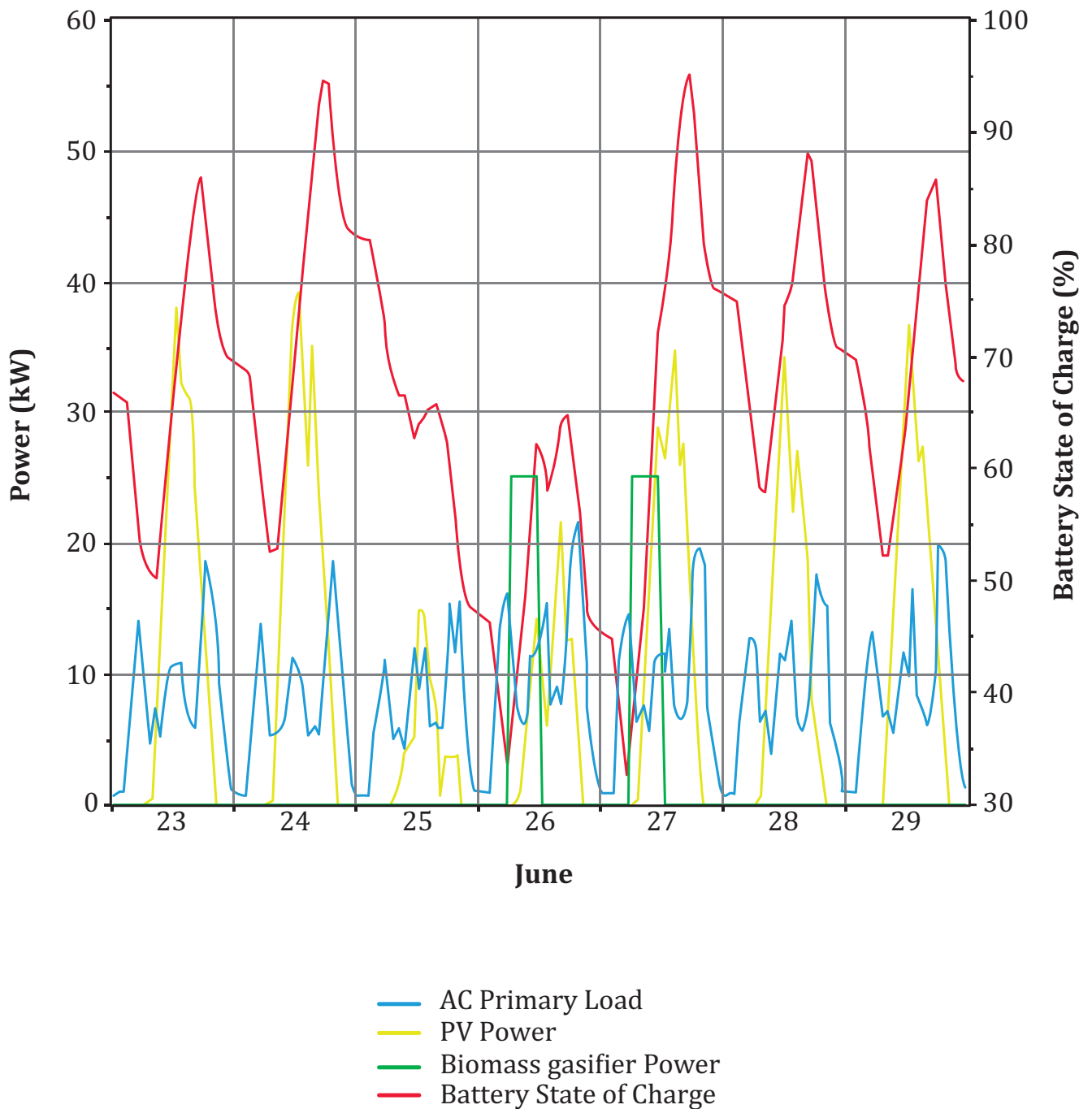
La siguiente ilustración muestra el funcionamiento de la red una semana elegida porque HOMER predice que en ella se activará el gasificador. Basado en la estadística de radiación solar, en esa semana de junio podría haber varios días de poca insolación (línea amarilla), por lo que habría que usar las baterías, que se acabarían

descargando (línea roja). Como la demanda de energía se mantendría (línea azul), en el momento en que la descarga de las baterías se acercara al 30% se activaría el gasificador (línea verde) que suministraría energía a la red cubriendo la demanda, y a las baterías, recargándolas.



Foto de Elijah Ekdahl en Unsplash.

Figura 9: Curva de carga estimada para la comunidad



Fuente: Elaboración propia

La simulación del diseño de la red con HOMER ha requerido la generación 66,232 kWh de electricidad a partir de energía solar, y 6,768 kWh/año de electricidad a partir de biomasa. Este último supone un consumo de aproximadamente

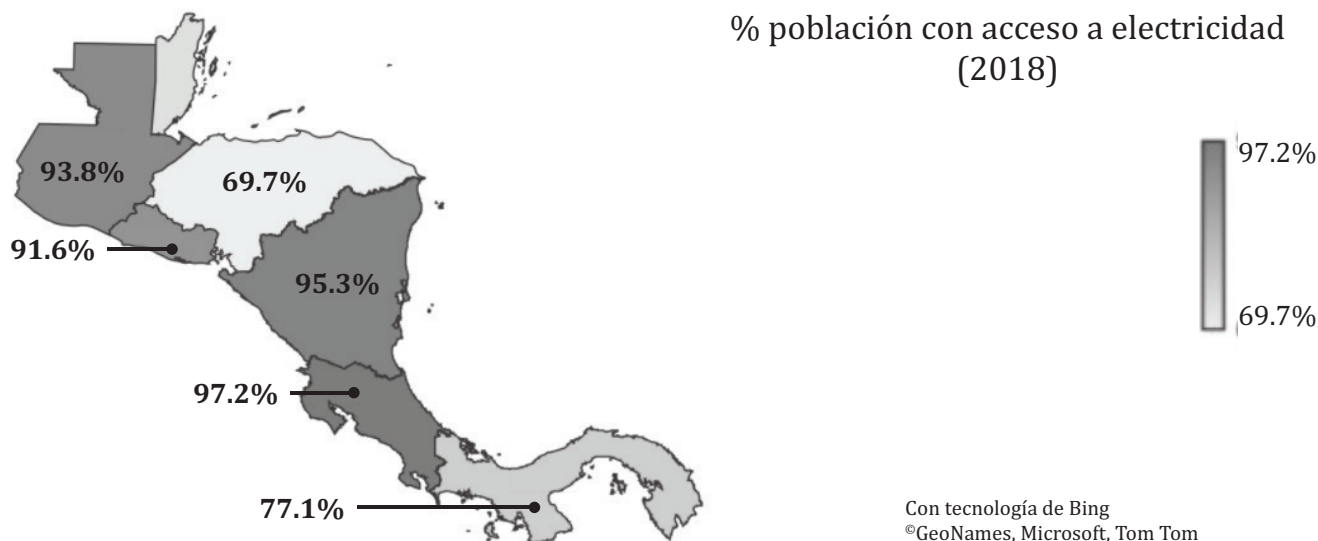
8,500 kg de biomasa seca al año. Esta cantidad representa 0.33 kg de biomasa por familia y día, que se cubrirá íntegramente con la producción de cultivos bioenergéticos.

## ESCALABILIDAD EN HONDURAS

En el corredor seco mesoamericano más de tres millones y medio están en necesidad de ayuda humanitaria, más de la mitad de la población viven en áreas rurales con acceso limitado a la

electricidad (FAO, 2016). Además, la región es una de las más vulnerable al cambio climático y ya experimenta procesos migratorios debido al mismo. Las zonas rurales de la zona son particularmente vulnerables y en su mayoría no disponen de acceso a la electricidad.

Figura 10. Tasas de electrificación rural en el Centroamérica



Fuente: IEA, 2020

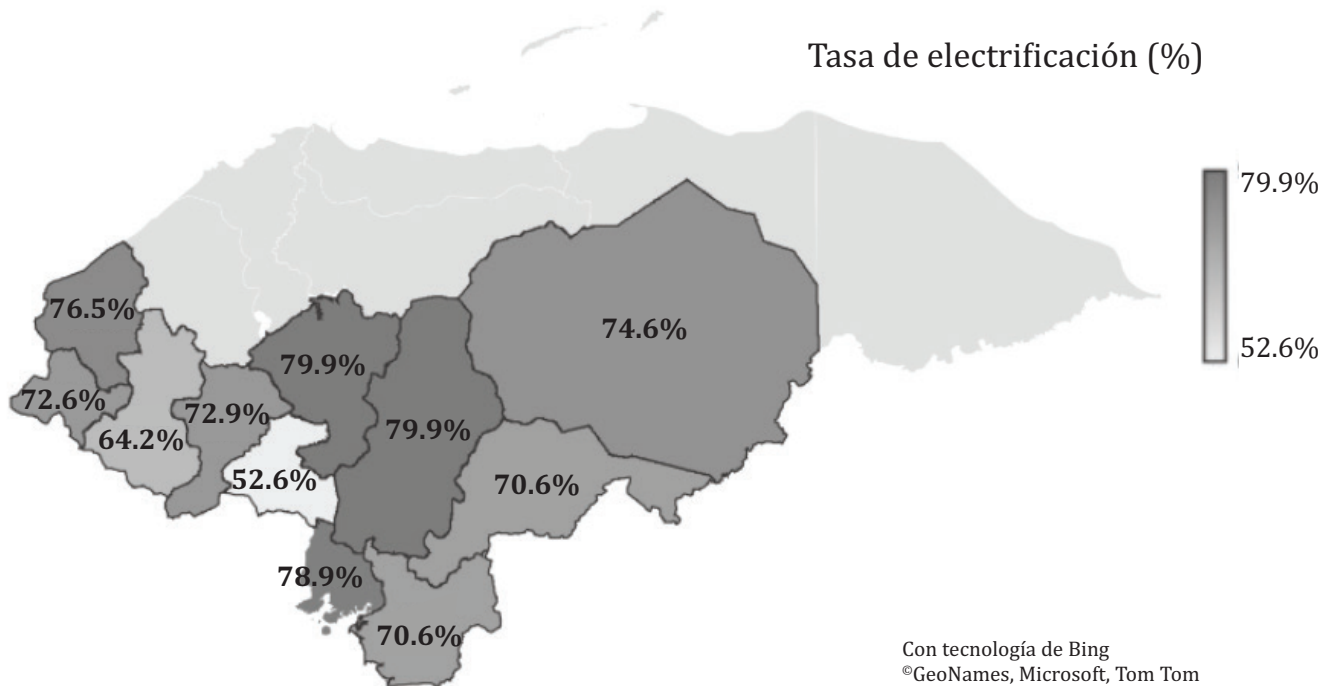
Dentro de los países, Honduras es el más afectado por el bajo acceso tal y como muestra la Figura 10. En la Figura 11 se presentan los datos de electrificación rural de las diferentes provincias del corredor seco hondureño. Aunque El Santuario es solo una de ellas, puede servir de caso de buenas prácticas para mejorar la resiliencia de las comunidades rurales y su adaptación al cambio climático. Solo en Honduras, se pueden estimar un total de 23,000 poblaciones rurales sin acceso a la electricidad que podrían beneficiarse de este tipo de actuaciones holísticas (Gobierno Honduras, 2016).

El aumento de la resiliencia en estas comunidades particularmente sensibles a los cambios de las condiciones climáticas brinda a su vez una mayor adaptación de los ecosistemas vulnerables. Por lo tanto, la electrificación de la última milla debe

considerar una serie de estrategias y políticas sectoriales de adaptación que permitan mantener los procesos ecológicos y garanticen el desarrollo sostenible de las comunidades rurales.

**Solo en Honduras, se pueden estimar un total de 23,000 poblaciones rurales sin acceso a la electricidad que podrían beneficiarse de este tipo de actuaciones holísticas.**

Figura 11. Tasa de electrificación rural del corredor seco hondureño



Fuente: IEA, 2020

La electrificación de la última milla debe alcanzar un equilibrio entre el beneficio de los habitantes en comunidades aisladas y la conservación de los ecosistemas en sus zonas adyacentes. La medición efectiva del impacto es clave para el éxito del escalamiento de estas soluciones tecnológicas. El establecimiento de líneas base, actividades efectivas de monitoreo, reporte y evaluación, las evaluaciones de las necesidades energéticas y la recopilación de datos debe diseñarse de manera que permita flexibilidad y se base en métodos cuantitativos y cualitativos. Existen diferentes métodos para medir el impacto (FAO and UNHCR, 2016) pero ciertas evaluaciones pueden hacer una contribución significativa a la planificación de intervenciones energéticas relacionadas con poblaciones vulnerables (FAO, 2018). La definición de áreas prioritarias para el escalamiento del acceso a energías renovables debe incluir:

- Vulnerabilidad social y climática de los usuarios finales.
- La evaluación de la demanda de leña, carbón vegetal, otras formas de biomasa y otras categorías de energía renovable.
- La evaluación de la oferta de combustible bajo modelos de degradación ambiental, incluyendo el consumo futuro, la proyección de la población, inventarios forestales a pequeña escala y parámetros biofísicos de zonas boscosas.
- Una evaluación rural participativa (SRP) que comprenda un conjunto de enfoques y métodos para entender y evaluar el contexto local y los medios de vida de las personas y los grupos sociales dentro de un área geográfica particular.

- Mapas de planificación ambiental y zonas de importancia cultural, incluidas comunidades indígenas, zonas culturalmente importantes, áreas naturales protegidas y, de manera general, el estado de los ecosistemas.
- Áreas de acción de políticas públicas de carácter social con conceptos clave como bienestar humano, satisfacción de necesidades humanas fundamentales (NHF), medios de vida y adaptación basada en ecosistemas (AbE).
- Extrapolación en mapas de gestión de riesgos y vulnerabilidad de los ecosistemas.

El éxito de la escalabilidad de este proyecto va de la mano con el apoyo de los gobiernos nacionales y locales (Gómez-Navarro and Ribó-Pérez, 2018), quienes deberán considerar políticas y medidas que apoyen el desarrollo rural, combinen la seguridad alimentaria con la seguridad energética y cumplan sus objetivos de desarrollo y compromisos climáticos.

## CONCLUSIONES

En este artículo presentamos una metodología para promover el desarrollo sostenible resolviendo el trilema alimentación, agua y energía. La metodología se centra en las comunidades rurales de las regiones en desarrollo, que no tienen acceso a la red de energía, ni de agua, ni de alimentos. Esta situación es particularmente habitual en el corredor seco mesoamericano. Para ello, la estrategia es aprovechar los recursos endógenos, identificar las demandas de seguridad alimentaria y calidad de vida, y aplicar tecnologías que luchen contra el cambio climático y se adapten a sus consecuencias. Se fomenta así lo que denominamos Comunidades Rurales Bajas en Carbono.

Las Comunidades Rurales Bajas en Carbono, promueven la seguridad alimentaria y mejoran la resiliencia climática, el bienestar y los medios

de vida de los pequeños agricultores en las comunidades rurales, a través de acciones que permitan la adaptación y mitigación al cambio climático.

La metodología propuesta va encaminada a lograr la electrificación de la última milla. Su enfoque es amplio e incluye: (i) establecer esfuerzos público-privados para promover energías renovables en la gestión del agua, y la producción y el comercio de alimentos; y reducir la dependencia del sector agro-alimentario de los combustibles fósiles; (ii) alentar la cooperación internacional en iniciativas renovables y medidas de mitigación de gases de efecto invernadero para el sector alimentario; (iii) coordinar la formulación de políticas alimentarias energéticamente inteligentes entre los ministerios responsables de alimentos, agricultura, energía, salud, transporte, desarrollo económico y medio ambiente; y (iv) promover un diálogo de múltiples partes interesadas sobre opciones prácticas para la producción y el consumo de energía, y las políticas y arreglos institucionales necesarios para lograr los resultados deseados.

Hemos aplicado la metodología a un caso ilustrativo, la comunidad de El Santuario en el municipio de Choluteca, Honduras. La metodología ha permitido una solución integral al triple desafío que, por un lado, consigue la seguridad alimentaria de la comunidad, por otro lado gestiona de forma sostenible el agua necesaria para la producción alimentaria y el uso sanitario; y, finalmente, se suministra de una red híbrida eléctrica aislada alimentada por recursos energéticos locales renovables: radiación solar y biomasa.

Hemos estudiado la viabilidad y el impacto de replicar esta solución a las numerosas comunidades rurales con características semejantes en el corredor seco mesoamericano. La metodología puede ser aplicada en todos esos casos, adaptándose a las diferentes características locales. Los impactos de escalar esta



metodología contribuirían significativamente a que se cumplan las “Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés)” de los países en vías de desarrollo, como los que comparten el citado corredor seco.

La metodología ofrece cinco rutas concretas que son mencionadas constantemente en las acciones de mitigación y adaptación: (i) aumentar el acceso al agua y a la energía con un enfoque en las comunidades rurales; (ii) mejorar la eficiencia energética en todas las etapas de la cadena de suministro de alimentos; (iii) sustituir los combustibles fósiles por sistemas de energía renovable; (iv) manejo mejorado de los recursos forestales y uso de biomasa; y (v) garantizar la seguridad alimentaria con esquemas climáticamente inteligentes.

Los datos, los recursos técnicos, las herramientas del modelado y cálculo y, en general, todo lo necesario para la aplicación de la metodología ya existen en gran medida. Sin embargo, para mejorar el rigor y calidad de los proyectos que se deriven de su aplicación, sería necesario mejorar la cobertura territorial de los mapas de recursos hídricos y energéticos, el estudio de las especies alimentarias más productivas y mejor adaptadas al cambio climático, y el estudio de las necesidades, demandas y agendas de las comunidades rurales aisladas.

Asimismo, se necesitan políticas que incentiven las inversiones encaminadas a financiar estos proyectos, eliminando barreras administrativas para estos proyectos, y mejorando la asistencia técnica y el seguimiento durante las primeras etapas de explotación de los sistemas de gestión del agua, producción alimentaria y generación de energía con recursos renovables.

•••

## AGRADECIMIENTOS

*Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO), LoA: PO# 332412. La financiación de la Agencia Española para la Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), proyecto: 2019/ACDE/000842, y la financiación de la cátedra de Transición Energética Urbana UPV-Las Naves de Valencia.*

## REFERENCIAS

International Energy Agency, I. (n.d.). *World Energy Outlook. Executive summary 2018.*

International Energy Agency, I. (2017). *WEO-2017 Special Report: Energy Access Outlook.*

Ahmad, J., Imran, M., Khalid, A., Iqbal, W., Ashraf, S. R., Adnan, M., ... Khokhar, K. S. (2018). Techno economic analysis of a wind-photovoltaic-biomass hybrid renewable energy system for rural electrification: A case study of Kallar Kahar. *Energy*, 148, 208–234. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.01.133>

Bahramara, S., Moghaddam, M. P., and Haghifam, M. R. (2016). Optimal planning of hybrid renewable energy systems using HOMER: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 609–620. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.05.039>

Banco Mundial. (2018). *El acceso a la energía ocupa un lugar central en el desarrollo.* Retrieved May 26, 2020. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2018/04/18/access-energy-sustainable-development-goal-7>

Bazilian, M., Steduto, P., Arent, D., Hermann, S., Howells, M., Tol, R. S. J., ... Rogner, H. (2011). Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. *Energy Policy*, 39(12), 7896–7906. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.039>

- Bonn Conference Synopsis. (2012). The water, energy and food security nexus. Solutions for the Green Economy. Conference Synopsis. *The Water, Energy and Food Security Nexus - Solutions for the Green Economy*, (November), 28.
- CEPAL. (2020). *Seguridad Alimentaria y Nutricional América Latina y el Caribe*.
- Chaurey, A., Ranganathan, M. and Mohanty, P. (2004). Electricity access for geographically disadvantaged rural communities—technology and policy insights. *Energy Policy*, 32, 1693–1705. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00160-5](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00160-5)
- CNMC, A. (2017). El acceso universal a la energía eléctrica. La electrificación rural aislada. In ARANZADI (Ed.), *Cámara de diputados LXIII legislatura*.
- FAO. (2014). *The water-energy-food nexus. A new approach in support of food security and sustainable agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.11.006>
- FAO. (2016). *Dry corridor Central America. Situation report*. <http://www.fao.org/3/a-br092e.pdf>
- GIZ. (2016). What size shall it be? A guide to mini-grid sizing and demand forecasting. [https://www.giz.de/en/downloads/Sizing\\_handbook\\_150dpi\\_for\\_web.pdf](https://www.giz.de/en/downloads/Sizing_handbook_150dpi_for_web.pdf)
- Gobierno Honduras. (2016). *Informe República de Honduras. HABITAT III*. [http://habitat3.org/wp-content/uploads/INFORME\\_REPUBLICA\\_DE\\_HONDURAS\\_ES.pdf](http://habitat3.org/wp-content/uploads/INFORME_REPUBLICA_DE_HONDURAS_ES.pdf)
- Gómez-Navarro, T. and Ribó-Pérez, D. (2018). Assessing the obstacles to the participation of renewable energy sources in the electricity market of Colombia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 131–141. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.03.015>
- González García, A., y Pérez Arriaga, I. (2018). Sistemas integrados de suministro eléctrico aislado conectado a la red: innovación y gobernanza organizativa para el acceso universal. *Economía Industrial*, 408, 101–112. [https://www.iit.comillas.edu/publicacion/mostrar\\_publicacion\\_revista.php?id=1314](https://www.iit.comillas.edu/publicacion/mostrar_publicacion_revista.php?id=1314)
- Guijarro, A. y Sánchez, E. (2015). *El nexo agua-alimentación-energía en el marco de la agenda post 2015*.
- He, X. and Reiner, D. (2014). Electricity demand and basic needs: Empirical evidence from China's households. *Cambridge Working Papers in Economics*. <https://doi.org/10.17863/CAM.5834>
- IEA. (2020). *Access to electricity – SDG7: Data and projections*. Retrieved May 26, 2020. <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity>
- Instituto Centroamericano de Estudios Fiscales. (2018). *Financiamiento climático en Centroamérica: una mirada desde la descentralización energética*.
- Iorio, P. y Sanin, M. E. (2019). Acceso y asequibilidad a la energía eléctrica en América Latina y El Caribe. In *Acceso y asequibilidad a la energía eléctrica en América Latina y El Caribe*. <https://doi.org/10.18235/0002095>
- Kanagawa, M. and Nakata, T. (2008). Assessment of access to electricity and the socio-economic impacts in rural areas of developing countries. *Energy Policy*, 36, 2016–2029. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.01.041>
- Mamaghani, H. A., Avella Escandon, S. A., Najafi, B., Shirazi, A. and Rinaldi, F. (2016). Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia. *Renewable Energy*, 97, 293–305. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2016.05.086>
- NASA. (2020). *POWER data access viewer*. Retrieved May 29, 2020. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- ONUDI. (2013). *Informe final: Observatorio de energía renovable para América Latina y el Caribe*.
- Reinhard, S., Verhagen, J., Wolters, W. and Ruben, R. (2017). *Water-food-energy nexus; A quick scan*. 24. <https://doi.org/2017-096>

Ribó-Pérez, D., Bastida-Molina, P., Gómez-Navarro, T. and Hurtado-Pérez, E. (2020). Hybrid assessment for a hybrid microgrid: A novel methodology to critically analyse generation technologies for hybrid microgrids. *Renewable Energy*, 157, 874–887. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.095>

Smart Villages. (2016). *The energy and water nexus for off-grid communities in the Philippines and Southeast Asia Smart Villages*. [www.e4sv.org](http://www.e4sv.org)

Sola, P., Ochieng, C., Yila, J. and Iiyama, M. (2016, June 1). Links between energy access and food security in sub Saharan Africa: an exploratory review. *Food Security*, 8, pp. 635–642. <https://doi.org/10.1007/s12571-016-0570-1>

Solargis. (2020). *iMaps*. Retrieved May 29, 2020, <https://solargis.info/imaps/>

WFP. (2019). *Energy for food security enhancing people's food security with improved energy access*. <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/energy/news/2017/nov/press-release->