

Modelo para el diseño y la gestión de microrredes aisladas, contribución a la sostenibilidad y resiliencia de comunidades remotas: Propuesta

Carlos Pereyra-Mariñez, MSc.^{1,2}, Félix Santos-García, PhD^{2,3}, Víctor Ocaña, PhD^{2,3}

¹ Instituto Especializado de Estudios Superiores Loyola – IEESL, 91000 San Cristóbal, Dominican Republic, cpereyra@ipl.edu.do

² Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC, Área de Ciencias Básicas, 10602 Santo Domingo, Dominican Republic,

³ Centre for Energy Studies and Environmental Technologies (CEETA), 54830 Universidad Central “Martha Abreu” de las Villas. Santa Clara, Cuba

Resumen– El desarrollo de un proyecto de microrred de energía para la inclusión de comunidades aisladas a estándares de vida modernos de manera sostenible, es una tendencia que está ganando terreno en países desarrollados y en vías de desarrollo como parte del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Con este trabajo se pretende realizar una contribución a las metodologías existentes para el diseño y manejo de microrredes, incluyendo en ellas variables que vinculen los indicadores de desarrollo sustentable y los medios de vida sostenibles de las comunidades a los modelos cuantitativos establecidos. Se conceptualiza sobre los aspectos sociales, económicos y ambientales de las comunidades como una forma de justificar la implementación de estos proyectos con energías renovables.

Palabras claves-- Desarrollo sostenible, Resiliencia Microrredes aisladas, Energía renovable, Medios de vida sostenibles.

Abstract– The development of an energy microgrid project for the inclusion of isolated communities to modern living standards in a sustainable way is a trend that is gaining ground in developed and developing countries as part of the fulfillment of the Development Goals Sustainable (ODS) of the United Nations (UN). The aim of this work is to contribute to the existing methodologies for the design and management of microgrids, including variables that link the indicators of sustainable development and the sustainable livelihoods of the communities to the established quantitative models. It is conceptualized on the social, economic and environmental aspects of the communities as a way to justify the implementation of these projects with renewable energies.

Keywords-- Sustainable development, Resilience Isolated microgrids, Renewable energy, Sustainable livelihoods

I. INTRODUCCIÓN

El Informe Brundtland, como se conoce el trabajo presentado por la primer ministra noruega Gro Harlem Brundtland en 1987 ante la ONU, planteó por primera vez el concepto de Desarrollo Sostenible. A partir de dicho planteamiento en la comunidad internacional se generaron grandes expectativas sobre su alcance, aunque también complejas controversias sobre sus dimensiones y, sobre todo,

sus posibilidades de aplicación en un marco internacional muy diverso y caracterizado por marcadas asimetrías.

En países en desarrollo como la República Dominicana, las comunidades rurales aisladas energéticamente son del orden de los cientos, mientras que los proyectos de microrredes para integrar estas comunidades en el desarrollo no superan las decenas. La Dirección de la Unidad de Electrificación Rural y Suburbana (UERS) ha manifestado que alrededor del 10% de la población dominicana no tiene acceso a la electricidad [1]. El Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos dentro del documento “Panorama Energético de República Dominicana”, destaca la alta disponibilidad de fuentes de energía renovable provenientes de la eólica, hidroeléctrica, biomasa y solar [2]. Esto constituye una buena oportunidad para el desarrollo de proyectos de energía renovable para el desarrollo sostenible.

El desarrollo endógeno plantea utilizar las capacidades internas de las comunidades para fortalecerlas de una forma sostenible[3]. El enfoque de medios de vida sostenible comprende los activos con que cuenta una comunidad y cómo estos pueden ser relientesn sin afectar los recursos naturales que los sustentan[4].

Los ODS, especialmente en el Objetivo 7 (Energía asequible y no contaminante para todos), plantean la necesidad de lograr energía limpia y suficiente para todos. La inclusión por parte de la ONU de este objetivo en la agenda 2030 demuestra la correlación que tiene el acceso a la energía con el desarrollo, ya que posibilita la conectividad, el uso de tecnologías de la salud y una mayor productividad en las comunidades.

Los trabajos sobre microrredes han ganado terreno durante la última década y generando esfuerzos de investigación importantes para promover la conciencia energética, abordando diferentes múltiples desafíos, como la demanda máxima, la calidad de la energía, el control de las emisiones de carbono, la confiabilidad, la resiliencia, su funcionamiento aislado de la red, generación de energía variable, control, integración de microrredes, entre otros [5] [6] [7].

Las tecnologías de energía renovable no están exentas de impactos ambientales. Si bien son sistemas de energía limpia, es necesario entender que los análisis de impacto de los ciclos de vidas revelan que la demanda de energía primaria y las

emisiones de carbono producidas desde su fabricación hasta el momento de su desactivación muchas veces derivan en un balance de emisiones desfavorable [8].

A pesar de que las microrredes con fuentes fotovoltaicas tienen un menor impacto ambiental en comparación con los sistemas eólicos e hidroeléctricos, los problemas asociados a la gestión del ciclo de vida, constituyen un reto importante para la sostenibilidad ambiental del medio en el que desarrolla el proyecto y la forma en se pueda eliminar y reciclar los desechos de los módulos fotovoltaicos y bancos de baterías, constituye en un punto fundamental a tener en consideración [9].

No obstante a los retos que se han establecido, el rápido desarrollo de las tecnologías de energía renovable y la creciente demanda para generación de bajas emisiones, sigue permitiendo que las perspectivas de su uso sean muy amplias y prometedoras dentro de los sistemas aislados de la red, ya que tomando en consideración los aspectos técnicos y económicos, es bastante factible sustituir los combustibles fósiles con energía renovable para el suministro de energía en microrredes aisladas [10].

Por todo lo anterior entendemos que las corrientes epistemológicas actuales conducen a la necesidad de profundizar las investigaciones en sistemas de microrredes aisladas de la red que puedan tomar en consideración factores endógenos y los medios de vida sostenibles de las comunidades, para el proceso de planificación, diseño y gestión eficiente.

II. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para el desarrollo del trabajo incluye cuatro etapas u objetivos que permitirán desarrollar el modelo propuesto. Estas fases son:

1. Caracterizar las potencialidades endógenas, medios de vida y capitales de la comunidad aplicado a comunidades energéticamente aisladas en una comunidad seleccionada como piloto.

La resiliencia es un concepto acuñado en las ciencias ambientales, para hacer referencia a "la capacidad de los sistemas para absorber perturbaciones y mantener sus funciones, así como para renovarse y reorganizarse" [11]. Refieren que la resiliencia "depende tanto de las condiciones de los recursos naturales (suelo, agua y biodiversidad) como del nivel de conocimiento y capacidad de aprendizaje y manejo de los grupos humanos y sus instituciones". Otra tendencia combina el concepto de física con el ambiental para establecer que la resiliencia permite a las personas o comunidades restablecer sus condiciones iniciales, luego de la exposición a situaciones extremas, destacando la condición de perseverancia humana como factor predominante en esto [12].

La caracterización de las potencialidades y marcos de vida de la comunidad seleccionada nos permitirá determinar que tan resiliente será esta ante la implementación de un proyecto micro

energético y cuáles variables incidirán en la misma, se plantean cuatro actividades como parte de esta fase:

- a) Diagnóstico de medios de vida y capitales de la comunidad mediante la participación activa de los miembros de la comunidad para la realización de este. Para determinar los hogares y actores a entrevistar se usará el método de muestreo aleatorio bola de nieve [13]. Este método permite obtener la información cualitativa de actores clave y lograr eficiencia en la recolección de datos.
 - b) Un análisis participativo de la interacción de capitales. Para esto se tomarán como punto de partida los resultados del diagnóstico de capitales, que será socializado con actores claves a través de un taller en el cual establecerán analizarán las interacciones entre los capitales. Esto conllevará la realización de un Análisis FODA por capitales, la determinación de los efectos positivos y negativos de cada capital sobre los demás.
 - c) La determinación de oportunidades de intervención, de manera participativa con los actores claves, a partir de los resultados del taller de análisis de interacción de los capitales. Estas oportunidades estarán basadas en las prioridades de los actores locales según los resultados de los ejercicios anteriores.
 - d) El diseño de un protocolo para el levantamiento de línea base, monitoreo y evaluación de la evolución de los capitales y medios de vida de la comunidad, como punto de partida para replicación de la experiencia en otras comunidades.
2. Diseñar la arquitectura lógica y técnica modular para microrredes de generación con energía renovable. El proceso de diseño de la configuración es el que sigue:
 - a) Estimación de los perfiles de carga por clientes sobre la base de los factores de desarrollo, estableciendo una clasificación de clientes, definiendo las características actuales y potenciales de crecimiento, para determinar con precisión la demanda de carga y la estrategia de fuente de energía y su gestión adecuada.
 - b) Dimensionar las distintas fuentes de generación de energía considerando el censo de los hogares y la definición de proyectos de intervención basados en las potencialidades endógenas de la comunidad. Sobre este factor desarrollar la tecnología de control, supervisión y gestión que permita el manejo y distribución de la energía, considerando un modelo matemático que incluya parámetros que permitan visualizar el comportamiento del sistema y prever fallas.
 - c) Definir la topología de microrredes donde se relacione la estructura organizativa, lógica y funcional de los equipos y métodos a utilizar para la gestión de la red.

- d) Implementar modelo y su simulación para evaluar configuraciones establecidas y su rendimiento.
3. Desarrollar un modelo cuantitativo para simular y evaluar la contribución de los factores endógenos y capitales de la comunidad al desarrollo energético sostenible.

La relación entre el desarrollo sostenible y la demanda de energía para el desarrollo endógeno de comunidades aisladas podría entenderse verificando la Visión General del Marco de Medios de Vida Sostenibles utilizados por la FAO (ver figura 2), en este modelo que describe en una sección posterior, la agencia de la ONU propone cómo los capitales de las comunidades pueden intervenir para influir o seguir rompiendo el círculo vicioso del desarrollo.

Aunque los modelos que correlacionan el crecimiento del producto interno bruto por habitante y el impacto al medio ambiente, nos indican que en el corto y mediano plazo existe una relación directa entre ambos, no se puede generalizar sin tomar en consideración que factores como las normativas, las tecnologías emergentes y el empoderamiento social local pueden, de incluirse en el modelo de desarrollo, cambiar la forma de esta relación [14]. La curva ambiental de Kuznets explica que inicialmente el desarrollo económico traerá un incremento en la degradación del medioambiente, pero en la medida que las comunidades siguen creciendo, se empieza a dar una relación inversa y el crecimiento empieza a generar una mejoría del medioambiente. Atendiendo a esto, se justifica que las microrredes se desarrollen basadas en el uso de fuentes de energías renovables que permitan cambiar el modelo de curva de Kuznets hacia uno en el que el crecimiento económico de la comunidad implique de forma inmediata la mejora de las condiciones del medio ambiente y con ello contribuya al desarrollo sostenible de la misma.

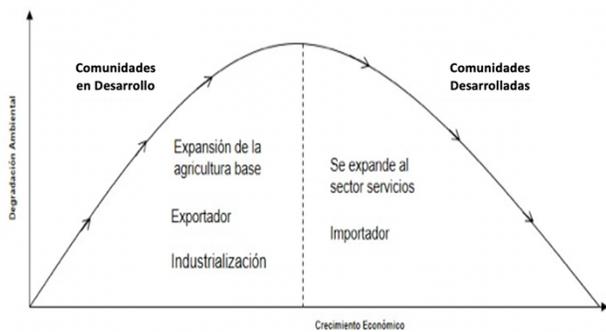


Fig. 1: Curva ambiental de Kuznets adaptada [15] [16]

El proceso de simulación de las distintas configuraciones de microrredes se basará en el uso de las aplicaciones Matlab, ETAP Electrical Power Systems, System Advisor Model SAM y la experimentación mediante el laboratorio de Smart Grid D' Lorenzo a través de un sistema SCADA. Las actividades de este proceso serán:

- a) Identificación de los factores que inciden en la demanda de energía
- b) Caracterización de los indicadores que para los factores claves que inciden en la demanda de energía
- c) Definición de los rangos de tolerancia de los indicadores
- d) Simulación de los indicadores y ajuste.

4. Contrastar los resultados en la comunidad de aplicación con modelos de diseño y gestión de microrredes vigentes. Distintos estudios sobre microrredes han propuesto que la falta de consideraciones adecuadas para los factores habilitantes es una de las principales razones por las que las microrredes fallan en varias comunidades fuera de la red. Es en este contexto que se requieren esfuerzos de investigación que consideren mejores estrategias y marcos para lograr microrredes sostenibles en comunidades remotas [17]. Los sistemas autónomos de electrificación basados en el uso de energías renovables son adecuados para electrificar comunidades rurales aisladas. Para su diseño existen herramientas de apoyo a la toma de decisiones, pero no cubren algunas limitaciones técnicas y sociales y no consideran el detalle específico del proyecto [18].

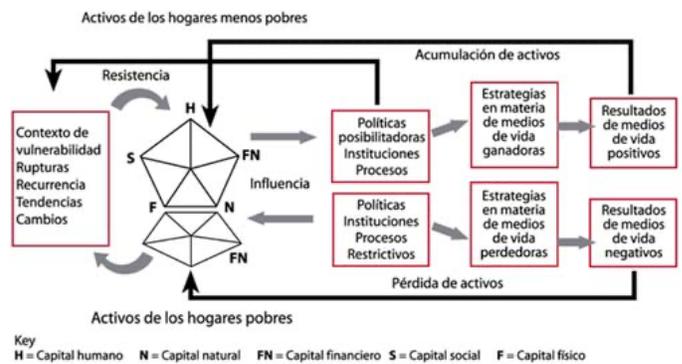


Fig. 2: Visión general de los marcos de vida sostenibles[4].

La bibliografía consultada ha propuesto modelos para examinar críticamente los factores predominantes en la sostenibilidad de las microrredes basados principalmente en perspectivas, modelos y técnicas sociales, tecnológicas, económicas, ambientales y políticas, tales como las utilizadas por el modelo de Medio de Vidas Sostenible (Figura 2) La corriente epistemológica actual establece que la sostenibilidad de los sistemas de microrredes aisladas debe incluir otras perspectivas más vinculantes que la posibilidad de desarrollo de las comunidades en función de sus capacidades o marco de capital social.

Para contrastar los modelos existentes nos proponemos:

- a) Aplicar y validar el modelo
- b) Evaluar las alternativas dispuestas en los pasos anteriores.

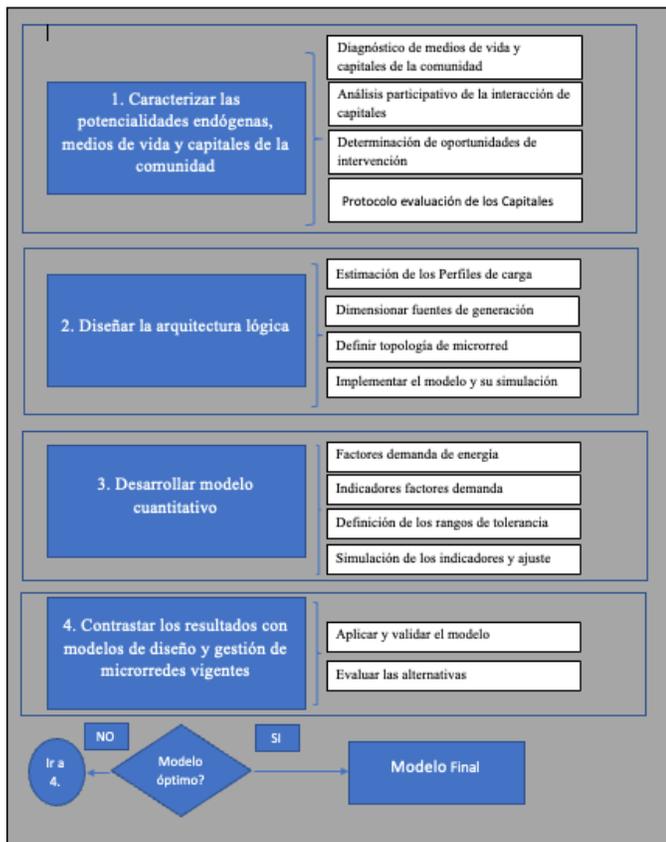


Fig. 2 Metodología Propuesta

III. CONCLUSIONES

Se ha presentado la estructura de la propuesta para el desarrollo de un Modelo para la toma de decisiones en diseño y la gestión de microrredes de generación distribuida, que contribuya al desarrollo sostenible. Este modelo permitirá eficientizar e incrementar la sostenibilidad de los proyectos de microrredes para comunidades aisladas de la red interconectada lo que permitiría contribuir con el desarrollo integral de dichas comunidades.

El modelo propuesto persigue incorporar variables que permitan correlacionar los marcos de capitales de las comunidades con la planeación energética de las mismas y hasta el momento se encuentra en fase de definición y acercamiento a las posibles comunidades de aplicación para establecer vínculos con las mismas y asegurar que a través de esa vinculación se obtenga la sinergia que garantice el éxito de la investigación.

REFERENCIAS

[1] “Más de un millón de dominicanos no tiene acceso al servicio eléctrico”, *www.diariolibre.com*, mar. 13, 2019.

<https://www.diariolibre.com/economia/mas-de-un-millon-de-dominicanos-no-tiene-acceso-al-servicio-electrico-MA12307975> (consultado abr. 16, 2020).

- [2] D. Elliott *et al.*, “Wind Energy Resource Atlas of the Dominican Republic”, NREL/TP-500-27602, 15000080, oct. 2001. doi: 10.2172/15000080.
- [3] I. Brunet Icart y R. Böcker Zavaro, “Desarrollo sostenible, humano y endógeno”, *ES*, vol. 33, oct. 2015, doi: 10.24201/es.2015v33n0.4.
- [4] DFID, *sustainable livelihoods guidance sheets*. 1999.
- [5] S. Mandelli, J. Barbieri, R. Mereu, y E. Colombo, “Off-grid systems for rural electrification in developing countries: Definitions, classification and a comprehensive literature review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58, pp. 1621–1646, may 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.338.
- [6] Bhaskara, S.N.; Chowdhury, B.H., “Microgrids—A review of modeling, control, protection, simulation and future potential.”, en *In Proceedings of the Power and Energy Society General Meeting, San Diego, CA, USA*, jul. 2012, pp. 1–7.
- [7] Venkatraman, R.; Khaitan, S.K., “A survey of techniques for designing and managing microgrids.”, en *In Proceedings of the Power and Energy Society General Meeting, Denver, CO, USA*, jul. 2015, pp. 1–5.
- [8] Yue, D.; You, F.; Darling, S.B., “Domestic and overseas manufacturing scenarios of silicon-based photovoltaics: Life cycle energy and environmental comparative analysis.”, *Sol. Energy*, pp. 105, 669–678., 2014.
- [9] Feron, S., “Sustainability of off-grid photovoltaic systems for rural electrification in developing countries: A review.”, *Sustainability*, pp. 8, 1326, 2016.
- [10] Y. Kuang *et al.*, “A review of renewable energy utilization in islands”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 59, pp. 504–513, jun. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.01.014.
- [11] P. Balvanera, M. Astier, F. D. Gurri, y I. Zermeño-Hernández, “Resiliencia, vulnerabilidad y sustentabilidad de sistemas socioecológicos en México”, *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 88, pp. 141–149, dic. 2017, doi: 10.1016/j.rmb.2017.10.005.
- [12] J. Cabanyes Truffino, “Resiliencia: una aproximación al concepto”, *Revista de Psiquiatría y Salud Mental*, vol. 3, núm. 4, pp. 145–151, oct. 2010, doi: 10.1016/j.rpsm.2010.09.003.
- [13] I. A. Gutiérrez-Montes, P. B. de Imbach, F. Ramírez, J. L. Payes, E. Say, y K. Banegas, “MAP-CATIE Las escuelas de campo del”, p. 67.
- [14] H. Catalán, “Curva ambiental de Kuznets: implicaciones para un crecimiento sustentable”, *Economía Informa*, vol. 389, pp. 19–37, nov. 2014, doi: 10.1016/S0185-0849(14)72172-3.
- [15] J. C. V. Schmalbach, F. J. M. Avila, y V. M. Quesada, “Crecimiento económico y emisiones de CO₂: el caso de los países suramericanos”, *Revista Espacios*, p. 9, 2018.
- [16] J. Agra y D. Chapman, “A dynamic approach to the Environmental Kuznets Curve hypothesis”, *Ecological Economics*, vol. 28, núm. 2, pp. 267–277, feb. 1999, doi:

10.1016/S0921-8009(98)00040-8.

[17]D. Akinyele, J. Belikov, y Y. Levron, “Challenges of Microgrids in Remote Communities: A STEEP Model Application.”, *Energies (19961073)*, vol. 11, núm. 2, p. 432, feb. 2018.

[18]B. D. Lega, “Modelo para el diseño de proyectos de electrificación rural con consideraciones técnicas y sociales”, p. 73.