

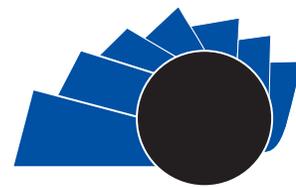


UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<https://doi.org/10.14483/issn.2248-4728>



VISIÓN ELECTRONICA

Visión Actual

Planificación de la electricidad en zonas rurales aisladas

Planning of electricity in isolated rural areas

Diana Stella García Miranda¹, Cesar Leonardo Trujillo Rodríguez², Francisco Santamaría Piedrahita³

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Historia del artículo

Enviado: 08/03/2018

Recibido: 24/05/2018

Aceptado: 07/07/2018

Palabras clave:

Electricidad,
Método de planificación,
necesidades básicas,
Zona rural.

Keywords:

Electricity,
Method of planning,
Needs,
Rural basic.

RESUMEN

Los modelos utilizados para la planificación de electricidad han cambiado en las últimas décadas, así como los usuarios -principio y fin de la cadena energética del sistema eléctrico de potencia- también lo han hecho, pues se han incorporado variables ambientales, sociales, económicas, tecnológicas; y nuevas alternativas como el desarrollo sostenible, la eficiencia energética, el uso de fuentes renovables de energía, el acceso universal de la energía, la transición energética, la medición inteligente, la respuesta y la gestión de la demanda, los sistemas de información geográfica, entre otras. Sin embargo, en las zonas rurales aisladas, en especial con baja densidad de población, los modelos tradicionales no son convenientes (aunque son utilizados) en la búsqueda de la solución de sus necesidades energéticas básicas. En este artículo se revisa, en consecuencia, el contexto de la planificación de sistemas eléctricos aislados, sus diversas metodologías y los alcances para las comunidades con población escasa y bajos ingresos, para garantizar una operación fiable, segura y económica de la entrega de energía.

ABSTRACT:

The models used for the planning of electricity have changed in recent decades, as well as the users have done -the beginning and the end of the energy chain of the electrical system of power-; incorporating environmental, social, economic, technological variables, with new policies such as sustainable development, energy efficiency, the use of renewable sources of energy, universal access to energy, the energy transition, smart metering, response and demand management, geographic information systems, among others. However, in isolated rural areas with low population density, the traditional models are not appropriate (though they are used) in the pursuit of the common solution of their basic needs. In this article it reviews the context of the planning of electrical systems isolated, its various methodologies and the scope for communities with sparse population and income to ensure reliable operation, secure and economic energy delivery.

¹ Ingeniera Electricista, Universidad Nacional de Colombia. MSc. En Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional. Estudiante de Doctorado en Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, Correo electrónico: dsgarciam@udistrital.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3850-3423>.

² Ingeniero Electrónico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. MSc. En Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Ph.D. En Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica De Valencia, España. Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo electrónico: cltrujillo@udistrital.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0985-1472>.

³ Ingeniero Electricista Universidad Nacional de Colombia, Colombia. MSc. En Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Ph.D. En Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo electrónico: fsantamariap@udistrital.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0391-4508>.

Citar este artículo como: D. S. García-Miranda, C. L. Trujillo-Rodríguez y F. Santamaría-Piedrahita, "Planificación de la electricidad en zonas rurales aisladas", Visión electrónica, algo más que un estado sólido, vol. 1, no. 1, Edición especial, enero-junio 2018. DOI revista: <https://doi.org/10.14483/issn.2248-4728>.

1. Introducción

La energía eléctrica es la columna vertebral de la economía, pues siempre se ha visto como motor del desarrollo y supervivencia [1]. Por tanto, se debe proveer un servicio adecuado y propender por garantizar la comodidad de tenerlo siempre disponible. La Organización de las Naciones Unidas, en el 2015, presentó los nuevos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que orientarían la política de desarrollo y financiamiento para los próximos 15 años, siendo el objetivo número 7 el de “Energía asequible y sostenible” [2]. Igualmente, el organismo declaró que más de 1.300 millones de personas carecen hoy aún de acceso a la electricidad moderna, y que 3.000 millones de seres humanos dependen de la madera, el carbón o residuos animales para cocción o calefacción [2].

De otro lado, la planificación energética implica la búsqueda de un conjunto de fuentes y equipos de conversión que satisfagan de manera óptima la demanda de energía de todas las actividades de una región. En este sentido, la electrificación en las zonas rurales ha pasado por varias etapas dependientes de factores - políticos, económicos, sociales y ambientales- que han influido en el modelo de la fuente de alimentación y la evaluación social del proyecto energético, de acuerdo con las especificaciones del esquema de planificación utilizado. Recientemente, los aspectos económicos han sido evaluados con criterios sociales, y en algunos casos los criterios legales y reglamentarios son incluidos. Y, para la evaluación de estos objetivos, se han creado diferentes herramientas computacionales con criterios y subcriterios que consideran la relevancia de los decisores o agentes responsables del proceso de análisis de decisión, con técnicas matemáticas, heurísticas y/o metaheurísticas para encontrar el mix energético de la zona en estudio.

En la anterior perspectiva, en Colombia se han propuesto metodologías como las documentadas en [3] y [4]. En la primera publicación, se aplica una propuesta con el uso del Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process - AHP) y el método VIKOR, en el que los decisores pueden observar comparativamente el comportamiento de los sistemas de suministro eléctrico, ya sea mediante la generación distribuida o mediante la extensión de las redes eléctricas; como caso se tiene que en el municipio de Puerto Lleras (vereda las Gaviotas), Colombia, se ha estado usando para ello el software libre i-HOGA. En el segundo documento, el modelo que se utiliza permite diseñar una microrred óptima utilizando

los criterios definidos para gestión de la demanda, en el departamento de Chocó, Colombia, disponiendo del software comercial HOMER.

No obstante, debido a las particularidades de las zonas rurales aisladas se ha aconsejado el uso de los recursos de energía renovables como la única opción viable para el abastecimiento de electricidad, no existe en la literatura suficiente información sobre la planificación en sitios con baja densidad poblacional y limitaciones en la capacidad de pago del servicio de electricidad con la inclusión integral de aspectos técnicos, económicos, sociales, ambientales y regulatorios.

En consecuencia, el presente artículo expone cómo se realiza el suministro de energía en zonas aisladas y sus características, los métodos de planificación eléctrica en zonas rurales, y las cualidades de algunos de los programas de computador utilizados. Se estructura de la siguiente manera: inicialmente se describe cómo se realiza el suministro de energía en zonas aisladas; luego se revisan los métodos de planificación, y finalmente se establecen las conclusiones de la investigación.

2. El suministro de energía eléctrica en zonas aisladas

El suministro de electricidad en zonas aisladas, tradicionalmente, se realiza a través de una pequeña red que suele estar alimentada por un grupo electrógeno basado en un generador diésel o de gasolina [4]. El generador diésel representa la forma más común de suministrar potencia en esas áreas, donde los rangos de aplicaciones varían de 1 kW a unos 10 MW. El servicio eléctrico se limita a unas pocas horas al día, con desconexiones frecuentes debido a problemas técnicos o de suministro de combustible afectando la calidad y continuidad en el suministro [5].

En tal sentido, la experiencia en energización en Zonas No Interconectadas (ZNI) en Colombia a través de plantas térmicas alimentadas con diésel, revela que esta alternativa no es sostenible; por un lado, el costo de sostenimiento y mantenimiento preventivo y correctivo de estas plantas es muy alto; y por el otro, porque los consumidores en estas zonas tienen una baja capacidad de pago [1].

Por lo tanto, de manera general, se puede hablar de dos formas básicas de suministrar energía a las zonas aisladas, una es la extensión de la red (la cual es generación centralizada); y la otra es la generación descentralizada (compacta o dispersa), [6]. La primera

solución involucra contar con infraestructura de transporte y/o distribución de energía eléctrica; mientras que la generación descentralizada comprende sistemas de energía pequeños, híbridos, modulares y

descentralizados, localizados cerca de los usuarios [6]. Algunas de las características de las formas de suministro de energía, se pueden observar en la Tabla 1.

Electrificación por extensión de redes	Electrificación por generación distribuida descentralizada
Alto costo de conexión, por su dispersión y lejanía.	La capacidad de la tecnología ya está demostrada para satisfacer las necesidades de energía rural, especialmente los basados en fuentes de energía renovable, como los sistemas solares fotovoltaicos, los pequeños generadores de electricidad eólica, las micro y minicentrales hidráulicas, la biomasa y los grupos electrógenos diésel.
La extensión de la red se hace inviable para la electrificación rural en zonas naturales protegidas, donde no se permite el paso de líneas de transporte o distribución de energía.	
Las variables para determinar el costo de la extensión de red son la distancia al punto más cercano de la red de distribución o transporte, la potencia total demandada y el tipo de terreno que se debe atravesar.	Bajos costos de generación, el uso de los recursos locales, viabilidad de las plantas según las necesidades, la viabilidad de la gestión local y la participación de la comunidad en la selección de las opciones de energía.
Tiempo de retorno de la inversión previsiblemente demasiado largo, por sus bajos consumos unitarios.	Existen emprendedores, autoridades regionales y locales, y representantes de las comunidades preparados para participar en el proceso [7], [8].

Tabla 1. Características de soluciones convencionales de suministro de energía en zonas aisladas.

Fuente: Elaboración propia.

Es así que el suministro de electricidad a las zonas rurales aisladas es imprescindible para el desarrollo social y económico de los habitantes de aquellas zonas que por su dificultad de acceso o por razones económicas, hacen muy difícil su conexión a las redes de distribución [9][11]. No obstante, la selección de las tecnologías (Tabla 2) a aplicar debe realizarse atendiendo a las características de las comunidades a electrificar.

Sistema	Ventajas	Inconvenientes
Generación grupo electrógeno de diésel o gasolina aislado	Inversión inicial reducida Facilidad de adquisición de equipos	Precio combustible (volatilidad), altos costos de operación Riesgos ambientales (transporte, almacenamiento y derrame de combustibles, gases contaminantes, ruido producido)
Fotovoltaico aislado	Cercanía al usuario, bajo mantenimiento, sencillez instalación	Tarea mantenimiento Alta inversión. Economía de escala
Estaciones de recarga Baterías	Optimizan sistema generación. Facilitan el mantenimiento	Desplazamiento baterías Riesgo vertido ácido
Híbridos	El diésel soporta la instalación, evita o reduce el uso de batería. Mayor eficiencia	Complejidad técnica de diseño Diferentes configuraciones (Conexión DC, Conexión AC, conexión AC y DC)
Microrredes	Optimizan generación. Gestión comunitaria. Minihidráulica	Necesidad contador consumo

Tabla 2. Características de sistemas de generación para áreas descentralizadas.

Fuente: adecuadas por los autores de [12][17].

Es decir: la electrificación de estas zonas debe enfocarse con criterios de sostenibilidad, y debe entenderse como un problema multidisciplinar, que integre aspectos técnicos, económicos, regulatorios, sociales y culturales diversos; y que no debe entenderse como un fin en sí misma, sino como un instrumento necesario para el desarrollo social y económico de las comunidades como una herramienta eficaz para la lucha contra la pobreza [10], [12], [1823]. De otro lado, el perfil de carga diario en comunidades rurales ilustra el mismo comportamiento en diferentes partes del mundo (Figura

1 (a) Ban Pang, Praratchatan, Tailandia; (b) un asentamiento rural en Australia Occidental; (c) Alaminos, Filipinas; (d) San Juanico, México; (e) hogares rurales en la República Democrática Popular Lao y (f) Puerto Plata, República Dominicana). Se caracteriza en general por un pico de consumo en la mañana, otro alrededor del mediodía y un gran pico en la noche. Esta información es necesaria en la utilización de diferentes plataformas de simulación que se encuentran en el mercado.

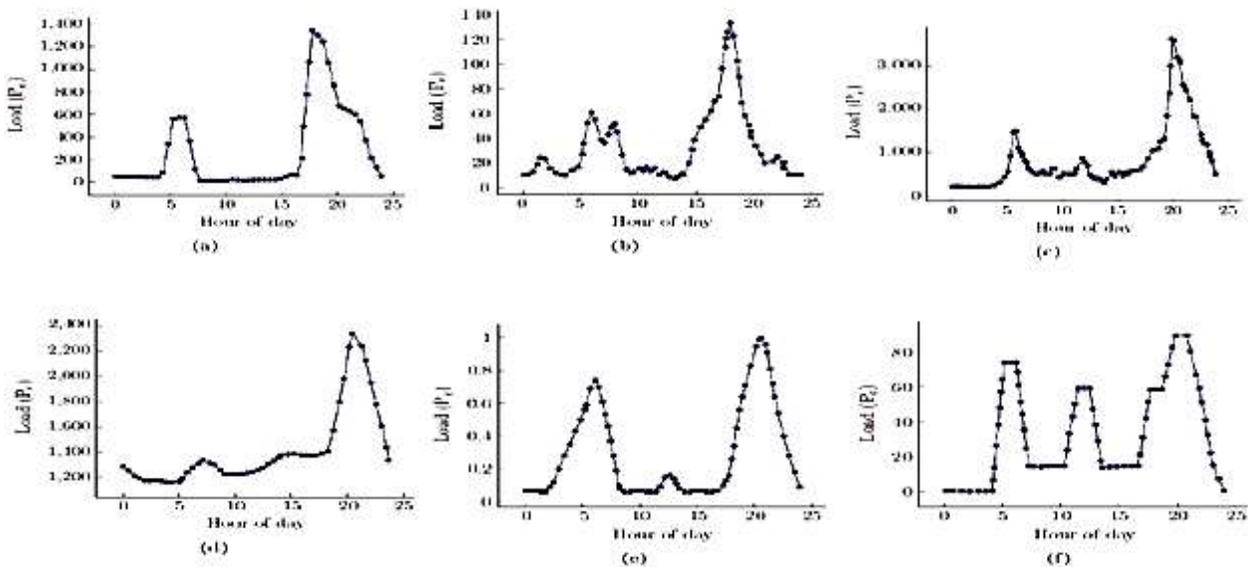


Figura 1. Perfiles de carga diaria de comunidades rurales [24].

3. Métodos de planificación eléctrica en zonas rurales

El primer desarrollo formal para la planificación eléctrica en zonas rurales fue el de utilizar la expansión de la red, igual que en la planificación urbana, trayendo problemas técnicos y altos costos en las soluciones encontradas [25]. Después se desarrollaron los modelos de generación distribuida, en los cuales se utilizaron los recursos energéticos renovables, y en sus soluciones buscaron minimizar los problemas sociales y ambientales. Recientemente se utilizan los modelos de energía, en los cuales se construyen modelos informáticos de los sistemas para analizarlos.

En este sentido, los métodos de planificación energética tienen diferentes tipos de instrumentos como el *Top Down* (Análisis Macroeconómico de tipo predictivo, se asume que los mercados son eficientes y

tiene en cuenta los efectos intersectoriales) y el *Bottom Up* (Análisis para uso Final con opciones tecnológicas, en el que se puede hacer la evaluación de políticas ambientales sectoriales).

Entre las Técnicas utilizadas de la planificación se encuentra (Figura 2) [25]:

- Optimización (Programación lineal entera mixta, Asignación óptima de los recursos energéticos, Sujeto a restricciones)
- Simulación (Evaluaciones paramétricas y/o econométricas, Asignación de recursos energéticos no necesariamente óptima. Comportamiento sujeto a variación de precios, renta, progreso tecnológico, etc.)
- Modelos híbridos: Asumen variables macroeconómicas exógenas como endógenas.

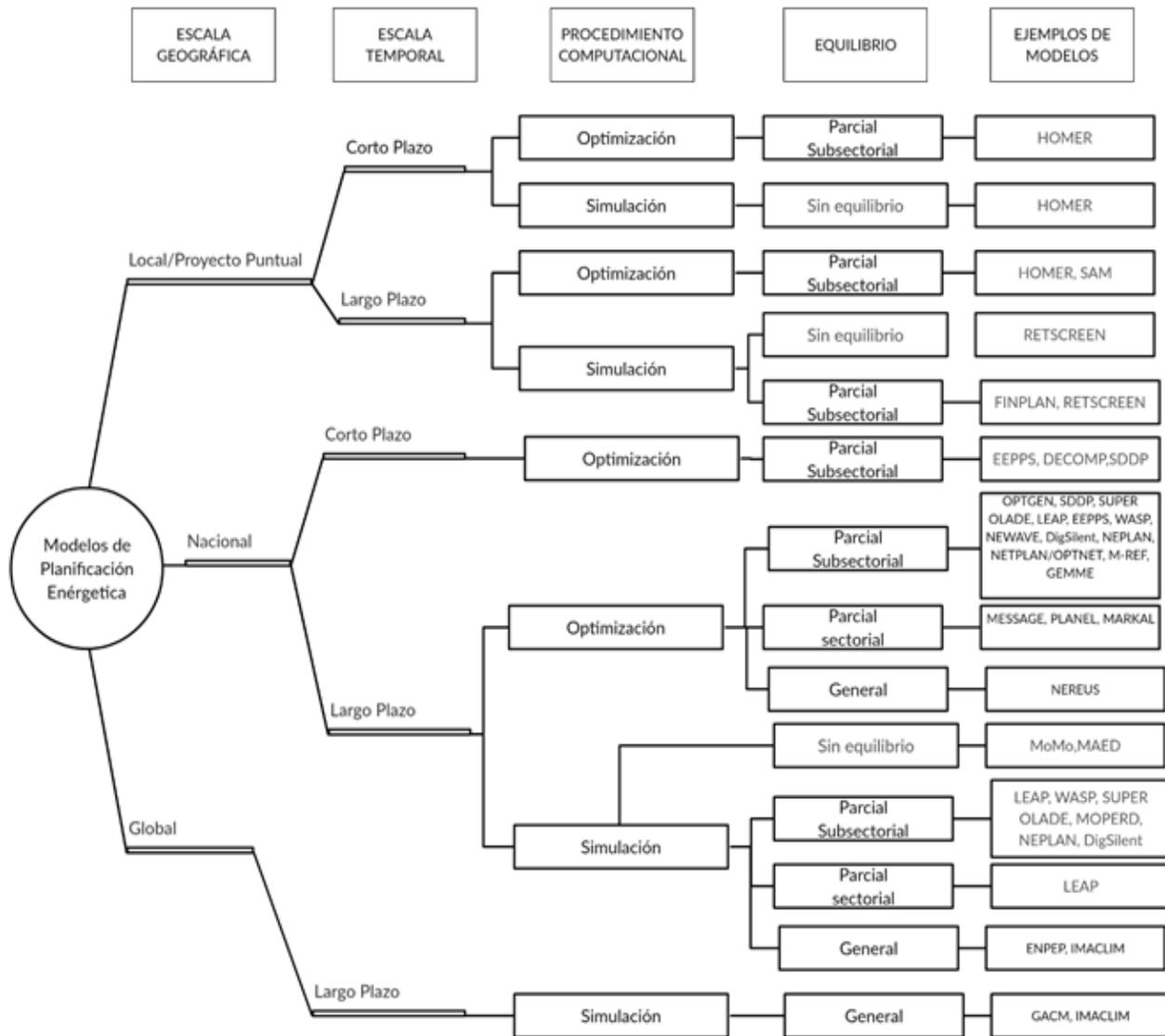


Figura 2. Modelos de Planificación energética [26].

De otro lado, también existen herramientas como la teoría de Equilibrio: General (Sector energético es modelado simultáneamente con otros sectores), Parcial (Explica comportamiento de oferta, demanda y precios en parte de una economía) No equilibrio (solo oferta o demanda de un sector) (Figura 2). De otra parte, en las

herramientas computacionales se encuentran distintas tecnologías para el suministro de energía en las comunidades, como se observa en la Tabla 3, donde el análisis técnico y económico es el criterio de decisión.

Herramienta Computacional	Análisis Económico	Análisis Técnico	Sistema Fotovoltaico	Sistema Eólico	Grupo Electrónico	Almacenamiento de Energía	Bioenergía	Hidroenergía	Sistema Térmico
HOMER	X	X	X	X	X	X	X	X	-
HYBRID2	-	X	X	X	X	X	-	-	X
iHOGA	X	X	X	X	X	X	-	X	-
RETScreen	X	X	X	X	-	X	-	-	-
HYBRIDS	-	X	X	-	-	X	-	-	-
SOMES	X	X	X	X	-	X	-	-	-
RAPSIM	-	X	X	X	X	X	-	-	-
SOLSIM	X	X	X	X	X	X	X	-	-
ARES-I & ii	-	X	X	X	X	X	-	-	-
HYSIS	-	X	X	X	X	X	-	-	-
INSEL	-	X	X	X	X	X	-	-	X
SOLSIM	X	X	X	X	X	X	X	-	-
HybSim	X	X	X	-	X	X	-	-	-
Dymola/Modelica	X	-	X	X	X	X	-	-	-
SOLSTOR	X	X	X	X	X	-	-	-	-
HySim	X	X	X	-	X	X	-	-	-
IPSYS	-	X	X	X	X	X	-	X	-
Hybrid Designer	X	-	X	X	X	X	-	-	-
TRNSYS	X	X	X	X	X	X	-	-	X
iGRHYSO	X	X	X	X	-	X	-	X	-

Tabla 3. Tecnologías utilizadas en las herramientas de suministro de energía [27].

Por otra parte, en [28] se presenta y examina los métodos utilizados para la planificación de la electrificación en el medio rural con fuentes de energía descentralizadas, entre los resultados se resalta que:

- Entre los 120 trabajos publicados entre 1970 y 2013, 50 de ellos plantean la planificación de la electrificación rural con fuentes de energía descentralizadas, lo que corresponde a 41,67% de los trabajos publicados en la literatura correspondiente. Las publicaciones restantes abordan otros servicios de energía, como la fuente de alimentación para los sitios urbanos a través distribuida y centralizada generación, transporte, edificios, etc.
- Ninguna de las publicaciones sobre la planificación descentralizada de energía fue publicado antes de 1980. Cabe destacar que sólo cuatro publicaciones pertenecen a la década de 1980. Diecisiete publicaciones corresponden a

la década de 1990, y 29 corresponden al período 2000-2013 (58,00%).

- Los países con el mayor número de contribuciones a este campo de estudio son la India y Colombia.
- En los modelos matemáticos, el objetivo principal de la fuente de alimentación se ha centrado en la demanda de energía desde el dominio doméstico (residencial).
- Las poblaciones objetivo (usuarios beneficiarios) en los estudios oscilan entre 200 y 2000 personas. Por el contrario, pocas investigaciones se han realizado en los asentamientos rurales y remotas con menos de 200 personas
- Las metodologías para la planificación del suministro de energía en zonas rurales y remotas con fuentes descentralizadas se

centran principalmente en un único criterio u objetivo. El factor económico es uno de los criterios más comúnmente aplicado para reducir al mínimo los costes totales.

En documentos recientes de Arabia Saudi, Yanbu, Bangladesh, India, África, Tanzania, Egipto, Malasia, Islas Fiji, Honduras y otros países, se puede concluir que existen diversos criterios técnicos (selección de tecnologías, confiabilidad del sistema, disponibilidad del recurso, sistemas híbridos), económicos (costos de operación, costos de inversión) y sociales (pobreza energética) para la planificación en zonas rurales [5,10,12,13,21,23],[29-33].

Además, existen nuevos desarrollos desde la dinámica de sistemas en donde las variables del entorno dejan de ser parámetros de referencia únicamente y pasan a ser variables de decisión.

La aparición de tecnologías más eficientes, la reducción de los costes de inversión, la contaminación ambiental y el cambio climático, están motivando la utilización de metodologías de toma de decisiones que favorecen resultados más sólidos y coherentes que se basan en las condiciones ambientales en que el sistema de alimentación debe estar ubicado siendo el software HOMER uno de los más populares en la literatura. Con estas nuevas tecnologías se examina el comportamiento a lo largo del día y sus potenciales impactos con la coincidencia con la carga (Gestión de la Demanda).

4. Conclusiones

Hoy en día se asume de una manera diferente la planificación de sistemas eléctricos rurales aislados. En las herramientas conocidas, las variables como el índice de CO₂, la penetración de los recursos, los costos de inversión, operación y del energético utilizado, las necesidades energéticas (oferta y demanda) son tenidas en cuenta. Pero faltan muchas variables que deben ser utilizadas como variables de decisión como la capacidad económica, el nivel de vida, la actividad de la comunidad, el NBI, el ciclo de vida y otras variables sociales y ambientales.

Se debe pensar cómo debe ser una herramienta computacional para la planificación de electricidad en comunidades rurales, con baja densidad poblacional y con ingresos salariales bajos, teniendo en cuenta los criterios mencionados en el documento.

Referencias

- [1] Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia, "Plan energético nacional de Colombia: Ideario Energético 2050", 2015. [En línea].
- [2] Naciones Unidas, "Energía - Desarrollo Sostenible", [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/category/energy/>
- [3] G. J. Correa y J. C. Rojas, "Marco de referencia para la planificación de generación distribuida en zonas no interconectadas", *Iteckne*, vol. 14, no. 1, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15332/iteckne.v14i1.1632>.
- [4] Y. A. Muñoz, "Optimización De Recursos Energeticos En Zonas Aisladas Mediante Estrategias De Suministro Y Consumo", tesis Ph.D., Universidad Politécnica de Valencia, España, 2012
- [5] M. S. Carmeli et al., "Hybrid micro-grid experimental application in Tanzania", 5th Int. Conf. Clean Electr. Power Renew. Energy Resour. Impact, ICCEP, 2015, pp. 534541. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCEP.2015.7177542>
- [6] J. C. Rojas, "Planificación del suministro eléctrico en áreas rurales de los países en vías de desarrollo: un marco de referencia para la toma de decisiones", tesis Ph.D., Universidad de Zaragoza, España, 2012
- [7] Portafolio, "Gobierno busca alianzas para cobertura total de energía", 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/gobierno/gobierno-busca-alianzas-para-cobertura-total-de-energia-49806>
- [8] Ministerio de minas y energía, República de Colombia, "Esquema de Convocatorias en Zonas No Interconectadas", 2016. [En línea]. Disponible en: http://www1.upme.gov.co/InformesGestion/Memorias_Rendicion_2017.pdf
- [9] W. Flores, "Guía hacia un futuro energético sustentable para las Américas", Mexico: IANAS-IAP, 2016.
- [10] A. Chauhan y R. P. Saini, "Renewable energy based off-grid rural electrification in Uttarakhand state of India: Technology options, modelling method, barriers and recommendations", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, 2015, pp. 66268
- [11] J. Corsair, "Clean energy and extreme poverty: The cost burden of donated solar home lighting systems", *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2009, pp. 16. DOI: <https://doi.org/10.1109/PES.2009.5275347>.
- [12] T. Baloyi S. K. Kibaara y S. Chowdhuri, "Economic Feasibility Analysis of Wind and Biomass- based Electricity Generation for Rural South Africa", *IEEE PES Power Africa Conf. Econ.*, 2016, pp.

- 3 0 6 – 3 1 0 . D O I :
<https://doi.org/10.1109/PowerAfrica.2016.7556622>.
- [13] S. H. Alalwan y J. W. Kimball, "Optimal Sizing of a Wind/Solar/Battery Hybrid Microgrid System Using the Forever Power Method", Seventh Annu. IEEE Green Technol. Conf., 2015, pp. 29–35. DOI: <https://doi.org/10.1109/GREENTECH.2015.21>.
- [14] M. Das y D. Mukherjee, "A standalone charging station for Li-ion digital camera battery from solar photovoltaic module with supercapacitor", Proc. 2015 Third Int. Conf. Comput. Commun. Control Inf. Technol., 2015, pp. 1–3. DOI: <https://doi.org/10.1109/C3IT.2015.7060213>.
- [15] R. Jafari, S. Y. Derakhshandeh, M. Baharizadeh y M. Fadaei, "The possibility of DC micro grids establishment in remote rural place", The 20th Iranian Electrical Power Distribution Conference, 2015, pp. 28–29. DOI: <https://doi.org/10.1109/EPDC.2015.7330500>.
- [16] P. Loomba, S. Asgotraa y R. Podmore, "DC Solar Microgrids – A Successful Technology for Rural Sustainable Development", IEEE PES PowerAfrica, 2016, pp. 204–208. DOI: <https://doi.org/10.1109/PowerAfrica.2016.7556601>.
- [17] J. Portugal-Pereira, J. Nakatani, K. H. Kurisu, y K. Hanaki, "Comparative energy and environmental analysis of Jatropha bioelectricity versus biodiesel production in remote areas," *Energy*, vol. 83, 2015, pp. 284–293.
- [18] A. Gupta, R. P. Saini, y M. P. Sharma, "Design of an Optimal Hybrid Energy System Model for Remote Rural Area Power Generation", International Conference on Electrical Engineering, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEE.2007.4287310>
- [19] M. Z. Fortes, M. R. Gouvea, C. M. V Tahan, y F. Z. Fortes, "A new suggestion for distributed generation with social and environmental profits in small power plants using renewable energy sources", IEEE Russia Power Tech, 2005, pp. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/PTC.2005.4524453>.
- [20] A. Dimitriou, P. Kotsampopoulos y N. Hatziargyriou, "Best Practices of Rural Electrification in Developing Countries", *MedPower*, 2014, pp. 27–28. DOI: <https://doi.org/10.1049/cp.2014.1658>.
- [21] F. M. Hossain, M. Hasanuzzaman, N. A. Rahim, y W. Ping, "Impact of renewable energy on rural electrification in Malaysia: a review", *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 17, no. 4, 2015, pp. 859–871.
- [22] G. D. Kamalapur y R. Y. Udaykumar, "Electrification in rural areas of India and consideration of SHS", 5th International Conference on Industrial and Information Systems, 2010, pp. 596–601. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIINFS.2010.5578635>.
- [23] J. P. Murenzi y T. S. Ustun, "The case for microgrids in electrifying Sub-Saharan Africa", IREC2015 The Sixth International Renewable Energy Congress, 2015, pp. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/IREC.2015.7110858>.
- [24] G. Prinsloo, R. Dobson, y A. Brent, "Scoping exercise to determine load profile archetype reference shapes for solar co-generation models in isolated off-grid rural African villages", *J. Energy South. Africa*, vol. 27, no. 3, 2016, pp. 11–27.
- [25] G. Mendes, C. Ioakimidis, y P. Ferrão, "On the planning and analysis of Integrated Community Energy Systems: A review and survey of available tools", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 9, 2011, pp. 4836–4854. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.067>.
- [26] R. Schaeffer, A. Szklo, A. Lucena, R. Soria, E. González, R. Rathmann y M. Chávez, "Los instrumentos de planificación energética", 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Rafael_Soria2/publication/306057466_Capitulo_7_del_Manual_de_Planificacion_Energetica_de_OLADE_Los_Instrumentos_de_Planificacion_Energetica/links/57acb4e608ae3765c3bad4ab/

- 7-del-Manual-de-Planificacion-Energetica-de-OLADE-Los-Instrumentos-de-Planificacion-Energetica.pdf
- [27] S. Sinha y S. S. Chandel, “Review of software tools for hybrid renewable energy systems”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 32, 2014, pp. 192–205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.035>.
- [28] J. C. Rojas-Zerpa y J. M. Yusta, “Methodologies, technologies and applications for electric supply planning in rural remote areas”, *Energy Sustain. Dev.*, vol. 20, 2014, pp. 66–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2014.03.003>.
- [29] M. Alam y S. Bhattacharyya, “Decentralized renewable hybrid mini-grids for sustainable electrification of the off-grid coastal areas of Bangladesh”, *Energies*, vol. 9, no. 4, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/en9040268>.
- [30] S. Lal y A. Raturi, “Techno-economic analysis of a hybrid mini-grid system for Fiji islands”, *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 3, no. 1, 2012, pp. 1–10.
- [31] H. F. V. Flores T. Furubayashi y T. Nakata, “Decentralised electricity generation system based on local renewable energy sources in the Honduran rural residential sector”, *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 18, no. 3, 2016, pp. 883–900. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-015-1067-x>.
- [32] A. Helal, R. El-Mohr, y H. Eldosouki, “Optimal design of hybrid renewable energy system for electrification of a remote village in Egypt”, 2nd Int. Conf. Commun. Comput. Control A p p 1 . C C C A , 2 0 1 2 . D O I : <https://doi.org/10.1109/CCCA.2012.6417901>.
- [33] A. M. Mahmud y R. E. Blanchard, “Assessing a rural electrification program in Malaysia: System performance analysis on 11 solar PV-diesel hybrid systems”, 4th International Conference on the Development in the in Renewable Energy Technology (ICDRET), 2 0 1 6 . DOI: <https://doi.org/10.1109/ICDRET.2016.7421506>.