



Modelo para la valoración integral de tecnologías de electrificación rural

Model for Integral valuation of technologies for rural electrification

Ciaddy– Rodríguez Borges

Antonio– Sarmiento Sera

María – Rodríguez Gámez

Recibido: octubre 2014

Aprobado: febrero2015

Resumen/ Abstract

En el presente trabajo se desarrolla un modelo para la valoración integral de distintas tecnología de electrificación rural, basado fundamentalmente en el comportamiento de los sistemas híbridos que emplean fuentes renovables de energía, considerando múltiples criterios, tales como: el porcentaje de generación diesel requerido, costo de la energía equivalente, valor presente neto, costo de operación y mantenimiento, riesgos de la instalación y facilidad de gestión del sistema. Se estudian ocho sistemas energéticos, dimensionados para ofrecer una calidad similar a la extensión de red, que pueden satisfacer distintos escenarios de recursos energéticos y consumos de energía desde 20 hasta 320 kWh/día, y se emplea el modelo matemático desarrollado en un caso práctico, a través del cual se demuestra la facilidad que presenta para valorar tecnologías de electrificación rural, ameritando solo tres datos característicos de la comunidad: la irradiación solar promedio, la velocidad de vientos y el consumo de energía estimada.

Palabras clave: valoración integral, sistemas energéticos, electrificación rural.

In this work it is developed a model for the integral valuation of different technology of rural electrification, the study of the behavior of the hybrid systems was emphasized with the use of renewable energy sources and it was considered multiple approaches for the valuation, such as: the percentage of required generation diesel, cost of the equivalent energy, net present value, operation cost and maintenance, risks of the installation and easiness of administration of the system. A group of eight sized energy systems was studied to offer a similar quality to the one given by the net extension net, with which it can satisfy energy consumptions from 20 up to 320 kWh/day, estimating the behavior of the proposed systems for different scenarios of energy resources readiness. The developed mathematical pattern allows valuing technologies for rural electrification using three characteristic data of the community: the daily average solar irradiation, the wind speed and the estimated energy consumption.

Key words: integral valuation, energy systems, rural electrification.

INTRODUCCIÓN

El empleo exclusivo de combustibles fósiles para la generación eléctrica presenta múltiples limitaciones, entre las que se encuentran: la baja disponibilidad de reservas de este recurso a nivel mundial [1], sus crecientes y fluctuantes costos [2], la concentración geográfica de estos recursos en un conjunto pequeño de países y el notable impacto ambiental que genera su uso en los procesos de generación de electricidad [3].

Debido a las condiciones antes mencionadas, se hace evidente la necesidad de establecer estrategias dirigidas a incorporar nuevas fuentes de energía a la matriz energética mundial, siendo una de las propuestas el empleo de las fuentes renovables de energía disponibles ampliamente a nivel mundial [4].

Algunos estudios desarrollados valoran la posibilidad de empleo de las fuentes renovables de energía, para sistemas autónomos de electrificación rural, lo que permitiría el aprovechamiento del alto potencial de la fuente solar en diversas regiones de América Latina y el Caribe (ALC), lo que representa una importante opción a considerar para la electrificación de comunidades en esta región [5].

La combinación de tecnologías denominadas sistemas híbridos de energía, permite el aprovechamiento de fuentes renovables y convencionales de energías, lo que representa actualmente una oportunidad para avanzar en cuanto a la electrificación rural, con importantes ventajas respecto a otras tecnologías, dada la capacidad para satisfacer distintos rangos de demandas, el empleo de recursos locales y con menor dependencia de respaldo diesel, menores costos de energía equivalente, menor contaminación ambiental y mayor seguridad en la continuidad de operaciones de los sistemas [6].

Uno de los planteamientos que también ha sido formulado, es el requerimiento de aceleración en el tiempo de evaluación y ejecución de estos proyectos de electrificación rural, por lo que se han propuesto sistemas híbridos estandarizados, que puedan ser empleados en distintas comunidades o regiones, a los fines de obtenerse una mayor homogeneidad en la configuración de las soluciones energéticas, lo que traería ventajas, tales como: menor tiempo y costos de instalación, menores costos de mantenimiento, mayor confiabilidad, entre otros beneficios [7].

Estas tecnologías y su posible empleo de forma estandarizadas podrían ser de gran utilidad en ALC, ya que según investigaciones desarrolladas existe un conjunto significativo de países cuya tasa de electrificación rural es inferiores al 80 %, tal es el caso en: Panamá, Nicaragua, Honduras, entre otros países; para los cuales es de interés valorar tecnologías competitivas que empleen fuentes renovables de energía para la electrificación rural [8].

Ante estos escenarios de necesidades actuales surge la problemática de la ausencia de herramientas para la valoración integral de múltiples criterios influyentes en la selección de las tecnologías de electrificación rural [9-10], a los fines de que pueda suministrarse información que abarque varios aspectos involucrados en estos proyectos, entre ellos los ambientales y sociales, no solo los técnicos y económicos (considerados tradicionalmente), esto debido a las diferencias que presenta cada tecnología para cada área geográfica de aplicación.

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de un modelo para la valoración integral de tecnologías de electrificación rural, que mediante el empleo de una herramienta matemática facilite estimar el comportamiento de las variables relevantes para la selección de un conjunto de tecnologías, a partir de los recursos energéticos disponibles y del consumo energético estimado en la comunidad, mediante un procedimiento sencillo que apoye la toma de decisión en materia de electrificación rural.

MATERIALES Y MÉTODOS

El programa seleccionado para la simulación es el HOMER (Hybrid Optimization Models for Electric Renewables) desarrollado por Tom Lambert, el cual permite evaluar diferentes tipos de sistemas energéticos y sus componentes (sistemas solares fotovoltaicos, eólicos, mini-hidráulicos, de generación diesel, entre otros), a partir de un conjunto de datos técnicos y económicos [11].

Debido a que el estudio se dirige para su consideración en la aplicación y valoraciones de las comunidades no electrificadas en América Latina y Caribe (ALC), en las cuales existe un amplio espectro de escenarios de recursos energéticos disponibles, se procedió a delimitar un rango de valores de irradiación solar global estableciéndose promedio anual para la región entre 4 y 6 kWh/m²/día y valores promedio de velocidad de viento entre 3 a 6 m/s [4]. Considerando de amplia utilidad la disponibilidad de datos ofrecida por el GEOPORTAL GEOSUR [5].

Para los rangos de recursos energéticos encontrados en ALC, se realizó un análisis previo determinándose distintas tecnologías que eran recomendable emplear, considerándose desde el empleo de generación diesel exclusiva hasta sistemas híbridos cuyo sistema de respaldo diesel fuera de baja participación (aporte cercano al 10 %), con lo cual se garantizaba una baja dependencia de combustible fósil y el empleo de fuentes renovables locales.

Sin embargo, en el desarrollo del análisis se demostró que la participación en la generación de fuentes renovables de energía y de la dependiente de combustible fósiles, eran variables en función a los recursos energéticos disponibles y de las tecnologías a emplear, para el amplio rango de condiciones presentes en la zonas geográficas de ALC, encontrándose la necesidad de emplear diversas tecnologías tales como: sistemas híbridos eólico fotovoltaico, fotovoltaico, eólicos, entre otras; si se quería garantizar menores costos de generación de la energía. Entre los análisis realizados se encuentra el presentado en la figura 1, de la participación de distintas tecnología en función a los costos de la energía generada y la disponibilidad de recursos energéticos.

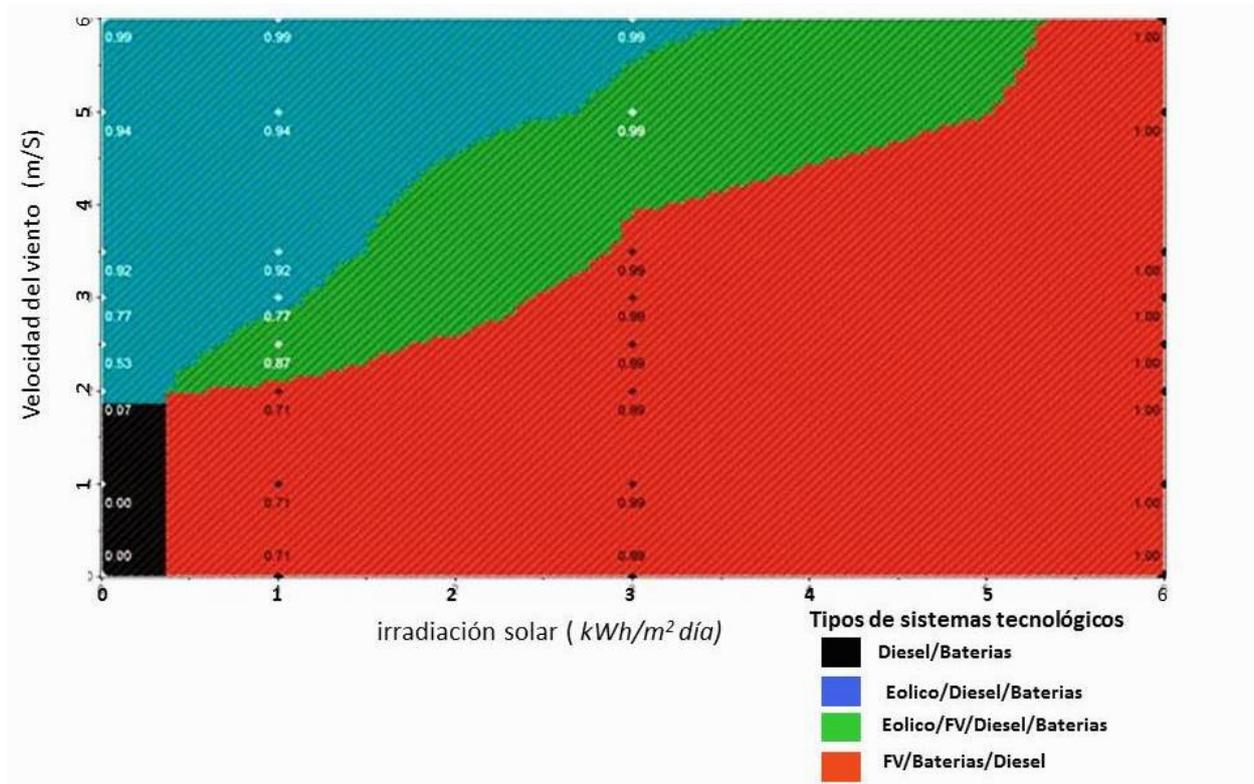


Fig. 1. Análisis de sensibilidad del porcentaje de uso de fuentes renovables de energía respecto a los recursos energéticos disponibles.

En la figura 1, se representan diferentes opciones tecnológicas, utilizando en cada caso un color representativo, que son:

- Sistema con generación diesel exclusiva (negro), solo con fines de comparación
- Fotovoltaica – diesel – baterías (rojo)
- Eólico – diesel – batería (azul)
- Fotovoltaico – eólico – diesel – batería (verde)

En el eje horizontal se han colocado posibles valores de la irradiación solar global, desde 0 hasta 6 kWh/m² día y en el eje vertical, valores de la velocidad promedio mensual del viento, desde 0 hasta 6 m/s, como caracterización de las potencialidades energéticas de cada región o zona valorada. Los puntos intermedios que se presentan en la figura 1, corresponden a la estimación realizada por el programa HOMER [11], de la porción de fuente renovable que puede emplearse bajo una condiciones de irradiación solar y velocidad de viento, por lo que para alcanzar la satisfacción energética solo ameritaría un complemento de generación diesel, por lo que a partir de este análisis se presentan opciones de sistema energético, que conteniendo motores de generación diesel (como respaldo) logran emplear como principales generadores las fuentes renovables de energía.

Seguidamente se seleccionaron los dimensionamientos de los sistemas híbridos propuestos y de generación diesel (exclusiva), este último solo para utilizarlo para comparaciones. Un ejemplo de la configuración propuesta se ilustra en la figura 2.

Los dimensionamientos propuestos están conformados por los siguientes componentes y potencias de los mismos, descritas en la tabla 1, los cuales fueron realizados para unas condiciones de diseño (5 kWh/m²día, 4 m/s y un valor de generación diesel cercano o menor al 10%), para garantizar el predominio del aporte de las fuentes renovables y por ende un bajo nivel de impacto ambiental.

Para la nomenclatura de los sistemas híbridos propuestos, se utiliza, un conjunto de abreviaturas que permiten identificar la potencia nominal del sistema diesel de respaldo, por ejemplo para el SH 15 EFD, debe entenderse SH: como Sistema Híbrido; 15 de Potencia en kW del generador diesel; EFD de Eólico Fotovoltaico Diesel. Para los otros de la tabla 1, se usa: FVD para Foto Voltaico Diesel y GD de Generador Diesel exclusiva.

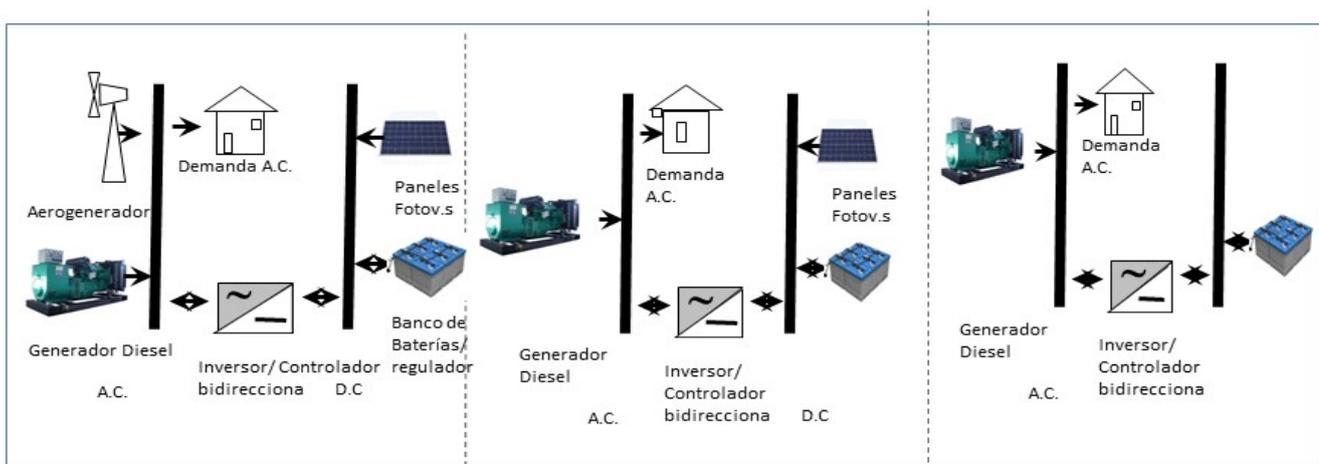


Fig. 2. Sistemas híbridos de generación de energía eléctrica propuestos.

Tabla 1. Dimensionamientos de los sistemas híbridos seleccionados.

Sistemas híbridos	FV (kWp)	Eo (kW)	Baterías (kWh)	Generador diesel (kW)	Inversor	Cantidad baterías
SH 10 EFD	6,5	3	115,2	10	2	72
SH 15 EFD	13,2	6	230,4	15	3	144
SH 35 EFD	26	12	460,8	35	8	288
SH 10 FVD	11,5	0	115,2	10	2	72
SH 20 FVD	23,2	0	230,4	20	4	144
SH 35 FVD	46	0	460,8	35	8	288
SH 20 GD	0	0	0	20	20	144
SH 35 GD	0	0	0	35	35	216

Fuente: Elaboración propia a partir de simulaciones para las condiciones del estudio

La capacidad para la generación eléctrica de cada sistema tecnológico, está condicionada por la integración de sus componentes tecnológicos y los recursos energéticos disponibles en cada localidad, pero en conjunto la valoración de estos ocho sistemas en simultáneo permite satisfacer un amplio conjunto de comunidades con demandas de energías en un rango de 20 kWh/día hasta 320 kWh/día.

Las características del consumo energético considerado, fue determinada a través del análisis de la información proveniente de estudios realizados en comunidades rurales de varios países, determinándose como representativo el empleo de un rango de consumo energético por vivienda entre 2 y 4 kWh/día, dado el conjunto heterogéneo de comunidades y regiones en las cuales se tiene prevista la instalación de sistemas de electrificación rural en ALC [4].

Debido a que cada tecnología presenta diferencias en cuanto a su eficiencia, fue necesario seleccionar un conjunto específico de ellas, ya valoradas para las condiciones de recursos energéticos antes descritos en ALC [6], se presentan la descripción y los costos de los componentes, los costos de operación y mantenimiento y la vida útil de las tecnologías, en la tabla 2. Donde en todos los casos la unidad monetaria es el dólar estadounidenses (\$), se asume una tasa de descuento del 10% y un costo de combustible diesel a razón de 1,10 \$/L (precio promedio del mercado en ALC, marzo 2014) [2].

Descripción de tecnologías		Costo de adquisición	Costo de mantenimiento	Vida útil (año)
Módulo fotovoltaico	Monocristalino 24 volt y 13 % de eficiencia	1,31 \$/W	10 \$/kW	25
Aerogenerador	3 kW de 24 volt en CA con regulador	8028 \$	33 \$/kW	15
Controlador/ inversor	Inversor SMA 5 kW, 48V, 100A con acoplamiento AC y DC	3645 \$	100 \$ por año	5
Baterías	De plomo acido, tubulares de 2V, 1000 Ah	501 \$	2 \$/batería	20
Generador diesel	Potencia 10 kW, 15 kW, 20 kW y 25 kW.	6782 \$ (10 kW), 7834\$, 8976 \$ y 10438\$ respectivamente	2 \$/h de operación	15 000 hrs

Fuente: elaboración propia a partir de datos y precios consultados en páginas internet para las características de los equipos señalados¹.

Dada las limitaciones encontradas en los programas existentes para la valoración de los sistemas energéticos (tal es el caso del programa HOMER), en el cual no es posible comparar simultáneamente variables técnicas, económicas, sociales y ambientales, además de ameritar de un grupo de datos relevantes para cada tecnología a valorar; por lo que se consideró necesario y de utilidad, el diseño de un modelo matemático sencillo que abarque los rangos característicos de necesidades y recursos energéticos de las comunidades de ALC y cuyo procedimiento para la valoración de cada comunidad mostrase el comportamiento de diferentes tecnologías ante los escenarios de disponibilidad de recursos y demandas locales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inicialmente se determinó el conjunto de variables relevantes a ser valoradas (mediante un modelo matemático), determinándose una matriz de criterio o de variables, la cual está constituida por indicadores económicos, técnicos, sociales y ambientales, seleccionada para caracterizar el comportamiento de cada sistema ante los distintos escenarios presentes en cada comunidad, tal como se muestra en la tabla 3.

Criterio	Indicador	Aspecto que abarca
Técnico	Distancia Crítica a la Red (DCR)	Distancia medida en kilómetros (<i>km</i>) en la que se igualan los costos de la opción con la de los costos de extensión de red convencional.
Económico	Costo Equivalente de la Energía COE. Costos de Operación y Mantenimiento COyM Valor Presente Neto (VPN)	COE: permite cuantificar el costo promedio en producir 1 <i>kWh</i> de energía eléctrica con un sistema. COyM: costo anualizado de operación y mantenimiento. VPN: representa el desembolso total, presente y neto que se hará por cada tecnología
Ambiental	Porcentaje de aporte diesel requerido (% AD)	Permite medir el grado de utilización de fuentes convencionales de generación diesel, dentro del total de la energía generada para suplir el consumo eléctrico de la comunidad
Social	Nivel de complejidad de operación del sistema Facilidad de gestión	Variables cualitativas que reflejan la probabilidad de ocurrencia de eventos, que pueden ocasionar afectaciones a las personas y al entorno

El modelo para la valoración integral de tecnologías, se conformó a partir de las simulaciones realizadas con el programa HOMER, para distintos escenarios de combinación de recursos energéticos y de consumos de energía establecidas, empleando el método de regresión múltiple, lográndose obtener un conjunto de 38 ecuaciones representativas de comportamiento de cada variable cuantitativa.

Las ecuaciones obtenidas como por ejemplo, *las del aporte de generación diesel requerido*, permiten estimar el comportamiento de esta variable para cada sistema energético. En el caso de los sistemas híbridos eólicos fotovoltaicos diesel, pueden ser representadas por una ecuación que adopta la siguiente forma general, donde la variable dependiente (aporte de generación diesel) es condicionada por las variables independientes, como se muestra a continuación en la ecuación (1):

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2 + b_6x_3^2 + b_7x_1x_2 + b_8x_2x_3 + b_9x_1x_3 \quad (1)$$

Dónde:

y → variable dependiente.

b_0 → hasta b_9 son los coeficientes de las variables independientes.

x_1 → valores que puede adoptar la variable independiente irradiación solar.

x_2 → valores que puede adoptar la variable independiente velocidad del viento.

x_3 → valores que puede adoptar la variable independiente consumo energético diario.

Pudiéndose a partir de estas ecuaciones generales obtenerse una gráfica del comportamiento esperado de cada sistema, para cada criterio o variable de valoración, para distintos escenarios de disponibilidad de recursos energético, por ejemplo el caso de la ecuación aporte diesel para el sistema SH 15 EFD, la cual quedó definida como se presenta a continuación en la figura 3:

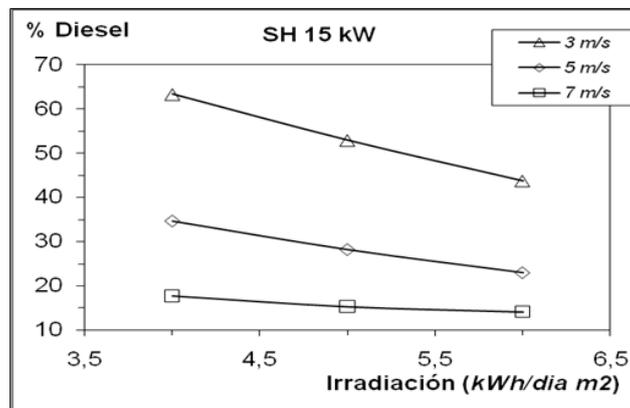


Fig. 3. Comportamiento del sistema SH 15 EFD para la variable % de aporte diesel.

La figura 3, ilustra gráficamente la relación de estas variables, como se muestra para la familia de tres curvas que se reflejan para diferentes valores del viento mostrados en la leyenda, en este caso por ejemplo se considera constante el consumo de 130 kWh/día para la comunidad.

Para las variables cualitativas de la matriz de criterios seleccionada (nivel de complejidad operativa del sistema y facilidades de gestión), se obtuvo una categorización de cada tecnología, a partir de la aplicación del instrumento de encuesta a expertos, donde la ponderación de las opiniones de más de 20 especialistas estos sistemas, quedando definida la valoración para cada sistema energético.

El modelo elaborado quedó integrado por el conjunto de siete variables, que logra comparar en un mismo procedimiento ocho opciones de sistemas energéticos, sin requerir procesos de iteración, con un número limitado de

datos (irradiación promedio, la velocidad del viento y el consumo), lo que garantiza que a través de un procedimiento sencillo, es posible la obtención de una matriz de resultados de la valoración integral del comportamiento esperado de los sistemas tecnológicos propuestos, tal como se presenta en la figura 4.

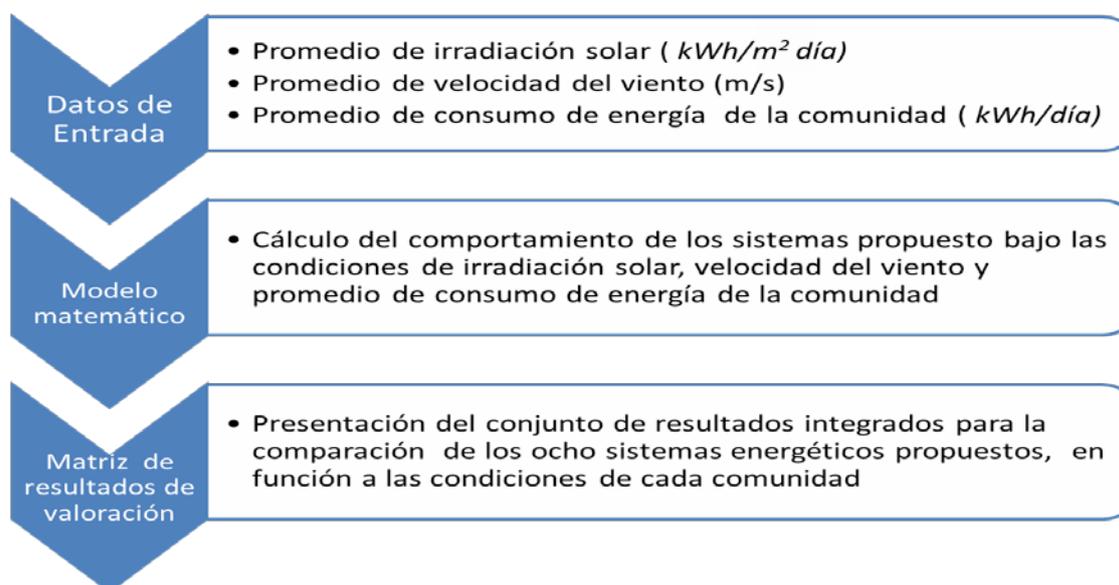


Fig. 4. Procedimiento para la aplicación del modelo de valoración propuesto.

El resultado a obtenerse después de la aplicación del modelo propuesto de valoración integral de tecnologías, es una matriz de ecuaciones que puede ser aplicada mediante un programa de computación sencillo, con una calculadora programable, o una hoja de cálculo, así como también integrado a un sistemas de información geográfica (que actualmente es posible gracias al portales gratuitos que ofrecen los datos requeridos por el modelo, tal es el caso de GEOSUR [11]).

A los efectos de valorar el procedimiento y la utilidad del modelo propuesto, se procedió a la aplicación del modelo a un caso de estudio en la comunidad de la Guajira venezolana denominada San José de la Sierra, en la cual se estima un consumo promedio de 40 kWh/día, un valor promedio de irradiación solar de 6 kWh/m²día y una velocidad promedio de viento de 4 m/s. Al aplicar el modelo de valoración integral se generan los siguientes resultados presentados en la tabla 4.

Tabla 4. Valoración integral de sistemas energéticos para San José de la Sierra.							
Sistemas	Aporte diesel (%)	COE (\$/kWh)	VPN (\$)	DCR (km)	CO y M (\$)	Riesgo de instalación (Nivel)	Facilidad de gestión (Nivel)
SH 10EFD	10	0,71	119541	10,5	4617	Alto	Medianamente compleja
SH 15 FD	0	1,16	194302	18,1	5760	Alto	Medianamente compleja
SH 35 FD	0	2,10	351536	34	8311	Alto	Medianamente compleja
SH 10 VD	9	0,84	141049	12,6	6619	Medio	Sencilla
SH 20 VD	0	1,01	168966	15,5	3798	Medio	Sencilla
SH 35 VD	0	1,81	302464	29,1	4615	Medio	Sencilla
SH 20 DB	100	1,87	313738	25,1	19285	Muy Alto	Compleja
SH 35 DB	100	1,71	287131	22,8	11945	Muy Alto	Compleja

El resultado generado por el modelo de valoración integral permite determinar que para la comunidad de San José de la Sierra, el comportamiento de los sistemas híbridos SH 10 EFD y SH 10 FVD, presentan la menor proporción de empleo de aporte de diesel (inferior al 10 %) presentando además menores costos de energía, de VPM, de CO y M, y mediano riesgo de manejo; por lo que se presenta un conjunto suficiente de variables para efectuar una valoración integral a los ocho sistemas propuestos.

Como puede observarse en los sistemas SH 20 GDB y SH 35 GDB, de generación exclusiva mediante diesel son los menos competitivos en cuanto a costos, contaminación, entre otras variables; en comparación con el resto de los seis sistemas híbridos propuestos.

La aplicación de este modelo en conjunto con un sistema de información geográfica (SIG), permitió evaluar un conjunto de comunidades cercanas a San José de la Sierra, obteniendo un mayor aprovechamiento del modelo propuesto dada la información que pueden presentar los SIG, tales como: caracterización de irradiación solar, viento, estimación de consumo energético por comunidad, extensiones de redes eléctrica actuales, entre otros datos de interés; tal como se ilustra en la figura 5.

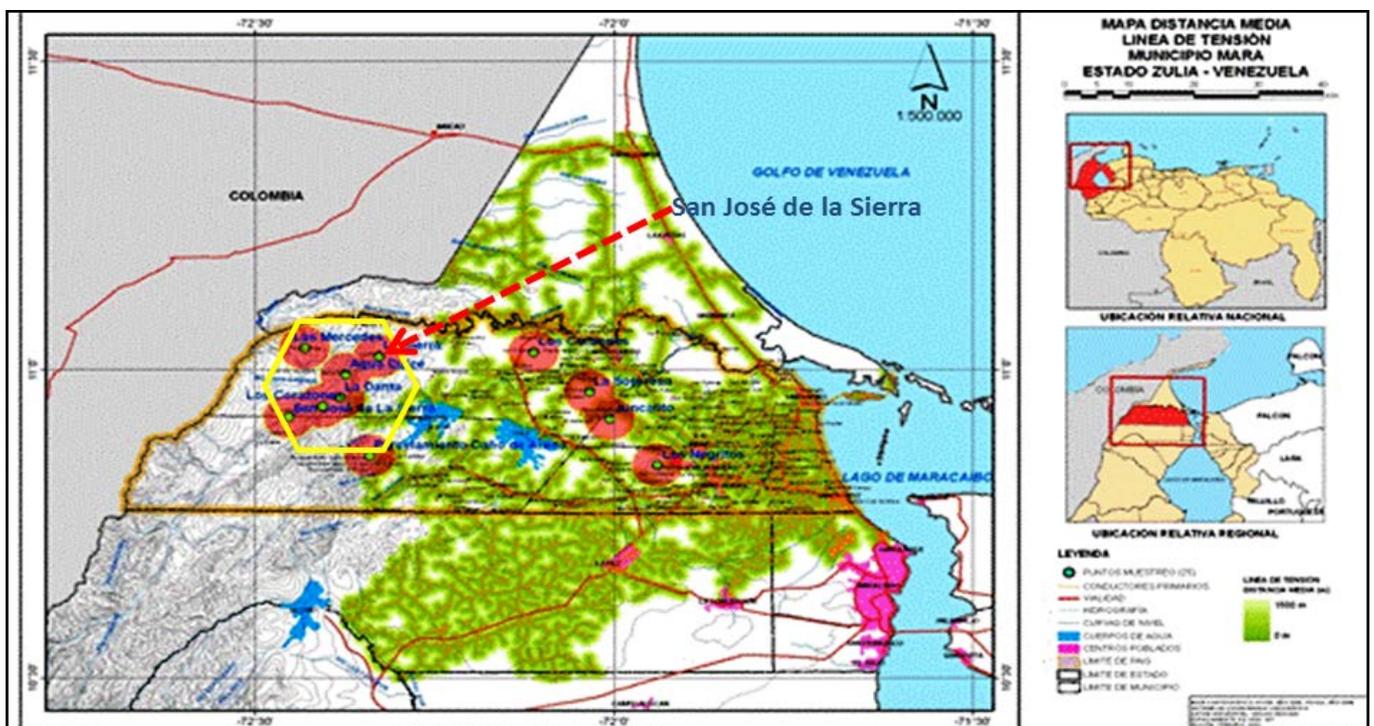


Fig. 5. SIG de las comunidades cercanas a San José de la Sierra (Mara, Venezuela).

En la figura 5, las comunidades no electrificadas son representadas con unas circunferencias rosadas, se procedió a partir de los datos generados por el SIG, a la aplicación de la valoración integral de los sistemas híbridos propuestos, determinándose que en todos los casos la tecnología más adecuada para su empleo en este conjunto de comunidades es el SH 10 EFD, lográndose un análisis simultáneo de varias comunidades empleando el modelo de valoración integral y el SIG. Por lo que se demuestra que es factible mediante estas herramientas de forma conjunta disminuir el tiempo para la valoración de opciones de electrificación rural de ALC.

CONCLUSIONES

- Se determinó una matriz de criterios de valoración que puede ofrecer una visión amplia a los agentes decisores, sobre las implicaciones de la selección de cada tecnología, empleando las variables: porcentaje

de aporte diesel; costos de la energía equivalente; valor presente neto; distancia crítica a la red; costo de operación y mantenimiento; riesgos de la instalación y facilidad de gestión del sistema.

- Se formuló un modelo matemático y su procedimiento de aplicación, que hace posible estimar el comportamiento de los sistemas híbridos mediante una valoración integral de aspectos relevantes en la selección de las tecnologías de electrificación rural, que pueden ser aplicados a comunidades o conjunto de ellas (regiones), mediante su integración a SIG logrando una amplia cobertura de evaluación.
- La aplicación del modelo de valoración integral en una comunidad típica (San José de la Sierra), permitió estimar el comportamiento de los 8 sistemas energéticos propuestos, valorando notables diferencial en los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales, demostrándose la utilidad del modelo para el apoyo en la tarea de los agentes decisores para la selección de proyectos de electrificación rural.

REFERENCIAS

- [1]. RUIZ, A., "Tendencias recientes del mercado internacional del petróleo". 2003, p. 37-45, Chile: CEPAL, [Consultado: 20 de abril de 2014], Disponible en: <http://www.cepal.org/es/publicaciones/6432-tendencias-recientes-del-mercado-internacional-del-petroleo>, ISBN: 92-1-322300-5.
- [2]. CAPELLÁN-PÉREZ, I.; et al., "Fossil Fuel Depletion and Socio-Economic Scenarios: An Integrated Approach". Energy, 2014, vol.77, p. 641-666, Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214011219>, ISSN 0360-5442.
- [3]. SALAET FERNÁNDEZ, S.; ROCA JUSMET, S., "Agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de CO₂: Algunos posibles escenarios futuros de emisiones". Revista Galega de Economía, 2010, vol.19, n.1, España: Universidad de Santiago de Compostela, [Consultado: 3 de febrero de 2015], Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39113124001>, ISSN 1132-2799,
- [4]. DE MARTINO JANNUZZ, G.; et al., "Energías renovables para la generación de electricidad en América Latina: mercados, tecnologías y perspectivas". Chile: International Copper Association, 2010, p. 78-191, [Consultado: 3 de febrero de 2015], Disponible en: <http://www.iei-la.org/admin/uploads/generacion-de-electricidad.pdf>.
- [5]. RODRÍGUEZ, C.; SARMIENTO, A., "Dimensionado mediante simulación de sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a la electrificación rural". Revista Ingeniería Mecánica, 2011, vol.14. n.1, p. 13-21, Cuba, [Consultado: 15 de Abril de 2014], Disponible en: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/viewFile/3/319>, ISSN: 1815-5944.
- [6]. QUIJANO, R., et al., "MODERGIS application: Integrated simulation platform to promote and develop renewable sustainable energy plans, Colombian case study". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012, vol.16, n.7, p. 5176-5187, [Consultado: 3 de febrero de 2014], Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112003346>, ISSN 1364-0321.
- [7]. DOLEZAL, A., "La ruta hacia el futuro para la energía renovable en Centroamérica: Evaluación de la situación actual, Mejores Prácticas, Análisis de brechas". 2013, Washington: World Watch Institute, p. 12-14, [Consultado: 3 de Febrero de 2015], Disponible en: http://www.worldwatch.org/system/files/CA_report_highres_spanish_2013_0.pdf.
- [8]. RODRÍGUEZ BORGES, C., "Valoración integral de sistemas híbridos para la electrificación rural". [Tesis Doctoral], Múnich: Editorial GRIN GmbH, 2011, 105p., [Consultado: 8 de Marzo de 2015], Disponible en: <http://www.grin.com/es/e-book/293543/valoracion-integral-de-sistemas-hibridos-para-la-electrificacion-rural>, ISBN: 978-3-656-91520-1.
- [9]. CAVALLARO, F.A.; CIRAULO, L., "A multicriteria approach to evaluate wind energy plants on an Italian island". Energy Policy, 2005, vol.33, n.2, p. 235-244, Elsevier, [Consultado: 3 de febrero de 2014], Disponible en: http://aoatools.aula.gr/pilotec/files/bibliography/wind_MCA-4150370561/wind_MCA.pdf, ISSN 0301-4215.
- [10]. KRUGER, P., "Alternative Energy Resources: The Quest for Sustainable Energy". Wiley, p. 270-276, 2007, [Consultado: 8 de Marzo de 2015], Disponible en: <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0471772089.html>, ISBN: 978-0-471-77208-8.
- [11]. RODRÍGUEZ GAMEZ, M. "La ordenación y la planificación de las fuentes renovables de energía en la Isla de Cuba desde una perspectiva territorial. Estudio de caso en el municipio de Guamá a partir de un Geoportal". Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 2011, n.57, p. 523-526, [Consultado: 3 de Febrero de 2015], Disponible en: <http://www.boletinage.com/articulos/57/57TESIS.pdf>, ISSN 0212-9426.

AUTORES

Ciaddy Gina Rodríguez Borges

Ingeniera Industrial. Doctora en Ciencias Técnicas. Jefe de Supervisión energética COL. Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC). Venezuela.

e-mail: ciaddyrodriguez@yahoo.es

Antonio Sarmiento Sera

Ingeniero Electricista. Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular del Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER). Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae) Cuba.

e-mail: sarmiento@ceter.cujae.edu.cu

María Rodríguez Gámez

Lic. Educación, Especialidad: Física y Astronomía. Dra. Estrategias y Planificación del territorio en Fuentes Renovables de Energía. Profesor e Investigador Titular del Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas – CIPEL. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae). Cuba.

e-mail: taliangel270557@gmail.com