

Sistemas de información geográfica y microrredes

W. Manuel Saltos Arauz

correo electrónico: wsaltos@utm.edu.ec

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Artículo Original

María Rodríguez Gámez

correo electrónico: mariarodriguez@utm.edu.ec

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Antonio Vázquez Pérez

correo electrónico: antonio5506@gmail.com

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Miguel Castro Fernández

correo electrónico: mcastro@electrica.cujae.edu.cu

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

V. Hernán Nieto Castro

correo electrónico: vnieto@utm.edu.ec

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Resumen

Actualmente, el Ecuador apuesta por el cambio de matriz energética. Los centros académicos deben trazar una estrategia que les permita a corto y mediano plazo formar especialistas que den respuesta técnica a esa propuesta. Para ello se deben crear las condiciones en las universidades, con el fin de que las futuras generaciones sean capaces de vincular los procesos de inversión en energía con el espacio territorial. La Universidad Técnica de Manabí (UTM), se ha propuesto un proyecto de investigación financiado por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo del Ecuador (SEMPADES), enfocado a impulsar soluciones energéticas sostenibles, que se sustenten en la filosofía técnica de las microrredes con el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía (FRE). En el trabajo se muestra la información espacial relacionada con el potencial solar de la provincia de Manabí, del Ecuador, gestionada mediante un sistema de información geográfico (SIG), como herramienta integradora que brinda información de los objetivos que interaccionan con las microrredes, además, se expone la importancia de su uso como herramienta gestora de proyectos vinculados con el aprovechamiento de las FRE y la instrumentación enfocadas a garantizar soluciones novedosas que apoyen al cambio de matriz energética desde una visión territorial.

Palabras claves: sig, fre, microrredes, generación distribuida, desarrollo energético sostenible, territorio

Recibido: 22 de noviembre del 2016 Aprobado: 9 de enero del 2017

INTRODUCCIÓN

Las crisis del petróleo y la contaminación provocada durante la generación de energía con base en la utilización de los combustibles fósiles, así como para la transmisión, distribución y suministro del servicio eléctrico, ha propiciado que el desarrollo energético actual se enfoque al uso de tecnologías limpias. Esa iniciativa ha impulsado la introducción de tecnologías que disminuyen el consumo de petróleo en la generación, reduciendo los gastos económicos por conceptos de producción de electricidad y reducción de impactos ambientales.

Asimismo, la introducción de tecnologías limpias se ha venido incrementando a partir del concepto de que las FRE se encuentran distribuidas en el espacio territorial, o sea, que se pueden aprovechar de forma descentralizada y con ello generar la electricidad próxima a los centros de consumo, disminuyendo las pérdidas por transmisión y distribución y los gastos por concepto de inversión tecnológica, ya que en este esquema de generación resultan menos necesarios los transformadores y la construcción de nuevas líneas eléctricas.

Lo antes analizado permite definir que el tema se convierte en una tarea no solo para los ingenieros, sino que

constituye un problema de carácter transdisciplinario, donde intervienen diferentes ciencias, por ejemplo: la necesidad de los estudios de los potenciales renovables (solar, viento, biomasa, hidráulico, geotérmico, mareomotriz entre otros), requieren el auxilio de las ciencias geográficas, el ordenamiento territorial, la meteorología, la física, la astronomía y otras ciencias que a tales efectos deben vincularse con la ingeniería eléctrica. Cada tipo de potencial en la mayoría de los casos es estudiado por personas con perfiles diferentes, donde las técnicas de trabajo de grupo de proyecto, pueden jugar un rol determinante.

La introducción de las tecnologías renovables en cualquiera de los modos y formas que se aplique, requiere la realización de estudios espaciales para conocer entre otras exigencias: la disponibilidad y calidad de potenciales energéticos; disponibilidad del espacio territorial para acometer las inversiones; los riesgos ambientales; riesgos de desastres naturales; intereses previstos en las perspectivas del desarrollo futuro de los territorios; entre otros. En este caso, las tecnologías vinculadas a los sistemas de información geográfica (SIG), resultan herramientas muy importantes para viabilizar y transparentar los análisis que sean necesarios realizar.

Como antecedentes se puede plantear que resulta toda una curiosidad el hecho, de que los países que ocupan la puntera en la implantación de las tecnologías que aprovechan la energía solar para generar electricidad, correspondan a naciones que por su ubicación geográfica reciban un menor nivel de radiación solar que el Ecuador. Ejemplo de ello se pueden citar algunos países que durante el año 2014 continuaron impulsando las iniciativas fotovoltaicas, como son los casos de Alemania que instaló 3, 300 MWp, Italia con 1,400 MWp y Gran Bretaña con 1 000 MWp [1].

La mayor parte de las inversiones fotovoltaicas realizadas en el año 2014, se han basado en los conceptos de la generación próxima a los consumidores, donde se puede experimentar una disminución de las pérdidas por transmisión y distribución, reducción de los impactos ambientales no solo por emisiones, sino también por el uso del suelo, así como por el reajuste en la utilización de tecnologías.

En la actualidad, Alemania figura como uno de los líderes mundiales en potencia fotovoltaica instalada y se destaca el hecho de que desglosando los datos en energía solar y energía eólica instalada, el 50 % de la energía solar es propiedad de individuos y granjas que figuran como productores independientes, mientras que el 54 % de la energía eólica está en manos de los mismos grupos. El efecto de esta política se puede notar cuando se analiza que en Alemania existen aproximadamente 17 GW de energía solar fotovoltaica instalada, frente a unos 3,6 GW en los EE.UU. que figura como otro de los países líderes y donde predominan las instalaciones centralizadas [2].

En el modelo alemán sobresale la descentralización en la generación, mayor relocalización y regionalización de la actividad económica, un cambio democrático en el control de los recursos y una ruptura en la forma en que la electricidad se ha generado durante el último siglo, donde el mundo se hace más pequeño mientras más conectado y

maneja y por lo tanto de alguna manera más grande al mismo tiempo.

La enorme ventaja del prototipo Teutón, es que esta clase de iniciativa alienta la inversión privada desde las empresas hasta las viviendas individuales utilizando sus propiedades y poniendo en juego sus recursos propios, convirtiéndose en generadores de su propia energía y contribuyendo con su aporte al consumo social.

Los llamados SIG en español o GIS en inglés, constituyen un conjunto de herramientas que integran y relacionan diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos, etc.), que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real y que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales, culturales, económicos y ambientales que pueden conducir a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

En algunos casos para realizar las inversiones, se suelen utilizar grandes espacios de terreno que se inhabilitan para otros usos y la utilización de los SIG puede facilitar una evaluación más profunda y multilateral sobre el uso del suelo, en función de economizar y optimizar la utilización del espacio. Este resulta un elemento clave para las evaluaciones relativas a la introducción de la tecnología fotovoltaica, pues los módulos fotovoltaicos pueden instalarse indistintamente a nivel del suelo o en las superficies y techos de edificaciones y casas.

En la actualidad los SIG ya se utilizan en el área energética para diferentes usos, por ejemplo, en estudios de ordenación territorial de potenciales renovables en la Isla de Cuba [3], donde se realizó un estudio de los potenciales renovables y se determinaron las áreas con condiciones para realizar inversiones en sistemas conectados a red, determinando la eficiencia en el uso de las líneas eléctricas para cada tipo de energía, este estudio permitió hacer un análisis para los sistemas aislados con microrredes en energía solar, eólica, biomasa e hídrica.

Otro de los estudios realizados con la ayuda de los SIG como herramienta de análisis, se encuentra vinculado con la planificación integrada de electrificación [4], donde se ha llevado a cabo un análisis de sensibilidad alternativo, en los que se ha estudiado la influencia de cinco parámetros del costo de la generación de la energía de cada tecnología para todo el territorio: por ejemplo en la generación eólica, la tarifa eléctrica, el precio del diésel, la potencia contratada y la demanda energética por vivienda (ligados estos dos últimos).

A medida que se han ido estudiando de manera integrada los potenciales renovables existentes en algunos territorios, se ha podido estudiar la factibilidad de su introducción lo más próximo posible a los centros de consumo, de forma tal que en el mismo lugar se pueden aprovechar más de una de ellas independientemente o haciendo sistemas híbridos hasta lograr satisfacer la demanda, con un resultado adecuadamente económico y sostenible ambientalmente.

Una de las particularidades que ofrecen los SIG, es que sus bases de datos se encuentran georreferenciadas,

permitiendo hacer análisis en tiempo real de lo que ocurre físicamente en los sistemas, incluyendo la situación de la generación y del consumo de la energía. Esto permite a los usuarios hacer consultas rápidas y eficaces en cuanto a la confiabilidad de la información.

El objetivo del trabajo consiste en demostrar las relaciones que existen entre las microrredes y los SIG, donde se pone de manifiesto la utilidad de estas herramientas para la articulación de los sistemas basados en las FRE mediante el modo de la generación distribuida, incorporando los productores independientes de energía, dígame los individuos o granjas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la información cartográfica se utilizó la escala regional 1:250.000, versión de enero 2013. Capas de Información Geográfica básica del IGM de libre acceso (Codificación UTF-8). Estas capas han servido de ayuda en el transcurso de los análisis referentes a las áreas que están próximas a las poblaciones y que presentan un potencial renovable que puede ser aprovechado [5].

Se utilizó además información de las bases de datos publicadas en la página web de la NASA [6] y se revisó información de trabajos que han utilizado las bases de datos publicadas en este sitio, para hacer estudios de los potenciales de las fuentes renovables, siempre teniendo en cuenta que los datos satelitales pueden resultar poco confiables, si no se integran los análisis de los parámetros climatológicos de los sitios donde se realiza el estudio. En este análisis no se trabaja con datos medidos en tierra, solo con la información satelital, que permite adquirir una visión bien aproximada sobre la interpretación energética de las mediciones de la radiación solar y el viento, propiciando la realización de los cálculos y el estudio para la ejecución de las inversiones en microrredes aisladas y conectada a la red.

RESULTADOS

A partir de la información seleccionada se utilizó la radiación incidente en una superficie horizontal del Ecuador, pudiendo definir que la radiación solar global no tiene diferencias con la del plano inclinado, dada la ubicación latitudinal geográfica del territorio estudiado, pero por razones de facilitar la limpieza por la lluvia se asignó un valor de 10° de inclinación. Se tomaron valores promedio en un periodo de 22 años (julio 1983 - junio 2005). Cada valor mensualmente promediado es evaluado como el promedio de los valores obtenidos cada tres horas y promediando un valor diario y llevado al promedio mensual.

Con esos valores se obtuvo en mapa del potencial solar promedio anual para la provincia de Manabí en kWh/m²/día, que se muestra en la figura 1, donde se puede observar que el comportamiento territorial no es uniforme y varía en todo el espacio geográfico de la provincia, por lo que resulta oportuno determinar, hasta qué medidas las áreas de mayor radiación se encuentran en los centros urbanos de mayor concentración del consumo de electricidad, principalmente durante las horas del día,

cuando la radiación solar se encuentra disponible. Los resultados del análisis pueden aportar la certeza, de hasta dónde resulta factible introducir la tecnología fotovoltaica, fundamentalmente los sistemas conectados a la red y qué energía de la red puede ahorrarse mediante el aporte de la generación fotovoltaica.

Con el fin de apoyar el cambio de matriz energética que hoy se ha trazado como política el Ecuador, esta información constituye una reserva potencial de análisis para facilitar la materialización de la voluntad diversificadora de la base energética nacional, incorporando otras fuentes de generación como es la solar.

Durante el manejo de la información con el SIG se pudo comprobar, que la provincia de Manabí en todo su territorio, posee un potencial solar que puede ser aprovechado para la generación de electricidad, tanto en sistemas conectados a la red, como en sistemas autónomos para la electrificación rural, el bombeo de agua y la iluminación fotovoltaica. La radiación solar promedio anual más intensa se concentra en la parte centro, el sur y el noroeste de la provincia, con valores entre 4,7 kWh/m² día y 5,2 kWh/m² día.

La interpretación energética del potencial solar de la provincia de Manabí permite definir, que el aprovechamiento de la radiación solar mediante la aplicación de la tecnología fotovoltaica en el modo de las microrredes, puede representar una productividad específica promedio anual entre 1,11 MWh y 1,44 MWh. Los cálculos para obtener la productividad específica fueron realizados mediante la ecuación 1.

$$PE = PS \cdot Ac \cdot \eta_c \cdot \eta_s \cdot dAs \quad (1)$$

donde:

PE: Productividad específica (kWh/kWp).

PS: Potencial solar promedio anual (kWh/m² día).

Ac: Área de captación de la radiación solar por parte de los módulos FV (6,4m²/kWp).

η_c : Eficiencia de captación de las células de la energía primaria del Sol = (14 %).

η_s : Eficiencia de trabajo promedio del sistema fotovoltaico en el ciclo de vida = (85 %).

dAs: Días del año solar = (362 días).

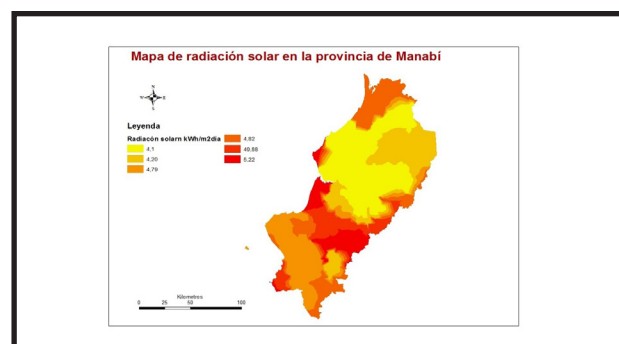


Fig. 1. Mapa de radiación solar promedio anual en la provincia de Manabí.

Los resultados mostrados anteriormente permiten definir, que las condiciones del potencial solar en toda la provincia, propicia la introducción de las tecnologías fotovoltaicas en el modo de la generación distribuida, aprovechando el formato técnico de las microrredes.

Al propio tiempo se puede plantear, que si se considera la posición terminal de la provincia de Manabí dentro del sistema radial de potencia del país, las pérdidas energéticas por transmisión, distribución y suministro de energía pueden ser superiores al 30 %, entonces se puede estimar que por cada kilowatt hora consumido en la provincia, se generan por lo menos 1,3 kWh, lo que permite afirmar que por cada MWp de fotovoltaica instalado en el modo de las microrredes, se pudiera evitar anualmente el consumo de la red entre 1,44 GWh en las zonas donde incide el potencial solar más bajo y 1,87 GWh en los sitios donde incide la radiación solar más elevada. Esto es igual aproximadamente al ahorro de 164 a 213 kW de potencia instalado en energía térmica.

Definiendo un índice de consumo promedio de combustible para la generación térmica, equivalente a 0,25 ton/MWh, se puede calcular el volumen aproximado del petróleo evitado anualmente por la generación fotovoltaica de 1 MWp instalado en el modo de las microrredes, que pudiera encontrarse entre las 359 t y 468 t. Además, si se considera un índice de emisiones de CO₂ promedio de 0,9 t/MWh generado con térmica, se pudiera estimar que las emisiones a la atmósfera pueden reducirse entre 1 293 t y 1683 t de CO₂.

Los resultados de las mediciones del potencial solar promedio anual (PS), presenta 7 valores, a los que corresponde una productividad específica (PE) por cada uno. En la tabla 1 se muestran los resultados de las simulaciones basadas en el supuesto de lograr introducir en las condiciones de la provincia de Manabí, 1 MWp de tecnología fotovoltaica (FV) en el modo de las microrredes. Se exponen las estimaciones de: energía fotovoltaica que puede generarse (EFvg); total de energía de la red evitada, que incluye el 30 % estimado de pérdidas en la provincia de Manabí (Ere); petróleo evitado (Pe); y las emisiones de CO₂ que se pueden reducir (CO_{2r}).

Siguiendo una metodología similar, se pudiera realizar la representación espacial y la determinación de los cálculos energéticos y ambientales para el resto de las fuentes renovables de energía.

Partiendo de la metodología y la elaboración de los cálculos, se puede elaborar e introducir el sistema de algoritmos que formará parte del SIG. De esta manera con solo hacer un clic encima del punto que se desea estudiar, se podrá obtener la información que se desea.

La provincia de Manabí es una de las que mayor área de costa tiene en el país, con numerosas poblaciones distribuidas a todo lo largo del litoral, además de instalaciones turísticas, donde podría incrementarse la auto-generación como un aporte diversificador de las fuentes renovables, entre las que se destacan la solar fotovoltaica y la eólica, dado el potencial de estas en esas zonas.

Entre las tipologías de viviendas construidas en el litoral abundan las de bajo costo y donde ya el tendido eléctrico comienza a impactar. Los SIG permiten gestionar el territorio de forma que se puedan vincular diferentes factores para ser atractiva la región, aprovechar el Sol, disfrutar la playa y también para generar energía. En la figura 2 se muestra a la izquierda, una foto de la playa Crucita y de San Jacinto a la derecha, ambas en zonas turísticas y habitadas. En la imagen ampliada que se muestra en la parte inferior, se puede observar la influencia de la línea eléctrica, como un elemento de intrusión visual en el espacio.



Fig. 2. Playa Crucita y San Jacinto, costa Manabita.

Tabla 1

Resultados de las simulaciones con una potencia FV instalada de 1 MWp en el modo de las microrredes, en la provincia de Manabí

PS (kWh/m ² día)	PE (kWh/kWp año)	EFvg (MWh)	Ere (MWh)	Pe (ton)	CO _{2r} (ton)
4,000	1103	1,1	1,4	358	1 290
4,100	1130	1,1	1,5	367	1 323
4,200	1158	1,2	1,5	376	1 355
4,700	1296	1,3	1,7	421	1 516
4,800	1323	1,3	1,7	430	1 548
4,900	1351	1,4	1,8	439	1 581
5,200	1434	1,4	1,9	466	1 677

La provincia Manabí goza de un potencial solar muy adecuado y existen algunas zonas con potencial eólico que pudiera ser aprovechado con pequeñas y medianas instalaciones conectadas a la red. Estas son instalaciones sencillas fáciles de manejar y con tamaños de instalación que actualmente están disminuyendo, lo que las hace muy competitivas en formato de las microrredes, especialmente muy adecuadas para su inserción en el ambiente turístico.

En la figura 3 se observa el mapa del potencial solar de la provincia de Manabí, con la ubicación de las concentraciones humanas y las de mayor densidad poblacional, comprendidas a un kilómetro de la línea del litoral. Se puede observar que en la mayoría de los casos, las concentraciones humanas se encuentran ubicadas en localidades donde inciden los mayores niveles de radiación solar, coincidiendo con las áreas que pudieran ofrecer los mejores resultados en cuanto a la generación fotovoltaica en forma de microrred.

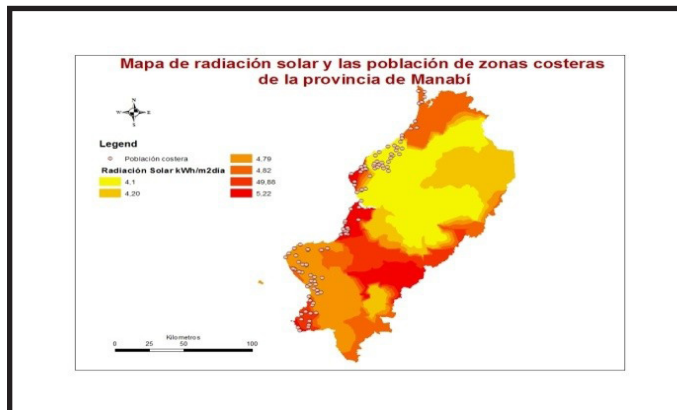


Fig. 3. Poblaciones próximas a un kilómetro de la playa y potencial solar.

Los SIG permiten hacer estos análisis y pueden además integrar diferentes estudios que potencian la aplicación, por ejemplo, calcular la contaminación por el aerosol marino y cómo afectaría a las tecnologías que se emplean, considerando diversos parámetros climatológicos.

Los ejemplos demostrados a partir del estudio del potencial solar, ofrece las ideas básicas de las formas y la metodología que se puede aplicar para el estudio y gestión de otras fuentes de energía renovable, pudiendo realizar análisis integrados y comparar para cada sitio seleccionado, cuál o cuáles serían las tecnologías adecuadas para introducir según sus características, permitiendo con ello brindar elementos de cualquier sitio y determinar los parámetros que inciden en lograr la sostenibilidad y potenciar así la diversificación de la matriz energética desde los análisis integrales de los territorios en este caso la provincia de Manabí.

CONCLUSIONES

Se logró demostrar la estrecha relación que existe entre las fuentes renovables de energía (en el caso del estudio

la solar) y el espacio territorial, de tal manera que esta relación es proporcionalmente transitiva a las microrredes y los SIG, donde se ha puesto de manifiesto la utilidad de esta herramienta para facilitar y propiciar los estudios integrados de penetración de las FRE, especialmente en el modo de la generación distribuida.

REFERENCIAS

1. UNEF. *La energía fotovoltaica conquista el mercado. Informe anual*. Disponible en www.gstamporiz.com (consultado enero 2015), 2014.
2. Quenergía, *Energías renovables en Alemania*. <http://quenergia.com/energias-renovables-alemania/> (consultado enero, 2015), 2012.
3. RODRÍGUEZ, 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*. Depósito Legal: M-35559-2012. ISBN: 978-84-7834-689-9, NIPO: 721-12-044-4, 2012(Editorial CIEMAT): <http://www.060.es>, (consultado noviembre 2014).
4. PARRONDO L., José et. al. *Planificación integrada de electrificación mediante SIG*. Anales de mecánica y electricidad, 2013. vol. 90(Diaalnet, ISSN: 0003-2506): pp: 32-37.
5. IGM. *Capas de Información Geográfica básica del IGM*, <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/cartografia-de-libre-acceso/carto>. 2013.
6. WHITLOCK, C. H. et. al. *Release 3 NASA surface meteorology and solar energy data set for renewable energy industry use*. Proceedings of Rise and Shine, 2000.

AUTORES

W. Manuel Saltos Arauz

Ingeniero Electricista, Profesor Titular, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

María Rodríguez Gámez

Licenciada, Profesora Titular, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Antonio Vázquez Pérez

Licenciado, Abogado, Profesor Colaborador e Investigador, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Miguel Castro Fernández

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

V. Hernán Nieto Castro

Ingeniero Electricista, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Geographic Information System and Microgrids

Abstract

Currently Ecuador advocates a change in the energy matrix, academic centers should develop a strategy that allows them to short and medium term training specialists give technical responses to this proposal it must create the conditions in college so that future generations be able to link the processes of investment in energy with the territorial space. The Technical University of Manabí (UTM) has proposed a research project funded by the National Secretary of Planning and Development of Ecuador (Senplades), aimed at boosting sustainable energy solutions that are based on the technical philosophy of microgrids with the use of renewable energy sources (RES). In this paper the spatial information related to solar energy potential of the province of Manabí, Ecuador's, managed by a geographic information system (GIS) as an integration tool that provides information on objectives that interact with microgrids shown, also the importance of its use as a management tool projects related to the use of RES and instrumentation aimed at ensuring innovative solutions to support the change of energy matrix from a territorial perspective is exposed.

Key words: geographical information system, renewables energy source, microgrids, distributed generation, sustainable energy development, territory