

El Potencial Solar y la Generación Distribuida en la Provincia de Manabí en el Ecuador

Rodríguez M., Vázquez A., Saltos W. M., ²R. Josnier

Abstract— In this work a conceptual analysis of distributed generation, microgrids and smart grids, where the importance of these is exposed to restructure the current energy scheme where centralized power generation based oil consumption, inefficient and polluting the atmosphere prevails offered. an assessment of the solar potential of the province of Manabí is performed and especially the city of Portoviejo, where the data allow us to evaluate the possibility of their use by introducing photovoltaic systems in distributed generation mode are set.

Index Terms— Microgrids, smart grids, centralized generation, sustainability

I. INTRODUCTION

MAS Resulta una cuestión bien difícil imaginar la actual civilización sin el uso y aprovechamiento de las ventajas que ofrece la electricidad. Pero el uso de este recurso es relativamente reciente, pues hace poco más de cien años no existía el concepto de servicio eléctrico, ni se encontraban tampoco las grandes obras para generar, transportar y distribuir electricidad; ni los aparatos electrodomésticos, los equipos industriales, o los sistemas de telecomunicación para utilizar electricidad, tampoco existían las empresas eléctricas [1].

Las civilizaciones que antecedieron a la existencia y el aprovechamiento de la electricidad, tampoco atinaron el negativo efecto ambiental que causaría la sobre explotación de los recursos energéticos del planeta, con la degradación de la capa de ozono y las consecuencias del calentamiento global y el efecto invernadero [2].

Actualmente la comunidad internacional apuesta por adoptar modelos sostenibles de desarrollo, donde la eficiencia figura como un paradigma clave para alcanzar las metas propuestas y en ese escenario las pérdidas consustanciales a los modelos de la generación eléctrica centralizada, unido a su carácter eminentemente petrolero y en otros casos con el uso de la fisión nuclear, ponen en entredicho la capacidad del sistema para lograr la sostenibilidad [2].

El actual esquema energético requiere ser reestructurado mediante la diversificación de las fuentes que se utilizan y los modos de generar y distribuir la energía hasta los consumidores finales, el incremento de la calidad del servicio, la eficiencia y la reducción de las pérdidas deben constituir las metas que deben lograrse. Se trata de combinar adecuadamente las opciones técnicas que se encuentren disponibles a nivel

territorial, logrando aprovechar las fuentes autóctonas que propicien la preservación de los recursos naturales y el respeto ambiental [3].

La red eléctrica del futuro requiere un salto cualitativo, no cuantitativo, debido a la necesidad de administrar mejor los recursos energéticos, favorecer la protección ambiental y responder a los requerimientos cada vez más exigentes de calidad de los servicios y productos.

2.1. LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

A pesar de que los sistemas eléctricos surgieron como soluciones técnicas en el modo de la generación distribuida (GD) mediante la producción y suministro de corriente directa (DC), en la actualidad cuando se habla de GD se entiende como un nuevo sistema de generación, en donde los recursos energéticos se encuentran cercanos de los centros de consumo. De esa manera la GD tiene relación con la producción de electricidad en pequeña escala, mediante sistemas que se conectan a la distribución o directamente a la línea de baja tensión del usuario, en zonas próximas a las cargas o consumidores finales [4].

Lo nuevo que implica la utilización de la GD es coexistir dentro del actual mercado eléctrico, en donde los pequeños medios de generación distribuida tienen la posibilidad de vender su energía [4]. Lo importante radica en el hecho de propiciar la diversificación del actual sistema con soluciones técnicas novedosas, que posibiliten el aprovechamiento de diversas fuentes disponibles territorialmente y lo ventajoso consiste en adoptar soluciones que permitan elevar la calidad del servicio y la eficiencia, así como propiciar la preservación de los recursos naturales y el respeto ambiental. Dicho en otras palabras, asegurar la sostenibilidad del desarrollo de la sociedad [2].

A. Las Microrredes y las Redes Inteligentes

La arquitectura fundamental de la red eléctrica actual, vertical en su operación (generación-transmisión-distribución) y con flujos de energía unidireccionales ha comenzado a cambiar, como resultado de la introducción de nuevas tecnologías que participan en la generación de energía eléctrica y de avances en las tecnologías de la información y las comunicaciones [5].

Algunos autores conceptualizan la microrred, como una red eléctrica integrada que utiliza fuentes de energía distribuidas (en su mayoría renovables) y generalmente dispositivos de

almacenamiento de energía para suministrar la demanda en forma local [5].

En algunos casos y en dependencia de su diseño técnico, la microrred puede funcionar conectada al sistema eléctrico de la empresa suministradora, pero con la capacidad de autoabastecerse y operar de forma aislada cuando sea necesario, para mantener la confiabilidad del suministro de energía a la carga local [5].

Las micro-redes eléctricas introducidas bajo los principios de la GD, pueden resultar un marco propicio para acoger y utilizar las fuentes renovables de energía (FRE) y la integración de las mismas a una escala mayor puede ser favorecida, aún en regiones donde exista conexión a la red eléctrica nacional, por la posibilidad de su conexión al sistema centralizado.

La microrred puede estar compuesta por un conjunto de cargas y generadores operando como un sistema único capaz de proporcionar potencia y calor. El funcionamiento y control de muchas de las fuentes que la integran están basados en electrónica de potencia, con lo que poseen la flexibilidad necesaria para garantizar la operación de todo el sistema como uno único. Este control flexible permite a la microrred presentarse al sistema eléctrico como una unidad controlable que abastece las necesidades locales con fiabilidad y seguridad [6].

En el concepto más sencillo se plantea que una microrred es un sistemas de distribución eléctrica que contiene cargas y fuentes de energía distribuida (generadores distribuidos, equipos de almacenamiento, o cargas controlables) que pueden ser operados de manera coordinada y controlada bien sea conectadas a la red eléctrica o de forma aislada [7].

Los objetivos de una microrred consisten en maximizar el uso y capacidad de los activos de generación, mediante la inteligencia construida en ella, para de esta forma incrementar la eficiencia y minimizar los costos. El núcleo principal en una microrred suele ser un sistema de tecnologías de la información, que permite la organización y el control de la red eléctrica como un ente único y una infraestructura de medición avanzada en las instalaciones de los usuarios [5].

Por otra parte una microrred puede considerarse como un componente de la red inteligente, la cual forma parte de la red de distribución pudiendo a su vez autoabastecerse y funcionar de forma independiente [8].

La adopción del modo de la generación distribuida se da la mano con la aplicación de las Microrredes; las Redes Inteligentes y los Dispositivos de Inteligencia Artificial, con capacidad de ofrecer novedosas soluciones técnicas cuando se combina adecuadamente con el sistema centralizado.

El desarrollo de la electrónica de potencia, la mejora de la confiabilidad de las comunicaciones y el incremento de la capacidad de los medios de almacenamiento, han llevado a considerar la microrredes como el paso previo a los sistemas inteligentes [9].

Conceptualmente se puede definir una red inteligente, como aquella que integra la generación centralizada a través de grandes plantas generadoras, con la generación distribuida en pequeña escala de energías renovables, en la cual el usuario puede consumir y enviar energía a la red, es decir, el lado de la

demanda de la red se puede convertir de manera controlada en una “fuente” o en un “pozo” de energía [10], donde se utilizan en gran escala las tecnologías de la información (TIC) que se asocian tradicionalmente con los sistemas de información administrativa y las tecnologías de operaciones (OT) con equipos de campo conectados al sistema eléctrico.

Las Redes Eléctricas Inteligentes (del inglés, Smart Grids), se basan en incorporar a la red eléctrica tradicional dispositivos electrónicos tales como medidores, sensores o mandos; vinculados a través de distintas tecnologías de comunicación, logrando la centralización y uso de la información para provecho de todos los actores involucrados, optimizando el funcionamiento del sistema eléctrico. De esta forma es posible que los consumidores puedan administrar eficientemente sus activos y que el usuario final gestione su consumo en forma racional [11].

Los conceptos vinculados a las redes inteligentes, representan un rompimiento con la filosofía tradicional de consumir la totalidad de la energía procedente de un sistema eléctrico centralizado, basado en grandes plantas de generación con un extenso sistema de transportación y distribución de la electricidad hasta su destino final. La inteligencia incorporada al sistema le permite ayudar a satisfacer las crecientes necesidades de electricidad, elevar la calidad del servicio, incrementar la eficiencia con la reducción de las pérdidas, propiciar la preservación de recursos naturales y minimizar el impacto ambiental contribuyendo a limitar las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Se llaman redes inteligentes porque los dispositivos que la integran pueden ser programados con capacidad de tomar determinadas decisiones sin la intervención del factor humano.

B. La Sostenibilidad

La consideración de los problemas ambientales en el desarrollo desde la globalidad que requieren, ha cambiado bastante en estos últimos años. Lo que a mediados del siglo XX era una minoritaria preocupación por las especies y los espacios, es hoy el centro de un debate mundial sobre el futuro de la humanidad.

A pesar de su ambigüedad, el término de desarrollo sostenible ha sido aceptado por la comunidad internacional, como un punto de reflexión y de cambio hacia modelos más respetuosos con los recursos naturales del planeta [12].

Actualmente la sociedad reconoce que las tendencias de desarrollo económico no son sostenibles. Más allá de ello existe poco acuerdo de opiniones, se discute sobre el significado del desarrollo sostenible y sobre si es o no asequible, existen diferentes visiones acerca de cómo se verán las sociedades sostenibles y cómo funcionarán. La falta de acuerdo y definición a nivel internacional han obstaculizado los esfuerzos para avanzar en el plano del desarrollo sostenible [13].

Conceptualmente se puede aceptar que el desarrollo sostenible constituye una estrategia que pone en juego un proceso integrado, mediante el cual se operan de manera intencionada nuevas maneras de generar en las personas y en las sociedades humanas cambios significativos de comportamiento y resignificación de valores culturales,

sociales, políticos, económicos y los relativos a la naturaleza, al mismo tiempo que propicia y facilita el desarrollo de habilidades intelectuales y físicas, promoviendo la participación activa y decidida de los individuos de manera permanente; reflejándose en una mejor intervención humana en el medio y como consecuencia una adecuada calidad de vida para las generaciones actuales y futuras.

En ese escenario el diseño técnico del actual sistema eléctrico petrolero y centralizado, contaminador ambiental y generador de pérdidas por naturaleza, puede poner en entredicho los esfuerzos que se realizan a escala técnica por lograr la sostenibilidad y donde puede ser necesaria la restructuración del actual sistema incorporando soluciones novedosas vinculadas a la GD.

C. Evaluación del potencial solar

En la actualidad existe plena conciencia de la responsabilidad que recae sobre la generación, transportación y distribución del servicio eléctrico en la grave situación ambiental que enfrenta la humanidad. Hoy la generación eléctrica a nivel mundial se sigue basando mayoritariamente en el consumo de los combustibles fósiles, que se agotan y sus residuales envenenan progresivamente las condiciones naturales de la Tierra. Por otro lado predominan los sistemas eléctricos centralizados basados en grandes centros de generación, que hace necesaria la transportación de la energía a grandes distancias, empleando un complejo y amplio sistema de distribución hasta los consumidores finales, generando pérdidas que hacen ineficiente y encarecen el servicio.

La tendencia institucional en relación con la generación de energía eléctrica en el Ecuador está cifrada en el aprovechamiento del potencial hidráulico, sin embargo los principales centros de consumo ubicados en la costa, se encuentran entre 300 y 400 kilómetros de distancia de las hidrogeneradoras. La generación base en el territorio costero se realiza mediante el consumo de petróleo en centrales térmicas con un elevado costo económico y ambiental.

La integración de las fuentes renovables en la escena energética nacional del Ecuador y la aplicación práctica de los conceptos técnicos asociados a la GD, constituyen un potencial generador de importantes y novedosas relaciones sociales de producción y reproducción de bienes y servicios energéticos. En ello se destaca la posibilidad de aprovechamiento de la energía solar mediante la introducción de los sistemas fotovoltaicos conectadas a la red de baja tensión, aplicaciones que son propiciadoras del surgimiento de nuevas relaciones sociales y la entrada en la escena energética de una nueva figura, el “productor independiente de energía”, trayendo al contexto de la generación de electricidad a un nuevo tipo de relación bidireccional, en cuanto a la producción y consumo, así como las formas de retribución de la energía aportada a la red.

En la política del estado ecuatoriano en el año 2009, se reconoció el gran impulso y papel inmediato que jugaría la energía hidráulica. Al propio tiempo se planteó que la energía solar, eólica y geotérmica resultaban limitadas en su oferta, infraestructura y radio de aplicación, no obstante se previó en

aquel momento que a futuro, llegarían a ocupar un lugar significativo en la matriz energética nacional [14], lo que tenía que ver con garantizar la confiabilidad técnica del sistema en cualquier condición de la situación, pues ya algunas personas habían identificado el riesgo que representaba una base energética que dependiera de una sola fuente, por abundante que fuera la disponibilidad de esta.

Pero la realidad es que a la altura de un lustro lo que está sucediendo con las renovables no hidráulica, especialmente con la fotovoltaica, no tiene nada que ver con la política fijada en el año 2009, cuando se anunciaba que a futuro sin dudas la energía solar, eólica y geotérmica, llegarían a ocupar un lugar significativo en la matriz energética nacional.

En el actual escenario se hace necesario evaluar el papel que pueden jugar las fuentes renovables de energía en el modo de la GD, en la posible restructuración del sistema eléctrico en una provincia de la costa ecuatoriana.

La provincia de Manabí se ubica en el territorio costero del Ecuador, posee uno de los niveles más elevados de la radiación solar incidente en relación con el resto del país. En la figura 1 se muestra el mapa a escala cromática con el potencial solar diario promedio anual que incide en la provincia y sus principales ciudades. Y en la tabla 1 se muestra la información estadística del potencial solar promedio anual y por meses del año.

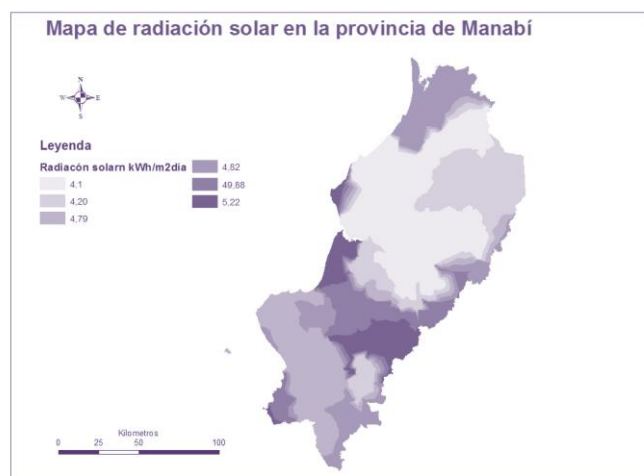


Figura 1. Radiación solar diaria promedio anual, de la provincia de Manabí

Fuente: Elaboración propia en base al Sistema de Información Geográfica para el Desarrollo Sostenible (SIGDS).

Concepto	Prom. anual	Ener	Feb	Marz	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sep	Oct	Nov	Dic
Potencial solar	4,601	4,982	4,977	5,526	5,409	4,867	3,930	3,753	4,056	4,312	4,269	4,367	4,758

La ciudad de Portoviejo es la capital de la provincia de Manabí y la radiación solar presenta una variación relativa anual, dada la ubicación latitudinal del territorio en relación con el movimiento aparente del Sol y las condiciones climáticas propias que tienen lugar a lo largo del año. En la figura 2 se muestra el mapa a escala cromática con el potencial solar diario promedio anual que incide en la urbe portovejense y en la tabla

2 se exponen los datos estadísticos de la radiación solar promedio anual y por meses que incide en la mencionada ciudad.



Figura 2. Radiación solar diaria promedio anual, en la ciudad de Portoviejo

Fuente: Elaboración propia en base a SIGDS

Tabla 2. Radiación solar promedio anual y por meses en Portoviejo

Concepto	Prom. anual	Ener	Feb	Marz	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sep	Oct	Nov	Dic
	(kWh/m² día)												
Portoviejo	4,850	5,385	5,270	5,865	5,775	5,235	4,085	3,830	4,115	4,430	4,470	4,610	5,135

Fuente: Elaboración propia en base a SIGDS

El análisis de los datos reflejados en las tablas 1 y 2 permite definir que el nivel de la radiación solar promedio anual incidente en la ciudad de Portoviejo, se encuentra por encima de los valores promedios registrados para la provincia de Manabí, por lo que cualquier inversión realizada en el área de estudio, garantiza niveles energéticos superiores a los esperados en el resto de la provincia. La radiación solar incidente en la ciudad de Portoviejo garantiza que por cada kWp de fotovoltaica instalada, se puedan generar entre 31,5 MWh y 31,9 MWh de electricidad durante el ciclo de vida de la tecnología, con un costo promedio estimado entre 8 y 10 centavos de dólar el kWh generado, que representa un precio muy competitivo con cualquiera de las fuentes energéticas de que se dispone en el territorio. En la figura 3 se expone gráficamente la relación existente entre la radiación solar promedio anual de la provincia de Manabí y la que incide en la ciudad de Portoviejo.

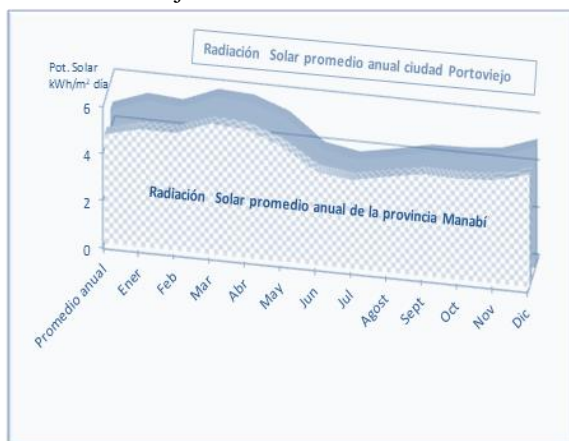


Figura 3. Radiación solar promedio anual de la provincia de Manabí y la que incide en la ciudad de Portoviejo

Conociendo el potencial solar diario promedio anual, se puede realizar la estimación de la productividad normalizada en el sitio donde se pretende instalar la tecnología, aplicando la ecuación 1. Esta información resulta vital para realizar el cálculo de la potencia fotovoltaica que se pudiera instalar, así como realizar la estimación de la productividad energética del Sistema.

$$P_n = P_{spa} * PFV * Acc * \eta_t * \eta_c \quad (1)$$

Donde:

P_n → productividad normalizada (kWh/kWp día)

P_{spa} → potencial solar promedio anual (kWh/m² día)

PFV → potencia fotovoltaica (kWp)

Acc → área de captación solar de las células fotovoltaicas (6,4m²)

η_t → eficiencia técnica de los módulos (cuando se trata del silicio policristalino es igual al 13%. Si se trata del silicio monocristalino es igual al 16%)

η_c → eficiencia promedio de captación de la radiación durante el ciclo de vida (86%)

En la tabla 3 se expresa la productividad normalizada estimada promedio anual y por meses del año, información que servirá para definir la potencia fotovoltaica que se requiere instalar.

Tabla 3. Productividad normalizada promedio anual y mensual

Concepto	Prom. anual	Ener	Feb	Marz	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sep	Oct	Nov	Dic
	(kWh/kWp)												
Prod. Normalizada	4,271	4,742	4,640	5,164	5,085	4,610	3,597	3,372	3,623	3,901	3,936	4,059	4,522

Como se muestra la productividad normalizada se encuentra entre 3,372 y 5,164 kWh/kWp, estos parámetros indican que se puede tener resultados cualitativos en el uso de la energía solar para la generación de energía en el modo de la GD.

II. CONCLUSION

Profundizar en el estudio del aprovechamiento del potencial solar que incide en la provincia de Manabí, para la introducción de tecnología fotovoltaica conectada directamente a la red de baja tensión de cara al usuario, que puede ofrecer una factibilidad técnico-económica superior.

REFERENCES

- [1]. Huacuz Jorge, Generación eléctrica distribuida con energías renovables. Boletín IIE. México. Septiembre 1999, 1999.
- [2]. Vázquez Antronio, La Formación Ambiental desde el aprovechamiento de la energía solar, el ahorro y la eficiencia energética. Estudio de caso Universidad Técnica de Manabí. Instituto Internacional de Formación Ambiental. Valladolid España, 2016. Memoria del Proyecto de Fin de Máster.
- [3]. Rodriguez María, Economic Feasibility of Extending the Mains. International Scientific Research Organization Journal Open Access Journal, 2016. Volume 01 Issue 02, ISSN: 2455-8818.
- [4]. Herrera Jorge, Normativa Chilena referida a Generación Distribuida como Agente del Mercado Eléctrico. EIE561 – Distribución Eléctrica PUCV, JUNIO 2009, @! INGENIERÍA CIVIL ELÉCTRICA, EIE, PUCV - CHILE, 2009. Student Member IEEE.

- [5]. Velázquez Raúl, Introducción al concepto de micro redes. Boletín IIE, Tendencias tecnológicas, 2010. <http://www.iie.org.mx/boletin032010/tenden.pdf>.
- [6]. Fossati Juan, Revisión bibliográfica sobre microrredes inteligentes. Literature review of microgrid Memoria de trabajos de difusión científica y técnica, núm. 9. ISSN: 1510-7450 2011, 2011.
- [7]. Jiménez Guillermo, Palma Rodrigo, and R.C. Lorenzo, Desafíos y oportunidades para micro-redes rurales en Chile y la región. Seminario Internacional "Desafíos en el desarrollo de micro redes inteligentes en zonas aisladas, 2012. Centro de Energía Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile. http://www.rcgsas.com/Documentos/Seminario/SRI-UN_s15c.pdf.
- [8]. Dobakhshari A, Salehi Azizi, and Ranjbar A, Control of Microgrids: Aspects and Prospects. International Conference on Networking, Sensing and Control, 2011. http://www.um.edu.uy/upload/descarga/web_descarga_239_bliografica_microredesinteligentes.-Fossati.pdf: p. 38 - 43.
- [9]. Medina Ricardo, Microrredes eléctricas. Electricidad en un ambiente inteligente. web Academia. 2012. Disponible en: http://www.academia.edu/10707506/MICRO_REDES_EL%C3%89CTRICAS_ELECTRICIDAD_EN_UN_AMBIENTE_INTELIGENTE, 2012.
- [10]. Velazcos R, Redes de transmisión inteligente. Beneficios y riesgos. Smart Transmission Grids - Benefits and Risks. Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XIV (número1), enero-marzo 2013: 81-88. ISSN 1405-7743 FI-UNAM, 20013. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [11]. MEER, Redes Inteligentes y Generación Distribuida. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador, 2015. Consultado enero 2015. Disponible en: <http://www.iner.gob.ec>.
- [12]. Gutiérrez José, Benayas Javier, and Calvo Susana, Educación para el Desarrollo Sostenible. Evaluación de retos y oportunidades del decenio 2005-2014. Revista Iberoamericana de Educación N.º 40, 2014. Consultado septiembre 2015. <http://www.rieoei.org/rie40a01.pdf>: p. 25-69.
- [13]. Rosalyn Mckeown, Manual de Educación para el Desarrollo Sostenible. Versión 2. Centro de Energía, Medio Ambiente y Recursos de la Universidad de Tennessee, 2002. 311 Conference Center Bldg. Knoxville, TN 37996-4134 U.S.A. esdtoolkit@utk.edu, 2002. Un producto del Centro para la Geografía y la Educación Ambiental, Universidad de Tennessee, Knoxville, Tennessee.
- [14]. Fernando I, Atlas del sistema eléctrico ecuatoriano. Ministerio de Electricidad y Energía Renovables, 2009. Terrasoe imagen corporativa. CONELEC, CELEC, CENEL: p. 17.



María Rodríguez Gámez,
PhD. Estrategias y Territorio de Planificación Fuentes de Energía Renovables, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España, PhD. En geografía Profesor Titular e investigador de la Universidad Técnica de Manabí. Ha participado en varios proyectos internacionales de investigación dirigidos a áreas rurales que utilizan fuentes de energía renovables y que actualmente trabaja en

estudios de aplicación del uso de los SIG para potenciales renovables y la generación distribuida.



Antonio Vázquez Pérez,
Estudiante de Doctorado, Abogado, Master en Formación Ambiental, Profesor e Investigador, especialista en evaluación de riesgos y reducción de desastres, Defensa Civil de sistemas corporativos, gestión de proyectos de fuentes renovables de energía, profesor de derecho ambiental y desastres naturales. Actualmente professor de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias de la Universidad Técnica de Manabí.



Wilber Manuel Saltos Arauz,
Aspirante a Doctor en Ciencias Técnicas, Ingeniero Eléctrico, ha trabajado en diversas investigaciones dirigidas principalmente al uso de microrredes con fuentes renovables de energía, ha participado en eventos científicos como el autor de varios trabajando actualmente en el tema del uso de fuentes renovables en forma de generación distribuida a través de microrredes que en función de la mejora la calidad de la energía y disminución de los impactos ambientales.



Josnier Ramos Guardarrama,
Profesor a tiempo completo. Ingeniero y Master en Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de La Habana (Cujae), Cuba.