

2019-12-06

La evolución de los sistemas energéticos: retos y oportunidades para el sistema eléctrico colombiano

Maximiliano Bueno López
Universidad de la Salle

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ai>

Citación recomendada

Bueno López, Maximiliano (2019) "La evolución de los sistemas energéticos: retos y oportunidades para el sistema eléctrico colombiano," *Ámbito Investigativo*: Iss. 3 , Article 4.
Disponibile en:

This Artículo de divulgación is brought to you for free and open access by the Revistas de divulgación at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in *Ámbito Investigativo* by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

La evolución de los sistemas energéticos: retos y oportunidades para el sistema eléctrico colombiano



MAXIMILIANO
BUENO LÓPEZ



Introducción

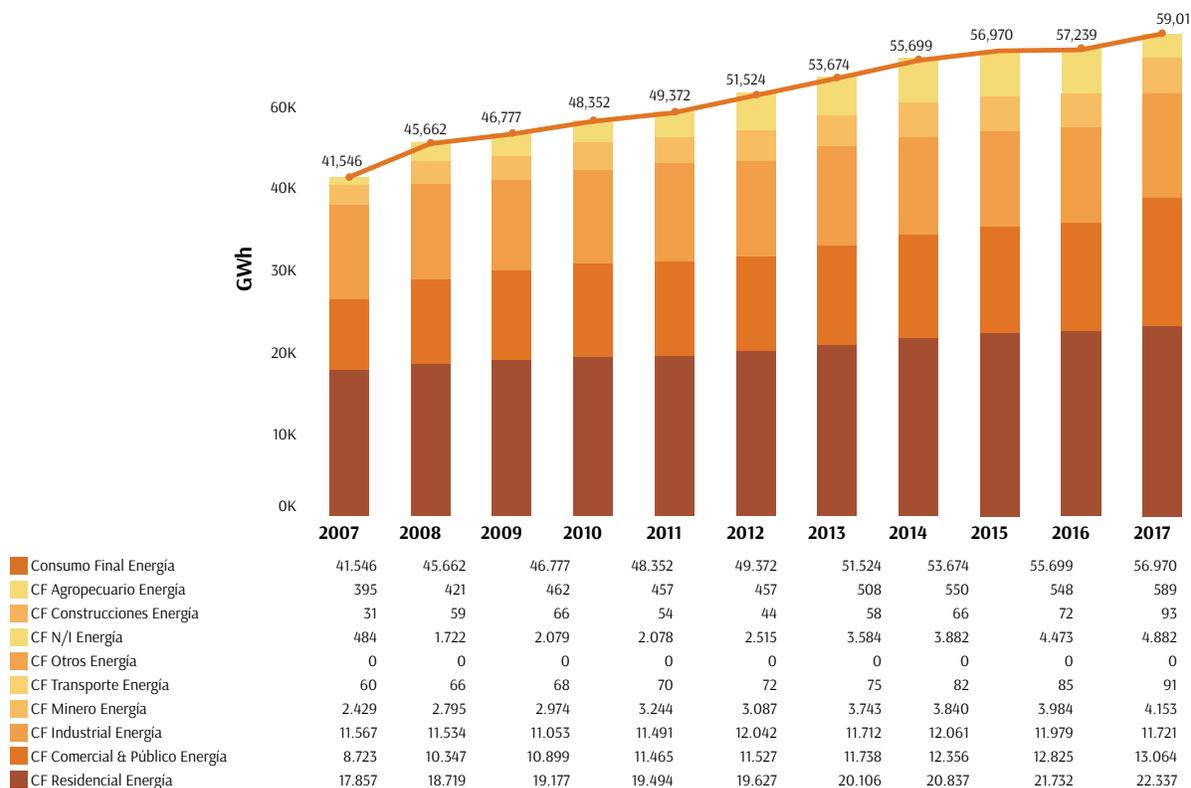
Como consecuencia del grado de interconexión y dependencia que tienen sus diferentes componentes, la energía debe considerarse como un sistema y por este motivo, se emplea la expresión 'sistema energético'. Una de las primeras entidades en utilizar este término fue la IAEA (por sus siglas en inglés, *International Atomic Energy Agency*), Organismo Internacional de Energía Atómica; hoy en día es ampliamente popular a nivel industrial, académico y en cualquier escenario que se tenga que hablar de energía. Existen diferentes formas de energía, así como maneras de producirla, pero este artículo se enfocará específicamente en la energía eléctrica y cómo esta ha ido evolucionando desde la generación, transmisión, distribución y regulación. Se abordarán conceptos como redes inteligentes (*Smart Grids*), generación distribuida y energías renovables. Finalmente, se mostrarán algunos aportes que se han realizado desde la Universidad de La Salle en este campo del conocimiento buscando integrar los términos 'energía' y 'sostenibilidad'.

Energía y desarrollo

El desarrollo de un país está asociado a los recursos energéticos de los que disponga, de allí que el conocimiento detallado de estos sea un factor muy importante en el momento de proponer y llevar a cabo planes o programas de desarrollo económico y productivo que involucren proyectos energéticos renovables, los cuales a su vez están asociados a la calidad de los servicios públicos ofrecidos para el bienestar de las comunidades que habitan estos lugares (Carpio y Coviello, 2013).

Estudios indican que el séptimo objetivo de desarrollo sostenible planteado por la Organización de las Naciones Unidas, 'acceso a energía para todos', no será alcanzado para el 2030, tal como se tenía previsto y habrá que esperar hasta el 2050 para lograr la transición energética a nivel mundial (Marczak y Engelke, 2016). En Colombia, cerca de 2 millones de personas en territorio rural, el 4 % de la población total, no cuenta con acceso a energía eléctrica y es posible afirmar que el acceso a servicios básicos, como la energía, ha estado relacionado de forma directa con la pobreza y el desarrollo. (Bueno López y Rodríguez Sánchez, 2019)

En la actualidad, la escala de utilización de la energía está aumentando con gran rapidez, con la consecuencia de que la sociedad depende cada vez más de este recurso. Diferentes sectores muestran su evolución a partir del consumo energético. Para el caso de Colombia es posible apreciar un aumento significativo en la demanda de sectores como el agropecuario y el comercial y un valor casi constante en los últimos 10 años en el sector industrial. La siguiente gráfica permite observar con detalle esta situación.



Distribución de energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional por Sector. Basado en “Balance Energético Colombiano –BECO–” por Unidad de Planeación Minero Energética –UPME–, 2019

Uno de los sectores que tiene mayor impacto en el consumo energético es el del transporte. El consumo del sector transporte, que representa el 39 % del total del sector energético, se compone de los subsectores de uso final, carretero, ferroviario, fluvial, marítimo y aéreo. El sector transporte consume principalmente combustibles fósiles, con una participación importante de los combustibles derivados del petróleo y una baja participación (0.06%) de consumo eléctrico. Adicionalmente, teniendo en cuenta que el subsector de transporte aéreo demanda prácticamente todo el querosene Jet A1 del sector (10%), se deduce que la alta participación del subsector

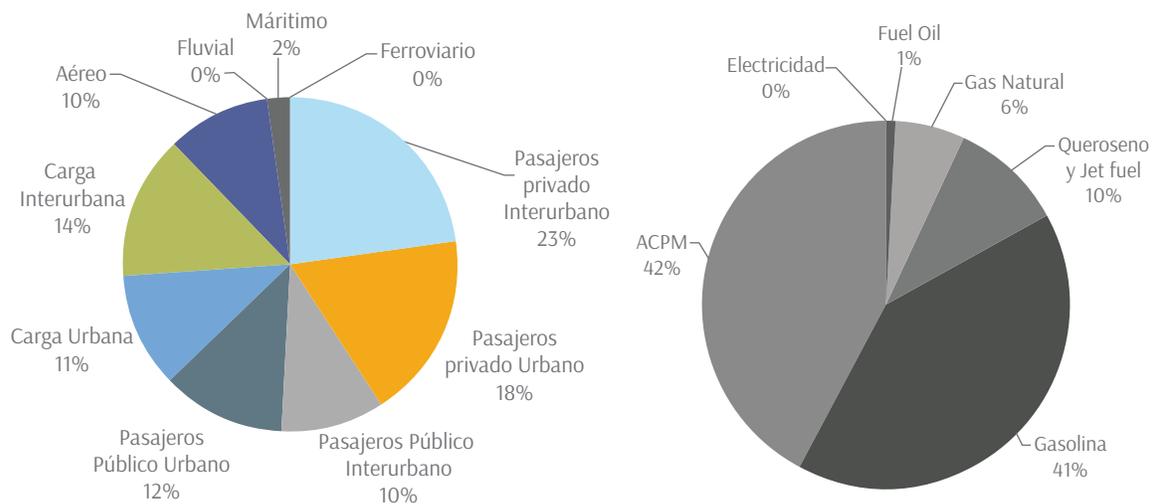
transporte por carretera en el consumo (88%) se suplente principalmente con gasolina y ACPM. Este comportamiento marca una tendencia urgente hacia la inclusión del transporte eléctrico en nuestro país, tema que debe ser abordado desde la academia y entes gubernamentales.

Energías renovables

Las energías renovables han aumentado su cobertura gracias a la necesidad de cumplir con los acuerdos internacionales establecidos, por ejemplo, el Protocolo de Kyoto y el Acuerdo de París; y además con el fin de alcanzar lugares alejados donde los sistemas eléctricos convencionales

no logran llegar. Cada uno de estos protocolos ha establecido unas metas en cuanto a emisiones y generación de energía eléctrica con derivados de combustibles fósiles. El desarrollo de las energías renovables en Colombia ha tomado gran interés en los últimos años y se han venido desarrollando proyectos enfocados en

conocer el potencial que se tiene, para cambiar la matriz de generación actual, la cual está dominada por hidroeléctricas y centrales térmicas. Actualmente, Colombia cuenta con un atlas de radiación solar y velocidad del viento, los cuales permiten estimar el potencial de generación a partir de estos recursos.



Consumo de subsectores (izq.) y tipo de energéticos (der.) en el sector transporte. Basado en “Inventario nacional y departamental de gases efecto invernadero -Colombia” por IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2016.

También se han hecho investigaciones en el tema de generación geotérmica y mayores avances se han visto con Biomasa. Siendo Colombia un país rico energéticamente se requiere determinar por zonas dichos potenciales, para así diseñar e implementar de forma correcta los proyectos de energía renovable que quieran ser desarrollados en dichas regiones. A la fecha, la disponibilidad de información de potenciales energéticos es de orden nacional

encontrando que la regional es muy escasa o no se tiene, lo cual afecta las propuestas, diseños y por ende, implementaciones de los proyectos renovables, al no contar con información veraz y confiable del comportamiento y calidad de los potenciales energéticos existentes en cada región. En cada una de estas temáticas, la Universidad de la Salle ha incursionado desde hace ya varios años, se han realizado consultorías con entes gubernamentales

y proyectos de investigación. En estos momentos se adelanta en cooperación con la Universidad Tecnológica de Pereira, el proyecto «Operación, control y análisis de la estabilidad en sistemas de distribución con fuentes eólica y solar fotovoltaica, almacenamiento de energía magnética por superconducción y sistemas de baterías de media potencia: un enfoque unificado basado en optimización" el cual cuenta con financiación de Colciencias.

En Colombia se cuenta ya con algunos proyectos de generación de energía basados en fuentes no convencionales operando y conectados al Sistema de Transmisión Nacional. En cuanto a energía Eólica se tiene el Parque Jepirachí ubicado en el Departamento de la Guajira y operado por EPM. En el caso de generación solar se encuentra el parque Solar Yumbo operado por Celsia y ubicado en el Valle del Cauca. El porcentaje de estos proyectos es poco significativo en nuestra matriz energética y existe una necesidad imperiosa de aumentarlo. Esto se podría hacer desde un enfoque técnico y regulatorio, temas estos que serán abordados en la nueva maestría en Ingeniería Sostenible que ofrecerá la Universidad de La Salle.

Los beneficios ambientales de la utilización de energías renovables no convencionales son evidentes, y por lo tanto, en Colombia se pretende aumentar su presencia mediante la Ley 1715 de 2014. Sin embargo, la integración de estas fuentes de energía constituye un reto técnico



para los operadores de la red eléctrica. La penetración de fuentes de energía renovable no convencionales puede originar diferentes retos operativos a nivel de distribución. Específicamente, las centrales de generación eólica y solar fotovoltaica presentan una alta variabilidad en la potencia generada, debido a la disponibilidad intermitente del recurso energético primario. Lo anterior genera oscilaciones de potencia y frecuencia, que a su vez pueden inducir problemas asociados a la operación y la estabilidad del sistema. Estas oscilaciones deben ser compensadas mediante el uso de dispositivos almacenadores de energía, los cuales pueden ser usados adicionalmente, para aplanar la



curva de carga, incrementar la confiabilidad y mejorar los índices de calidad de energía.

Las baterías son quizás los elementos almacenadores más conocidos y utilizados. Estos permiten almacenar energía por tiempos prolongados, pero son inadecuados para afrontar los problemas transitorios del sistema, ya que su vida útil se reduce frente a constantes ciclos de carga/descarga. De otro lado, existen elementos de almacenamiento de energía eléctrica que permiten ciclos rápidos y repetitivos de carga y descarga, sin reducir la vida útil del dispositivo. Entre estos dispositivos se destacan los elementos almacenadores de energía magnética por súper conducción o SMES por sus siglas en inglés (*Super Conducting Magnetic Energy Storage*). Sin embargo, los SMES solo pueden almacenar energía en intervalos de minutos. Resulta claro que la solución a la alta variabilidad en sistemas de distribución requiere de diferentes tecnologías de almacenamiento y una coordinación en diferentes horizontes de tiempo: desde unos cuantos milisegundos hasta un día entero. Por tanto, es necesaria una solución coordinada entre elementos estabilizados (SMES) y elementos aplanadores de la curva de carga (baterías). Los sistemas de control deben ser adecuadamente diseñados para permitir que todas estas acciones se realicen de manera simultánea. Es necesario, por tanto, el desarrollo de una metodología integradora que considere

tanto problemas de mediano plazo (aplanamiento de la curva de carga) como problemas transitorios.

Redes inteligentes

Hasta hace algunos años, la producción, transmisión y distribución de la energía se venían abordando como problemas separados, sin embargo, la búsqueda de una mayor eficiencia llevó a empezar a considerar la interacción que tenían cada uno de estos sistemas. Uno de los principales resultados es lo que conocemos hoy en día como redes inteligentes (Smart Grids), microredes (*Micro Grids*) e incluso algunas aplicaciones en el sector rural conocidas como aldeas inteligentes (*Smart Villages*).

Una red inteligente o Smart Grid se puede definir como un sistema autosuficiente, que permite la integración de cualquier tipo y cualquier fuente de generación a la red, lo que reduce la fuerza de trabajo hacia una electricidad sostenible, confiable, segura y de calidad para todos los consumidores (IEEE, 2018).

La configuración empleada en una microred puede contribuir de forma positiva sobre la estabilidad, la confiabilidad y la operación óptima del sistema de distribución. La presencia de convertidores de potencia, así como los elementos almacenadores de energía es indispensable, ya que estos permiten integrar las fuentes de energía renovable. Así mismo, los convertidores de potencia pueden contribuir a la inyección de reactivos a la red,

umentando la eficiencia de la misma. Una de las principales ventajas, es que en caso de fallas en el sistema de distribución, las microredes pueden operar en forma de isla, alimentando de forma continua los usuarios conectados.

La generación distribuida mediante fuentes no convencionales de energía ya existe en el sistema eléctrico colombiano y se pretende aumentar su presencia mediante la Ley 1715 de 2014, por lo cual el concepto de microred es potencialmente aplicable en nuestro país. Normalmente, los pequeños generadores conectados al sistema mantienen una generación y un factor de potencia constante. Bajo el concepto de microred, además, estos podrán suministrar servicios auxiliares al sistema de distribución. Igualmente, podrán aumentar la confiabilidad del sistema, ya que los generadores distribuidos operarán en isla, suministrando potencia a un conjunto de usuarios localizados al interior de la microred. El concepto debe considerar no solo cogeneradores, sino también diferentes formas de energía renovable especialmente eólica y solar, debido a la complementariedad de la primera con el Fenómeno del Niño y el potencial de la segunda, por la ubicación geográfica del país.

Electrificación rural

El desarrollo rural en Colombia ha sido uno de los temas prioritarios para el país en años recientes. Diferentes

políticas gubernamentales y nueva legislación han surgido con el fin de transformar el campo colombiano. El país ha vuelto la mirada hacia lo rural, allí se ha detectado un foco de crecimiento económico basado en la producción de alimentos y materias primas. Además de entender que estas regiones requieren un impulso en todos los aspectos en busca de obtener una paz estable y duradera, es necesario generar nuevas oportunidades de empleo para todos los habitantes de estas regiones.

Uno de los principales enfoques en este tema ha sido la electrificación, esto se debe a que muchas de las consideradas áreas rurales en Colombia no cuentan con este servicio y esto detiene la transformación y progreso de estas regiones. Las zonas aisladas en Colombia presentan condiciones geográficas, sociales, culturales, económicas, energéticas y ambientales muy particulares, tales como familias no nucleadas, elevados niveles de necesidades básicas insatisfechas, deficiencia en la disponibilidad energética, bajos niveles en calidad de salud y educación. Al analizar la situación individual de cada una de las familias ubicadas en estas áreas, se evidencian inconvenientes en el consumo y producción de energía, tanto térmica como eléctrica, ya que usos como el de cocción de alimentos se basa en la leña, la cual al ser quemada presenta impactos negativos en la salud de la población y el ambiente, así mismo la electricidad en la mayoría de estas zonas proviene

de plantas diésel, las cuales tienen una carga contaminante alta para el medio ambiente (Bueno López y Garzón Lemos, 2017).

El Gobierno colombiano con el apoyo de entidades internacionales ha venido implementando programas de electrificación rural en diferentes zonas del país. Estos han tenido un gran impacto en las comunidades, sin embargo, la falta de conocimiento técnico ha dificultado la sostenibilidad de estos proyectos. Parte de una solución energética sostenible es la transferencia tecnológica, la cual debe estar a la medida de las necesidades y condiciones

reales de las personas que habitan las zonas no interconectadas del país. Situación que es similar para las zonas rurales y aisladas de muchos otros países en el mundo. La Universidad de La Salle ha tenido avances significativos en este tema. Se han implementado proyectos en zonas no interconectadas con comunidades que viven en situación de extrema pobreza, sin embargo, la llegada de nuevas tecnologías y el proceso de apropiación del conocimiento muestran una oportunidad de mejora en la calidad de vida (Aabrek, Forseth, Bueno López, y Molinas, 2018).



Proceso de capacitación a miembros de la comunidad del resguardo indígena Calle Santa Rosa, Cauca, Colombia.

La imagen anterior se muestra parte del proceso de capacitación en una comunidad realizada por estudiantes de la Universidad de La Salle y de The Norwegian University of Science and Technology.

Retos de los sistemas energéticos

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Salle ofrecerá próximamente la maestría en Ingeniería sostenible y uno de los énfasis será el de sistemas energéticos. Dentro de este programa formativo se tendrán en cuenta los siguientes retos:

- El determinar la calidad y el comportamiento de los potenciales energéticos es fundamental para garantizar el correcto diseño e implementación de los proyectos renovables, a partir de esta información se logra identificar condiciones específicas de los potenciales, que asociadas a las evaluaciones, permite proponer soluciones energéticas renovables y sostenibles en una determinada región. Los equipos de medición normalizados, los mecanismos de comunicación y transmisión de datos, el manejo y procesamiento de la información registrada, son aspectos que deben ser determinados de acuerdo con las características de la región e intereses de quienes emplearán la información obtenida a partir de estos sistemas. Sin embargo, esta información primaria debe ser

analizada y evaluada de forma adecuada con el fin de entregar una información procesada de forma confiable y de calidad, de acuerdo con los intereses y requerimientos de los diferentes agentes que la consulten.

- La investigación en Colombia en el campo de los sistemas de almacenamiento de energía es aún incipiente. Sin embargo, debido a la acelerada dinámica que ha presentado el sector eléctrico nacional en los últimos 20 años, es de esperarse que este tipo de tecnologías sean implementadas en el país, como solución a los problemas mencionados, en la medida que sus costos así lo posibiliten.

Conclusiones

Los sistemas energéticos han evolucionado de la mano de la tecnología y reformas políticas. La articulación de estas temáticas es necesaria para garantizar la implementación y sostenibilidad de proyectos que garanticen la cobertura del servicio de energía eléctrica en todo el territorio nacional. La Universidad de La Salle ha hecho aportes significativos en esta temática y continúa apuntándole al desarrollo rural a partir de la electrificación en zonas no interconectadas. Los esfuerzos deben continuar en la búsqueda de un cambio en la matriz energética colombiana que disminuya la dependencia de combustibles fósiles e involucre cada vez más las energías renovables no convencionales.

Referencias

- Aabrek, V., Forseth, I., Bueno López, M. y Molinas, M. (2018). Design and Implementation of a Monitoring System for Decision Support in a Micro-Business Based on Solar Energy Microgrid in Rural Colombia. *IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)* (pp. 1-8). San Jose, CA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/GHTC.2018.8601571>
- Bueno Lopez, M. y Garzón Lemos, S. (2017). Electrification in Non-Interconnected Areas: Towards a New Vision of Rurality in Colombia. *IEEE Technology and Society Magazine*, 36(4), 73-79. <https://doi.org/10.1109/MTS.2017.2763479>
- Bueno López, M. y Rodríguez Sanchez, P. (2019). Apropiación del conocimiento en proyectos energéticos a pequeña escala: factor clave para el desarrollo sostenible. *V Foro Bienal Iberoamericano de Estudios del Desarrollo* (pp. 1-18). Bogotá: Red Iberoamericana de Estudios del Desarrollo (RIED).
- Carpio, C. y Coviello, M. (2013). *Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Congreso de Colombia. (13 de mayo de 2014). Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. [Ley 1715 de 2014]. Diario oficial 49.150. Recuperado de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLETERÍA. (2016). *Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero-Colombia*. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Bogotá D.C., Colombia.: Zetta Comunicadores. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023634/INGEI.pdf>
- IEEE (2018). *IEEE Standard for the Specification of Microgrid Controllers*. New York, USA: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8295083>
- Marczak, J. y Engelke, P. (2016). *América Latina y el Caribe 2030: Escenarios futuros*. Washington, DC: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Unidad de Planeación Minero Energética-UPME. (2019). *Balance Energético Colombiano-BECO-*. Recuperado de <http://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/PETROLEO.aspx>