

Escenario de Desarrollo Energético Sostenible en Colombia 2017-2030

Scenario of sustainable development in Colombia 2017-2030

Ricardo Moreno¹, Y. U. López², Enrique C. Quispe³

¹Grupo de Investigación en Energías GIEN, Departamento de Energética y Mecánica, Universidad Autónoma de Occidente, Colombia, rmoreno@uao.edu.co

²Grupo de Investigación en Energías GIEN, Departamento de Energética y Mecánica, Universidad Autónoma de Occidente, Colombia, ecquispe@uao.edu.co

³Grupo de Investigación en Energías GIEN, Departamento de Energética y Mecánica, Universidad Autónoma de Occidente, Colombia, ylopez@uao.edu.co

Fecha de recepción: 28/06/2018 Fecha de aceptación: 12/12/2018



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.4743>

Como citar: Moreno, R., López, Y. U. & Quispe, E. C. (2018). Escenario de Desarrollo Energético Sostenible en Colombia 2017-2030. *AVANCES: INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA*, 15 (1), 329-343. DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.4743>

Resumen

La política energética acerca de la integración de planes de eficiencia energética y energías renovables tienen impactos a corto, mediano y largo plazo en la competitividad y productividad de Colombia. Este artículo construye un escenario energético entre 2017-2030 basado en planes de eficiencia energética con impacto en la curva de demanda de energía eléctrica. Adicionalmente, este escenario considera la integración de energías renovables para dilucidar aspectos claves de la matriz energética y sus implicaciones para Colombia en un contexto de crecimiento verde. Este artículo aplica una metodología de escenarios para caracterizar las alternativas energéticas basada en premisas vigentes y en perspectivas de desarrollo. Los resultados muestran una disminución de 6000 GWh a 2030 obtenidos por la aplicación de planes de eficiencia energética y un nivel de integración de FNCE de aproximadamente un 20%.

Palabras clave: Eficiencia energética, fuentes no convencionales de energía, planeamiento energético, crecimiento verde, desarrollo económico.

Abstract

The energy policy about the integration of energy efficiency plans and renewables has impacts on short, medium and long term in the competitive and productivity of Colombia. This paper builds an energy scenario between 2017-2030 based on energy efficiency plans and his impact on the curve of electricity demand. Additionally, this scenario considers the integration of renewables to dilucide key aspects for the energy matrix and his implications for Colombia in the context of green growth. This paper applies a methodology to characterize the energy alternatives based on prevailing premises and also on energy development perspectives. The results show a diminution of 6000 GWh to 2030 for energy efficiency plans, moreover, an integration level of 20% for FNCE.

Key words: energy efficiency, no-conventional sources, energy planning, green growth, deveploment.

1. Introducción

La sostenibilidad es un requisito para el desarrollo de los sistemas energéticos en la cadena de generación, transmisión y uso final de energía. La sostenibilidad del sector de energía eléctrica está relacionada con la sostenibilidad de la generación y la sostenibilidad en el uso final de energía eléctrica. En cuanto al lado del usuario final la eficiencia energética representa una oportunidad para aumentar la sostenibilidad a través de planes de gestión que permitan desarrollar el potencial de eficiencia energética a nivel residencial e industrial. En cuanto al lado del suministro de energía eléctrica, el desarrollo sostenible depende del nivel de integración de Fuentes no Convencionales de Energía (FNCE). Este artículo construye un escenario energético para evaluar el impacto de la eficiencia energética y la integración de FNCE en Colombia en el periodo de 2017-2030. La importancia

de los escenarios energéticos, radica en el análisis de posibles escenarios energéticos que permitan considerar niveles de integración de energías renovables conectadas a la red eléctrica y la gestión de planes de eficiencia energética, considerando las implicaciones sociales, ambientales, políticas y tecnológicas acordes al momento que vive el sector en la región.

En el contexto internacional, la Agencia Internacional de Energía ha elaborado escenarios energéticos relacionados con criterios de cambio climáticos. En el informe [1], se presentan dos escenarios posibles, donde se muestra una proyección de las emisiones de demanda energética global para dos escenarios. Uno es el escenario 6DG, en el cual se considera que no se tomas medidas correctivas y en ese caso las emisiones de CO₂ se incrementarían en 60% para el año 2050 respecto al año 2013, llevando las emisiones a un

nivel de 56 GtCO₂ y ocasionando un incremento de temperatura promedio de 5.5°C. El otro escenario, denominado 2DG, en el cual se alcanzan un nivel de emisiones anuales de 14 GtCO₂ para el 2050, es decir una reducción de las emisiones en casi 60% respecto al 2013, logrando limitar el incremento de la temperatura por debajo de 2°C. Según este estudio la integración de energías renovables (incluida la generación hidroeléctrica) puede contribuir en la reducción de aproximadamente el 30% de las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) y la eficiencia energética lograría contribuir en una reducción de 40% respecto al escenario de referencia. Es decir, en conjunto la ejecución de planes de eficiencia energética y la integración de energías renovables pueden contribuir a reducir el 70% de las emisiones de GEI para el año 2050. Por tanto, la eficiencia energética y las energías renovables son componentes imprescindibles de un sistema energético sostenible.

Por otro lado, la tendencia en países emergentes muestra que el consumo energético mundial se ha duplicado en los últimos 40 años, y que los combustibles fósiles representan aproximadamente el 80% de la energía consumida [2]. En Colombia la tendencia es similar pues el 75% de la energía consumida está relacionada con los combustibles fósiles [3]. Entre las causas que originan esta tendencia está el aumento de la población, el crecimiento de la economía mundial y el desarrollo industrial de los países emergentes [4].

Eficiencia energética a nivel nacional e internacional. Desarrollo e impactos

La eficiencia energética se define como la relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía [5]. Entre los beneficios eficiencia energética están: la reducción de la demanda de energía de la empresa a nivel micro y del país a nivel macro, la reducción de los costos de producción asociados al consumo energético, el incremento de la seguridad de las instalaciones energéticas de la empresa o del país, la reducción de las emisiones de los GEI, impulsa el acceso de la población a la energía pues la infraestructura puede expandirse y hace el sistema energético más resiliente al clima [6]. Esto ha hecho que la eficiencia energética pase de ser un "combustible oculto" o "quinto combustible" a "primer combustible".

La eficiencia energética puede ser incrementada por dos caminos. Uno es aplicando el cambio tecnológico, es decir equipos de alta eficiencia y tecnologías de optimización en los procesos productivos. El otro camino es la implementación de sistemas de gestión de energía, los que proporcionan una estructura para controlar el consumo de energía e identificar oportunidades para mejorar la eficiencia; actualmente existe un sistema de gestión energética normalizado de acuerdo a la norma ISO 50001 [3].

La aplicación de la tecnología de la eficiencia energética ha dado resultados alentadores a nivel mundial [7], estos son:

- La intensidad energética de la economía global continúa cayendo. Desde 2010, la intensidad ha disminuido a una tasa promedio de 2.1% por año, que es un aumento significativo de la tasa promedio de 1.3% entre 1970 y 2010; y el 2016 cayó un 1.8%. Esto significa que el mundo puede producir más PIB por cada unidad de energía consumida, es decir aumentar el PIB sin aumentar el consumo.
- La eficiencia energética está ayudando a remodelar el sistema energético mundial. En 2016, el mundo habría utilizado un 12% más de energía de no haber sido por las mejoras de la eficiencia energética desde 2000, lo que equivale a agregar otra Unión Europea al mercado energético global. La intensidad energética decreciente es el principal factor detrás del aplanamiento de las emisiones globales de GEI relacionadas con la energía desde 2014. Así la eficiencia energética combinada con el incremento del uso de las energías renovables ha compensado el impacto del crecimiento del PIB en las emisiones. Adicionalmente la eficiencia energética está reforzando la seguridad energética, así las mejoras de eficiencia desde 2000 evitaban gastos adicionales en importaciones de energía en muchos países.
- La mejora de la eficiencia energética ha reducido el gasto de los hogares en energía. Los aumentos de eficiencia energética ayudaron a los hogares de

todo el mundo a ahorrar de 10 a 30% de su gasto energético anual en 2016. Por ejemplo, en promedio, los hogares chinos habrían gastado un 25% más en energía en 2016 si no fuera por la eficiencia energética.

- La eficiencia energética industrial ha mejorado, debido al aumento del uso de los sistemas de gestión energética. El uso de energía por unidad de producción económica en el sector industrial se redujo en casi un 20% entre 2000 y 2016. La aplicación de sistemas de gestión energética, está creciendo, impulsada por incentivos políticos y financieros. Así el número de certificaciones para ISO 50001, creció a casi 12 000 en 2015, el 85% de las cuales se realizaron en Europa. La evidencia preliminar sugiere que las empresas que implementan ISO 50001 pueden lograr ahorros energéticos y financieros anuales superiores al 10%.

En Colombia, la ley que inició el desarrollo de la eficiencia energética en Colombia fue la Ley 697 de 2001, que declaró el uso racional y eficiente de la energía de la energía y la promoción del uso de energías renovables como un asunto de conveniencia nacional. Asimismo, esta ley creó el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía, PROURE, como entidad responsable de promover, organizar y asegurar el cumplimiento de esta ley. Posteriormente el Decreto 3683 de 2003 reglamentó esta ley y también la Resolución 180609 de 2006 definió los 10 subprogramas que conforman el PROURE. Es importante mencionar también la Resolución 18919

de 2010 que adoptó el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para implementar el PROURE en Colombia, con metas de cumplimiento en eficiencia energética para el 2019.

La Ley 697 y sus decretos y resoluciones de implementación crearon las condiciones para el desarrollo de la eficiencia energética en Colombia en el campo académico. Así Colciencias expide convocatorias específicas en el tema de URE, en este marco se crea el 2003 la Red Colombiana de eficiencia energética RECIEE formada por grupos de investigación de 10 universidades. El 2007 como resultado de proyectos financiados por Colciencias se publican herramientas para el aprendizaje y aplicación del uso racional de la energía y se presenta el Sistema de Gestión Integral de la Energía SGIE, como herramienta para implementar un sistema de gestión energética en empresas de Colombia [8].

De 2009 a 2012 el SGIE es aplicado a Ecopetrol y otras empresas en Colombia con resultados importantes. De 2011 a 2014 se desarrolla el Programa Estratégico Nacional de Gestión Energética, que aplicó el SGIE en 60 empresas del país, con los siguientes resultados: “La implementación de un sistema de gestión energética y de las nuevas tecnologías eficientes puede lograr los siguientes ahorros: entre 10% y 25% por gestión energética y de 5% a 30% por cambio tecnológico [9]”.

Desde el año 2014 con la entrada en vigencia de la Ley 1715, los organismos de planeación, UPME, y de regulación,

CREG, han expedido varias medidas de orden energético para lograr el objetivo de promover la gestión eficiente de la energía como medio para el desarrollo económico sostenible y la integración de FNCE (Fuentes no Convencionales de Energía), se han profundizado, con metas que incluyen la seguridad del abastecimiento energético y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Lo anterior nos permite mencionar que aplicando un sistema de gestión energética y planes de cambios tecnológicos en las empresas colombianas podría disminuirse el consumo energético en un rango conservador del 10% al 25%. Por lo tanto, es factible suponer que se logrará un ahorro del 10% si se profundizan las medidas de gestión energética y uso de equipos y tecnologías eficientes.

Fuentes no convencionales de energía renovable a nivel nacional e internacional. Desarrollo e impactos.

Energías renovables son aquellas cuyo recurso no se destruye y no genera gases de efecto invernadero durante el proceso de producción de electricidad. Entre los recursos renovables se encuentran solar, viento, geotérmica, oceánica y en algunos casos la bioenergía que contempla la biomasa y los biocombustibles. El caso de la generación hidroeléctrica corresponde a una fuente convencional y renovable de energía eléctrica. Este artículo usará el término FNCE para referirse, como lo define la Ley 1715 de 2014, a fuentes que usan recursos renovables no convencionales.

A nivel mundial, el rápido crecimiento en nuevas instalaciones solares fotovoltaicas y parques de generación eólica, están incrementando la capacidad instalada de tecnologías que usan recursos energéticos renovables, superando ya el 20% de recurso renovable utilizado para generación de electricidad [10], [11] y [12]. En tal virtud, ese 20% de la matriz energética mundial ha dejado de ser fósil por integrarse a la red con fuentes limpias, renovables y muchas de ellas recursos locales, mejorando la seguridad energética de muchas regiones. Ya existen pronósticos de estudios en 10 regiones mundiales, que aseguran que ese porcentaje se duplicará en mitad de siglo y podría alcanzar un 85% a 2050 [13]. Las centrales eólicas representan una de las tecnologías más económicas mientras la solar ha alcanzado la paridad de red en muchas latitudes, sin embargo, es una mezcla de diferentes tecnologías lo que permitiría alcanzar un mayor porcentaje [13]. Algunas investigaciones están reportando metodologías de evaluación del recurso. Ahí se analiza la utilización y optimización del recurso minimizando pérdidas y la ubicación y aumento de capacidad considerando la posible penetración de renovables a la red. Lo anterior utilizando fuentes limpias o renovables y la utilización de herramientas computacionales en la evaluación y simulación de recurso [14], [15], [16] y [17]. Por otra parte, el Reporte Global Futuro de Renovables REN21, dentro de un amplio rango de posibles proyecciones indica un 15-20 % de renovables a largo plazo, 2030-2050, siendo casi la misma porción que existe

actualmente (2017). Sin embargo, unas proyecciones más ambiciosas proponen entre 50-95%. Dichas consideraciones incluyen, redes inteligentes, tecnologías verdes en vehículos, tecnologías en edificios e industria.

A nivel regional, América Latina, aún utiliza un porcentaje de combustibles fósiles para producir electricidad, produciendo más de 1500 millones de toneladas de CO₂ por año [18]. Sin embargo, sigue siendo una de las regiones más ricas del mundo en recurso energético renovable, donde ya se utiliza la hidroeléctrica como tecnología predominante en la zona, pero posee además valores altos de recurso solar y eólico que apenas empieza a explotar. Los obstáculos que han impedido un mayor desarrollo están relacionados con “la energía renovable es muy costosa en comparación a los combustibles fósiles, pero es un mito. Entre 2009 y 2014 los costos de generación de energía solar han disminuido en un 80%; los costos de generación de energía eólica, alrededor de un 60%” [19]. Además, los avances en Costa Rica, Brasil, Chile, Uruguay, México, son resultado de entre otras cosas, que se han invertido más de 15 mil millones de dólares en energía renovable en la región, “actualmente, sólo el 6% de la energía en la región proviene de fuentes modernas como lo es la solar, eólica, biomasa o geotérmica. Sin embargo, se espera que para el 2050 esta cifra alcance el 20%”.

Lo anterior, ha abierto en Colombia, un amplio panorama en investigación, desarrollos y mercado alrededor de las

energías renovables. Algunos de los temas que empiezan a descubrirse van desde el análisis de recurso energético renovable, que considera los energéticos naturales aprovechables, la optimización del diseño, el análisis y la respuesta a la demanda, el uso de almacenamiento (baterías, volantes de inercia, supercapacitores, etc.) en sistemas aislados o en red, el diseño e implementación de micro-redes y las redes inteligentes, la resiliencia en redes eléctricas, profundizar en programas de acceso a energía sostenible y la inclusión de muchas más tecnologías de movilidad sostenible de bajo impacto ambiental, entre otras. Este entorno, crea por ello que en este artículo se responde a las siguientes preguntas: ¿Cuál será la demanda de energía en Colombia y la matriz de energía para suplir la demanda?, ¿Cuál es el aporte de las renovables? Entre las soluciones cercanas, muchos países ya están ejecutando planes de desarrollo energético que los lleva a obtener un 20% de renovables al 2020 o 2030, entre ellos Alemania, Italia y España. Todo esto modificaría el dinámico mercado energético colombiano, para lo cual se deben crear diversos y cambiantes escenarios energéticos, como se pretende mostrar en este artículo

Un 70.41 % de la electricidad producida en Colombia, proviene de plantas hidroeléctricas, en 2016, con el largo periodo del fenómeno del niño, los embalses llegaron a mínimos históricos [20]. Sin embargo, las agencias energéticas en Colombia, lideradas por el Ministerio de Minas y Energías, están

impulsando un mediano plazo otras tecnologías que den origen a una matriz diversificada. La planificación de nuevas centrales eléctricas y el desarrollo debe responder claramente a esta situación. El potencial de energía es importante en Colombia. Un ejemplo particular, en uno de los departamentos colombianos, el Valle del Cauca, tiene alrededor de 680 MW de capacidad instalada en centrales de generación hidroeléctricas y unos 300 MW de térmicas. Su demanda energética está cerca de 3.1 TWh y es creciente [21]. La superficie del Valle del Cauca es de 22.140 km², en cuanto al área cultivada son aproximadamente 6000 km² [22]. Está subdividido en los diversos pisos térmicos, cálido 47%, templado 34%, y otros. La región de valle físico es de unos 3.000 Km² [23]. Ahora, con un nivel de integración del 10% de esa área, es decir utilizando unos 300km², podrían generarse unos 45 MWp con paneles de 300W.

El costo del servicio de una tecnología energética, es la suma de factores técnicos, administrativos, y comerciales. Primero, éste considera los costos de la inversión (equipos instalados, la mano de obra, etc.), luego la administración y gestión y finalmente el costo del kWh (kilovatio por hora), en el mercado en aras de protegerlo contra monopolios y mantenerlo estable. Pero la energía solar fotovoltaica, instalada cerca del usuario, es generada en el mismo sitio donde se consume, sin líneas de transmisión y reduciendo así pérdidas en el sistema, lo cual debe reflejarse en el costo unitario del kWh.

Sobre el costo del kWh proveniente de energías renovables como la solar, ya en otros países del mundo, el mercado reporta que la energía solar bajó de los 5 centavos por dólar. Esto es acorde a lo definido por el Departamento de Energía y el programa Solar Energy Technologies Program (SETP) que establecen una meta, reduciendo el Costo Nivelado de Electricidad (Levelized Energy Cost - LEC) para 2015 que está entre USD\$0.06/kWh a USD\$0.08/kWh para sistemas fotovoltaicos para el sector comercial y \$0.08/kWh a \$0.10/kWh para el sector residencial. Esto sucede en un país que está impulsando seriamente las renovables, sin dar espera a crisis energéticas y considerando un crecimiento del sector fotovoltaico que alcanzará 70 GW a 100 GW para el 2030 (www.ecmweb.com). Además, en el país norteamericano, ya se alcanzó la denominada Paridad de Red, que es lograr que el valor del precio de una fuente renovable sea similar (par) al de la red y es que se alcanzó un acuerdo para venta de energía de una planta solar fotovoltaica a 3.87 cts/kWh (www.bloomberg.com).

2. Metodología

El objetivo de construir y desarrollar escenarios energéticos consiste en crear marcos de referencias contextuales para explorar alternativas energéticas, de esta manera, es relevante definir el contexto de análisis en términos de las principales fuerzas y la incertidumbre inherente, para así proceder a la construcción de los escenarios energéticos y realizar la

evaluación correspondiente. El desarrollo de los escenarios energéticos sostenibles en Colombia aplica una metodología de seis (6) fases que incluye la identificación, priorización y caracterización de la incertidumbre, adaptada de [24], que es presentada a continuación:

Fase 1: Identificar y definir el tema específico. La primera fase para el desarrollo de los escenarios identifica y define el tema específico de interés para explorar y evaluar a través de los escenarios prospectivos. Los escenarios energéticos son construidos alrededor del tema específico, de tal manera, que las diferentes perspectivas sean representadas y capturadas en la construcción de los escenarios. En este artículo, el tema específico aborda interrogantes acerca de la integración de fuentes de energía eléctrica renovables y de los planes de eficiencia energética en Colombia, dentro de los cuales se destacan:

- ¿Cuál sería el nivel de integración de las fuentes renovables en los escenarios prospectivos bajo diferentes circunstancias económicas y tecnológicas?
- ¿Cuáles serían las expectativas de integración bajo las condiciones del caso base?

En particular, el tema específico refleja la incertidumbre de las alternativas energéticas con integración de fuentes renovables y de planes de gestión energética. Por tanto, los escenarios permitirán dilucidar específicamente acerca del nivel de integración según decisiones energéticas.

Fase 2: Listar los criterios más relevantes en el contexto de análisis. Con el tema específico definido, esta fase consiste en determinar una lista de criterios o factores relevantes en el sistema energético en Colombia. El objetivo principal de esta fase consiste en definir interacciones y elementos para ser incluidos en la construcción de los escenarios y de esta manera determinar las perspectivas de análisis.

- Integración de fuentes no convencionales de energía eléctrica en la matriz energética de Colombia
- Integración de las estrategias de eficiencia energética en la curva de demanda en Colombia

Fase 3: Evaluar los criterios por importancia e incertidumbre. Dado el alto nivel de interrelaciones en términos económicos, tecnológicos, políticos y sociales de los sistemas de energía, y considerando la lista de criterios definidos en la fase 2, tanto la integración de FNCE como la integración de estrategias de eficiencia energética son aspectos determinantes para el desarrollo energético sostenible de Colombia.

Fase 4: Construir escenarios. Dada la evaluación de la fase 3, el objetivo de esta fase está enfocado en la generación y construcción de escenarios que representen diferentes características de incertidumbre alrededor del tema focal de interés. Esta fase incluye hacer explícita la relación y/o conexión entre los escenarios para evaluar criterios críticos antes seleccionados.

Fase 5: Desarrollar los escenarios alrededor de las incertidumbres críticas.

Esta fase consiste en desarrollar los escenarios construidos previamente para proveer análisis y evidencia de temas relevantes basado en la prospección del sistema energético. Requiere de información deducida en las fases 2 y 3. Otros estudios han desarrollado estudios de escenarios energéticos a Colombia con proyecciones a 2050 [25], el ideario energético publicado por la UPME [26] propone varios escenarios energéticos. Este artículo realiza un escenario de prospección a 2030. El escenario ha sido construido con la herramienta LEAP (Long Energy Alternative Planning) [27].

3. Resultados

En este capítulo se presenta el escenario de referencia y un escenario sostenible que incluye la integración de FNCE y estrategias de eficiencia energética. Ambos escenarios energéticos han sido realizados en el periodo de tiempo 2017-2030 que coincide con planes nacional de política energética en el contexto de crecimiento verde. Los escenarios energéticos están construidos sobre premisas de la demanda de energía eléctrica y sobre premisas del despacho de generación de energía eléctrica.

3.1 Escenario de referencia

El escenario de referencia pretende desarrollar la alternativa energética correspondiente a un desarrollo que

sigue la tendencia usual o típica de las últimas décadas en Colombia. Acorde a la discusión anterior, la generación de energía eléctrica en Colombia proviene de centrales hidroeléctricas en un 60% y de centrales térmicas en un 35%. De esta manera, la premisa principal de este escenario está centrada en que durante el periodo 2017-2030, la matriz de energía eléctrica conserva la distribución histórica en el aprovechamiento del recurso hídrico y el recurso térmico. Este escenario contempla niveles bajos de integración de FNCE en el sistema interconectado nacional. Respecto a la agregada del SIN, se ha considerado un crecimiento del 3% en el periodo de análisis. Según los registros históricos de la demanda de energía eléctrica, durante los años 2005, 2006 y 2007, el crecimiento de la demanda fue 4.1%, 4.2% y 4.0% respectivamente. Sin embargo, durante 2008, 2009, 2010 y 2011 el crecimiento disminuyó a valores del 1.6%, 1.8%, 2.7%, 1.6%, respectivamente. La tabla 1 muestra el valor agregado de energía eléctrica y los valores de crecimiento anual.

De esta manera, el escenario de referencia se ha construido considerando un aumento del 3% anual de la demanda, que corresponde a la tasa de crecimiento considerada por la CREG en los planes de remuneración de la actividad de distribución, también podría considerar una tasa promedio de acuerdo a los valores históricos.

Respecto a la generación, este escenario considera una participación similar a la actual, en donde la generación

Tabla 1. Demand for electric energy 2005-2016.

Año	GWh	%
2005	48,820	4,1%
2006	50,815	4,2%
2007	52,853	4,0%
2008	53,870	1,6%
2009	54,679	1,8%
2010	56,148	2,7%
2011	57,155	1,6%
2012	59,370	3,8%
2013	60,890	2,8%
2014	63,571	4,4%
2015	66,174	4,2%
2016	66,315	-0,2%

Fuente: Elaboración propia con información de Informe XM, 2017

proviene principalmente de centrales hidroeléctricas (60%) y centrales térmicas (30%). Este escenario refleja que el desarrollo del sector eléctrico colombiano a 2030 no cambia de manera significativa, de tal manera, que la demanda de aproximadamente 108,000 GWh en 2030 es cubierta con una combinación de centrales hidroeléctricas y centrales térmicas. La Fig. 1 muestra la generación de energía eléctrica en el periodo 2017-2030. De la demanda total, 25,000 GWh aproximadamente en 2030 serían generados con recursos convencionales, gas natural y carbón, en particular, 15,000 GWh aprovechando recursos de gas natural y 10,000 GWh a partir del aprovechamiento del carbón. La Figura 2 muestra la disponibilidad de cada tecnología en el periodo de análisis.

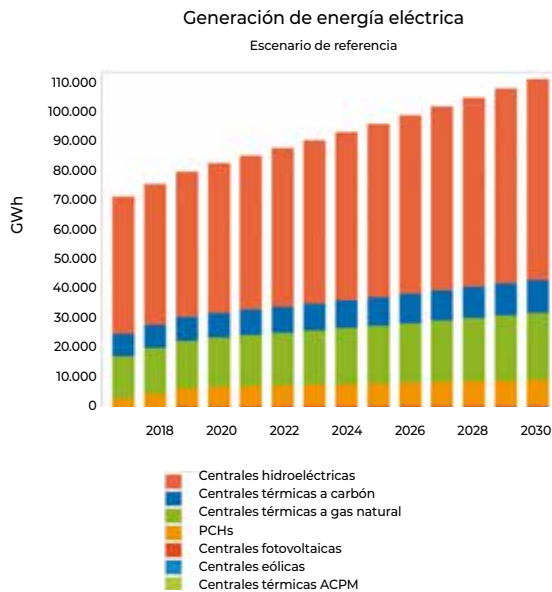


Figura 1. Generación de energía eléctrica para 2017 - 2030.

Fuente: Elaboración propia

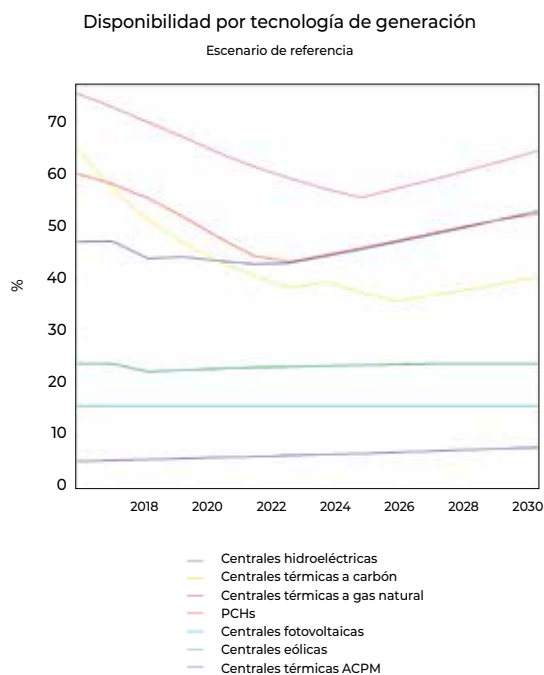


Figura 2. Disponibilidad por tipo de tecnología de generación entre 2017 y 2030

Fuente: Elaboración propia

3.2 Escenario sostenible: integración de FNCE y planes de eficiencia energética

Este escenario considera una alternativa de desarrollo energético para Colombia construida alrededor del criterio de gestión energética a través de planes de eficiencia energética y la integración de FNCE. Respecto a los planes de eficiencia energética, este escenario energético está construido en el impacto de los planes de eficiencia energética en la curva de demanda de energía eléctrica en Colombia. En términos de la operación del SIN, el parque de generación garantiza energía eléctrica de manera confiable, segura y económica durante todos los periodos, sin embargo, a través de la aplicación de la eficiencia energética la demanda en periodos pico podría disminuir y por tanto modificar el usual despacho económico de la generación, a un despacho más eficiente. Por tanto, el criterio para definir el impacto en la demanda se considera a través de una disminución sostenida en el tiempo de la demanda entre 3% y 2.55%, desacoplando el desarrollo económico de la tasa de aumento por energía eléctrica. Este criterio refleja el hecho de descubrir y desarrollar un potencial de eficiencia energética del 5% respecto a la demanda de energía eléctrica del caso de referencia y conservando la confiabilidad del sistema y suministrando energía eléctrica según los requerimientos de la demanda industrial y residencial. El despacho de la generación se ha programado en el periodo 2017-2030 de tal manera que las

centrales hidroeléctricas atienden la base de la demanda, las centrales térmicas a carbón atienden la demanda media y los picos, si se llegasen a presentar, son atendidos por las centrales térmicas a gas natural.

Respecto a FNCE son consideradas centrales fotovoltaicas y parques eólicos, así como pequeñas centrales hidráulicas (PCHs). Este escenario está construido alrededor de los proyectos inscritos en la UPME, los cuales entrarían en operación durante los próximos años. Esta premisa refleja que durante los próximos 2 años (2018-2020) las barreras regulatorias, financieras y operativas son superadas a través de la incorporación de planes de política energética que permiten crear las condiciones necesarias para que los proyectos en fase 1 avancen de manera satisfactoria y entreguen energía eléctrica en el SIN. Dada la incertidumbre vigente respecto al nivel de integración, discutida previamente en la introducción, este escenario se ha construido alrededor del potencial según los proyectos en fase 1, 2 y 3, aunque estos proyectos no se realicen, esta alternativa considera el valor de la capacidad total como un indicador apropiado para construir y modelar esta alternativa energética.

Con las consideraciones mencionadas, la Fig. 3 muestra la generación de energía eléctrica para la alternativa de desarrollo sostenible. Dados los planes de eficiencia energética, la demanda por energía eléctrica a 2030 disminuiría de 108,000 GWh a 102,000 GWh. La premisa central está en que la demanda de energía del

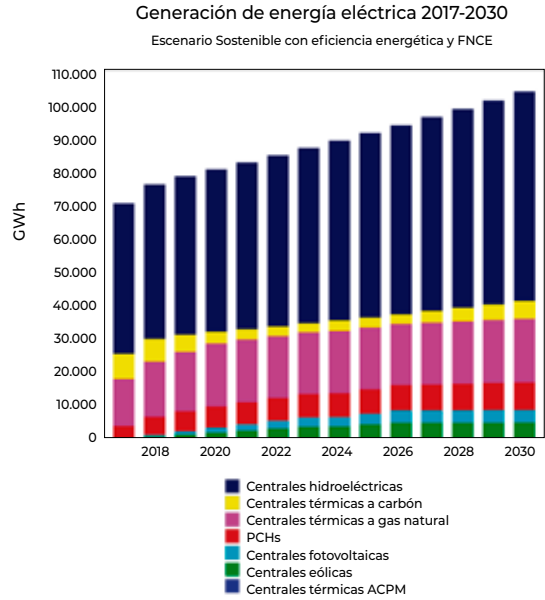


Figura 3. Disponibilidad por tipo de tecnología de generación entre 2017 y 2030

Fuente: Elaboración propia

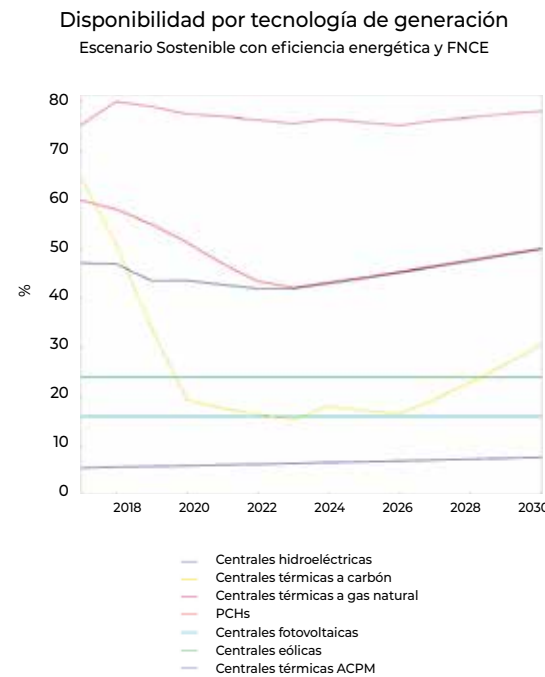


Figura 4. Disponibilidad por tipo de tecnología de generación entre 2017 y 2030

Fuente: Elaboración propia

escenario de desarrollo sostenible cubre los requerimientos por energía eléctrica del caso de referencia del país a través de niveles del uso final eficiente. El 20% de la generación sería producida por FNCE. La Fig. 4 muestra la disponibilidad de cada tecnología de generación durante el periodo de análisis.

4. Conclusiones

Este artículo ha mostrado las perspectivas energéticas del sector de la energía eléctrica a través de la comparación de un escenario de referencia y un escenario denominado sostenible porque incluye la integración de planes de eficiencia energética a través de la disminución en la tasa de crecimiento de la demanda de energía eléctrica en el SIN. El escenario también incluye la integración de FNCE, principalmente de centrales eólicas y de centrales solares fotovoltaicas de acuerdo los proyectos en fase 1, fase 2 y fase 3. Los principales resultados se evidencian en una disminución de 6000 GWh a 2030 por planes de eficiencia energética y el otro resultado principal se encuentra en la participación de FNCE en la generación a 2030 con una participación en la matriz energética del 20% aproximadamente con desplazamiento de centrales térmicas a carbón y requerimiento de gas natural como combustible para centrales de generación.

La metodología de escenarios pretende revelar impactos en la toma de decisiones de orden energético, sin una pretensión de realizar pronósticos acerca de la demanda y/o generación. Sin embargo, los escenarios propician

el análisis de premisas e impactos a mediano y largo plazo.

Este artículo ha desarrollado una herramienta de análisis conceptual para realizar prospecciones energéticas para dilucidar los impactos por el desarrollo energético de acuerdo a niveles de integración de FNCE y reducción en el crecimiento de la curva de demanda por la ejecución de planes de eficiencia energética.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico (DIDT) de la Universidad Autónoma de Occidente (UAO) por el apoyo en el desarrollo continuo de la investigación en el sector energético en Colombia.

Referencias

- [1] IEA (2017). *Key World Energy Statistics 2017*. IEA Publications. Chirat, France.
- [2] UPME (2015). *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050*. Publicado por la UPME. Disponible: http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf.
- [3] Castrillón, R., Quispe, E. C., González, A., Urhan & A. Fandiño, A. (2016). *Metodología para la Implementación del Sistema de Gestión Integral de la Energía. Fundamentos y casos prácticos*, Programa Editorial Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia.

- [4] IEA (2015). *Energy Technology Perspectives 2015. Mobilising Innovation to Accelerate Climate Action*. IEA Publications, Francia.
- [5] ISO (2011). *Energy Management Systems ISO 50001. Requirements with guidance for use*. ISO Publications, Ginebra, Suiza.
- [6] IEA (2015). *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*. IEA Publications, París, Francia.
- [7] IEA (2017). *Energy Efficiency 2017*. IEA Publications, París Francia.
- [8] Campos, J. C., Quispe, E.C., Prias, O., Vidal, J. R. & Lora E. (2008). El MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional. *El Hombre y la Máquina*, 30, 18 – 31.
- [9] RECIEE. Memorias Program Estratégico Nacional en Sistemas de Gestión Integral de la Energía 2010 – 2013. Colombia. Disponible en: <http://reciee.com/>.
- [10] Fethi Amri (2017). The relationship amongst energy consumption (renewable and non-renewable), and GDP in Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 62–71.
- [11] Xuyi Liu, Shun Zhang & Junghan Bae. (2017). The nexus of renewable energy agriculture environment in BRICS. *Applied Energy*, 204, 489-496.
- [12] Şener, S. E.C., Sharp, J. L & Anctil, A. (2018). Factors impacting diverging paths of renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81 (2), 2335-2342. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.042>.
- [13] IEA (2017). *Market Report Series: Energy Efficiency 2017*. IEA Publications, France.
- [14] Woldeyohannes, A. D., Woldemichael, D. E. & Baheta, A. T. (2016). Sustainable renewable energy resources utilization in rural areas. Review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 1-9. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116303409>.
- [15] Cavicchi, J. (2017). Rethinking government subsidies for renewable electricity generation resources. *The Electricity Journal*, 30, (6), 1-7.
- [16] Nematollahi, O., Hoghooghi, H., Rasti, M. & Sedaghat, A. Energy demands and renewable energy resources in the Middle East. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1172-1181.
- [17] Hafez, O. & Bhattacharya, K. (2012). Optimal planning and design of a renewable energy based supply system for microgrids. *Renewable Energy*, 45, pp. 7-15.
- [18] IEA (2013). *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*. IEA Publication, Paris, France.
- [19] WWF (2014). *Líderes en Energía Limpia: Países Top en Energía Renovable en Latinoamérica*. WWF International, Gland, Suiza.
- [20] Sistema de Información Eléctrico Colombiano. Consultado 16 Julio de 2017, en: <http://www.siel.gov.co>.
- [21] Cámara de Comercio de Cali. Consultado 21 de Julio de 2017, en:

- <http://www.ccc.org.co/file/2015/07/Enfoque-Competitivo-Mercado-de-Energia.pdf>.
- [22] Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano (2014). *Informe minagricultura 2014*. Consultado 21 de Julio de 2017, en: <http://www.agronet.gov.co/Documents/Valle%20del%20Cauca.pdf>.
- [23] Alcaldía de Santiago de Cali. Consultado 21 de Julio de 2017 en: http://www.cali.gov.co/publicaciones/227/datos_de_cali_y_el_valle_del_cauca/
- [24] Schwartz, P. (1996). *The Art of th Long View*. Ed. Doubleday Books for Readers, New York, EE.UU.
- [25] Gongora, A., Ducuara Y., & Moreno Chuquen, R. (2015). Escenarios Energéticos a 2050 Con Integración de Fuentes de Energía Eléctrica Renovables En Colombia. *Tecnura* 19, 83-89.
- [26] UPME (2015). Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050. Publicado por la UPME, Bogotá, Enero 2015, en: http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_ideario-energetico2050.pdf.
- [27] Heaps, C.G. (2012). Long-range Energy Alternative Planning (LEAP) system. [Software version 2015.0.1] Stockholm Environment Institute. Somerville, MA, USA. www.energycommunity.org.