

Características y determinantes de la demanda residencial de energía eléctrica en los Municipios del eje cafetero *

Characteristics and determinants of the residential demand of electric power in the Municipalities of the coffee region of Colombia

Carlos Alberto OSORIO DUQUE **

Héctor Mauricio SERNA GÓMEZ ***

Resumen: El mercado energético en Colombia, viene siendo objeto de estudio de gran interés ante la imperiosa necesidad de establecer los patrones de su funcionamiento, con miras a aportar elementos para los actores de la cadena de valor, desde la generación hasta la comercialización, por lo cual se hace un análisis de las variables principales que pueden determinar la demanda de energía eléctrica por parte de los hogares a nivel de los Departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda, encontrando que conforme a la teoría, la demanda se encuentra relacionada con la tarifa, sin embargo el uso de instrumentos de política energética para regularla tiene impactos en el corto plazo, lo que induce a programas de choque para lograr efectividad, así mismo queda evidenciado las limitaciones para explicar el crecimiento económico desde la demanda de los hogares, lo que arroja resultados contradictorios en las mediciones previas, siendo complementario la tendencia a que en el mediano plazo se asista a un cambio en la estructura de consumo de los hogares en términos de la canasta energética provocado por una mayor conciencia ambiental por parte de las futuras generaciones.

Palabras clave: Demanda Energía Eléctrica, Crecimiento económico, Modelos VAR.

Abstract: The energy market in Colombia has been the subject of a study of great interest in view of the imperative need to establish the patterns of its operation, with a view to providing elements for the actors of the value chain, from generation

Este artículo de investigación corresponde a un producto de la investigación "Características y determinantes de la demanda residencial de energía eléctrica en los Municipios del eje cafetero". Para optar el título de Magister en Economía.

** Economista de la Universidad Libre Seccional Pereira, y candidato a Magister en Economía de la Universidad de Manizales. Correo electrónico: caosoriod@gmail.com

*** Administrador de Empresas de la Universidad Nacional de Colombia, Magister en Economía de la Universidad de Manizales. Actualmente es docente de la Facultad de Ciencias, Contables, Económicas y Administrativas de la Universidad de Manizales y Director del Grupo de investigación Economía Internacional, categoría A en COLCIENCIAS. Correo electrónico: hserna@umanizales.edu.co

to commercialization. An analysis of the main variables that can determine the demand of electrical energy by the households at the level of the Departments of Caldas, Quindío and Risaralda, finding that according to the theory, the demand is related to the tariff, without However, the use of energy policy instruments to regulate it has short-term impacts, which leads to shock programs to achieve effectiveness, as well as the limitations to explain economic growth from the demand of households, which yields results Contradictory in the previous measurements, with the tendency for a medium-term trend to witness a change in the household consumption structure in terms of the energy basket caused by a greater environmental awareness on the part of future generations

Keywords: Demand for electrical energy, economic growth, VAR models.

1 Introducción

La presente investigación, tiene sentido en momentos en que se hace imperativo el estudio y análisis de la economía para comprender el funcionamiento del mercado de la energía eléctrica, toda vez que el país afrontó recientemente una coyuntura de incertidumbre frente a la oferta de recursos hídricos que le imprimió la misma situación a la oferta energética, obligando al Gobierno a hacer uso de instrumentos económicos para incentivar en los hogares y empresas la regulación de la demanda, como único recurso de corto plazo para evitar un racionamiento como lo conoció Colombia en los años 90.

Es así como bajo el propósito de aportar elementos científicos al estudio de las relaciones de causalidad existentes en el funcionamiento del mercado energético residencial, se toman como objeto de estudio los Departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda para el período 2003-2015, para realizar dicha relación, de modo que contribuya tanto a la comprensión del tema como al diseño de políticas tendientes al logro de objetivos específicos relacionados con el mercado de energía eléctrica a nivel Regional, pues existen pocos estudios de esta cobertura geográfica, lo que puede convertirse en oportunidad para iniciar procesos de investigación asociados con la economía de la energía regional.

Es así como el presente trabajo se ocupa de evaluar a la luz de evidencia empírica, las relaciones de causalidad existentes entre el consumo de energía eléctrica de usos residenciales, el crecimiento económico y la tarifa donde una vez realizado un análisis descriptivo de dichas variables, se define mediante el soporte teórico desarrollado hasta el momento, una propuesta metodológica para abordar desde la aplicación de un modelo de series de tiempo desde la perspectiva propiamente dicha.

Frente a este tema existe amplia literatura asociada a dichas relaciones de causalidad, sin embargo los resultados obtenidos tienen a diferir dependiendo del contexto socio económico e institucional en que se realicen y de las variables utilizadas, pues existe una prevalencia a entender la demanda de energía bajo un concepto amplio que no se restringe exclusivamente a la energía eléctrica, aun cuando algunos trabajos son explícitos en tratarlo de esta manera, por lo tanto se han tenido como referente una serie de estudios en ambas direcciones, no obstante, se aborda de manera explícita el comportamiento de la demanda de energía eléctrica desde la perspectiva de su relación con el crecimiento económico y la tarifa pues existen diferentes posturas metodológicas que establecen sus propios mecanismos de acción de política pública energética.

En el ejercicio de validación econométrica se recurre a realizar la modelación de las variables demanda de energía eléctrica residencial, tarifa media y crecimiento económico Departamental, mediante el uso de un modelo VAR en virtud de la consideración de la característica endógenas en las variables seleccionadas, permitiendo esto capturar más apropiadamente sus movimientos y dinámica de

sus interrelaciones de corto plazo, además que permite una vez superadas las respectivas pruebas, generar pronósticos confiables en el corto plazo, lo que se convierte en un avance técnico que aportaría a los agentes del mercado y especialmente a los usuarios.

La pretensión de esta investigación radica en la búsqueda de evidencias que puedan permitir modelar las relaciones de largo plazo entre la demanda de energía y la actividad económica así como la tarifa, permitiendo de acuerdo a los resultados obtenidos el diseño de instrumentos económicos para regular la demanda en los casos que se requiera.

Es así como desde este tipo de estudios se pueden encontrar luces frente a la manera cómo se podrá en el futuro comportar la demanda en el caso que posteriormente se desee avanzar hacia prospectiva del mercado energético, donde se incluya el análisis de los precios, el comportamiento creciente pero racional de la demanda, las expectativas de la oferta y en general del funcionamiento del sector energético que entre otras cosas, se ha venido cualificando con el paso del tiempo y ahora requiere de información de mejor calidad para la disminución de incertidumbre tanto para las empresas generadoras como las encargadas de la distribución y por supuesto de las compañías comercializadoras que finalmente se encuentran en contacto directo con los usuarios.

Mediante el uso de herramientas de análisis econométrico y el acervo teórico se avanza en la ampliación del conocimiento frente al comportamiento de los usuarios del servicio público de energía eléctrica y su nivel posible de respuesta ante incrementos en los precios, sin embargo también se alcanza a determinar el nivel de demanda asociado al mejoramiento de las condiciones económicas, siendo claro que este tipo de aproximaciones conceptuales permiten el diseño de instrumentos económicos para la regulación de la demanda en momentos que sea necesario.

2 Marco conceptual

Con el fin de avanzar de manera integral al abordaje del comportamiento del consumo de energía eléctrica por parte de los usuarios especialmente de tipo residencial, se realiza una revisión de literatura desde dos perspectivas, coherentes con los enfoques en los que se ha analizado el tema, lo que permite afinar las variables que serán utilizadas para el ejercicio y lograr las explicaciones propias de cada uno, toda vez que si bien existen relaciones de causalidad fuerte entre el crecimiento económico y la demanda, también es claro que los usuarios responden a las señales del mercado mediante la tarifa, lo que ha ocupado el debate alrededor de la importancia de generar crecimiento de la economía para promover el consumo, por lo tanto es importante enfocar la presente investigación sobre estas corrientes de análisis.

2.1 Elasticidad precio de la demanda en el bien energético

La importancia de evaluar las condiciones que rodean la demanda de energía eléctrica residencial, surge como una necesidad imperiosa de generar espacios de investigación alrededor de la manera cómo funciona el mercado energético desde la perspectiva de los hogares, de manera que sirva como elemento que ayude a la toma de decisiones por parte de las empresas que hacen parte del mercado así como para el gobierno, en momentos en que los recursos energéticos se tornan de vital importancia por las condiciones de escasez que empiezan a evidenciar.

Es así como se ha podido establecer de acuerdo con los diferentes referentes investigativos, que se encuentran diferentes posturas conceptuales alrededor de los mecanismos que harían modificar el comportamiento del consumo por parte de las familias, desde la perspectiva de su reacción al precio o tarifa.

Ejercicios pioneros en el tema, han logrado la identificación de los determinantes del consumo de energía eléctrica para uso residencial, indicando que es factible implementar políticas de incentivos a la demanda como estrategia para hacer frente a los shocks negativos de oferta, (Agostini, Plottier y Saavedra, 2011), entendiendo que la se trata de una demanda derivada, siendo esto evidenciado una elasticidad precio entre -0,38 y -0,40, indicando que es posible el establecimiento de acciones vía demanda, toda vez que los hogares responden ante incrementos en los precios, teniendo en cuenta que la elasticidad cruzada respecto al gas licuado se ubica entre 0,14 y 0,16, indicando que existen algunos grados de sustitución entre las alternativas disponibles frente al consumo de energéticos.

Plantean igualmente que es importante analizar que calculada la elasticidad ingreso (0,11) expresa un incremento de la demanda asociada al mejoramiento de la renta en los hogares, atribuible a mayor cantidad de satisfactores que puedan requerir el uso de la energía eléctrica, siendo indispensable comprender que la demanda podría regularse de manera más eficiente por la vía de tarifas tanto de energía eléctrica como de los sustitutos.

Desde un enfoque encaminado hacia el pronóstico de la demanda de energía eléctrica, se logra establecer una relación importante con el crecimiento económico (Barrientos, Olaya, González, 2007), que avanza en un ejercicio para modelar y pronosticar la demanda horaria de energía eléctrica según día de la semana, mes y año, en el Valle del Cauca, así mismo se apoya en Fernández (2006), que realiza un análisis de regresión de la demanda de energía de los hogares en función de precio y características socio económicas de las familias.

Para otros autores, el consumo de energía es realmente una demanda derivada de los bienes que la requieren para funcionar, por lo tanto su comportamiento está asociado con su stock y sus características tecnológicas (Benavente,

Galetovic, Sanhueza, Serra, 2005), es así como se encontró que en el corto plazo el incremento del precio de la energía induce cambios en la intensidad de uso de aparatos, pero en el largo plazo puede modificar el stock hacia equipos de menos consumo, de manera que la demanda residencial por electricidad se modifica con el ingreso, de modo que en el corto plazo un incremento en un 10% en el índice de actividad económica produce un incremento aproximado en la demanda del 0,71%, siendo mayor en el largo plazo (1,8%), de modo que la elasticidad-ingreso de corto plazo sería de 0,079 y de 0,2 en el largo plazo, hallazgos consistentes con otros estudios que han evidenciado que los hogares responden ante precios en la demanda de energía, y que el crecimiento del ingreso tiende a aumentar también el consumo de energía, siendo importante en este enfoque la energía eléctrica se convierte en servicio conexo al stock de activos en hogares que requieren energía para su funcionamiento, es así como una vez estimada la elasticidad precio de la demanda residencial de energía eléctrica es se encuentra en -0,0548 en un mes y -0,39 en el largo plazo, explicando esto que los cortes de energía son innecesarios en condiciones de déficit, pues la demanda residencial de energía eléctrica es sensible a los precios de los sustitutos, contrario a la creencia que la elasticidad de la demanda es de magnitud suficiente para manejar una escasez de energía sin racionamientos.

Si bien se ha extendido amplia literatura económica alrededor de la demanda de energía eléctrica doméstica, también ha sido evaluado el comportamiento de la demanda en el sector industrial, es así como se avanzó en la construcción de un cuerpo teórico empírico, modelando los comportamientos de la demanda de energía eléctrica en la industria colombiana (1970-1983), evaluando los determinantes económicos de la demanda industrial en Colombia (Botero, Castaño, Vélez, 1997), encontrando que en el largo plazo, el consumo de energía eléctrica se encuentra asociado con el stock de capital del sector productivo, lo que explica la relativa estabilidad en el corto plazo de la demanda, sin embargo es claro que por tratarse de unidades empresariales de carácter industrial, la energía tiene la característica de insumo, razón por la cual los empresarios responden con procesos de diversificación y sustitución por fuentes alternas de acuerdo a los precios de cada modalidad.

En la ciudad de Medellín, se determinaron funciones acordes que modelaran la serie histórica de datos de consumo de energía eléctrica residencial, comercial e industrial para un periodo de 24 horas, en busca de evaluar parámetros relacionados con la calidad del servicio y picos de demanda durante el día de acuerdo a los diferentes usos (Tabares, Hernández, 2008), aún a sabiendas de las amplias dificultades en la consecución de información, aplicando la herramienta de redes neuronales artificiales, se logran aportar elementos de análisis del sistema eléctrico para evaluar de manera eficiente los cambios en los consumos de acuerdo a las demandas de los diferentes sectores y el impacto que tendría una falla, toda vez que existen picos específicos de uso que presionan el sistema por demandas en momentos diferentes del día, concluyendo igualmente

que la calidad de servicio de un sistema eléctrico está adquiriendo especial importancia en el mercado.

El mercado de energía eléctrica en Colombia ha sido ampliamente investigado desde las diferentes aristas de la demanda, (Velásquez, Franco, García, 2009), evalúan varios sistemas de predicción de energía eléctrica en horizonte de un mes, encontrando que una red neuronal pronostica la demanda con mayor precisión que el modelo ARIMA y el perceptrón multicapa, siendo por lo tanto recomendado su uso, sin embargo no agota las posibilidades de generar modelos que permitan los mismos niveles de precisión en las estimaciones, en donde podrían explorarse modelos híbridos, toda vez que ante la dinámica del mercado energético en Colombia, tanto en el pasado presente como en el futuro próximo, se hace necesario el estudio de los elementos que se encuentran relacionados con el mercado, tanto desde la perspectiva de la oferta como de la demanda, pues existen riesgos de suministro en algunos escenarios, los cuales deben ser evaluados previamente por las autoridades a fin de diseñar instrumentos de política que pueda regular la demanda en el momento que se necesite, de aquí la relevancia de los modelos que mejor se aproximen a la predicción de la demanda de manera adecuada.

Con respecto al análisis de la demanda de energía con miras a los indicadores de confiabilidad de largo plazo, estas investigaciones aportan importantes elementos para gestionar la incertidumbre que rodea las predicciones de demanda (Zapata, López, Rengifo, 2006), pues esta puede crecer o disminuir de manera irregular, asociado a variables de tipo económico, social y político, incluso factores de tipo climático, haciendo énfasis en que es posible realizar estudios de pronóstico para un año, así como estudios de modelamiento tratando de capturar patrones de consumo, que si bien difieren en su concepción y metodología de abordar, se tornan virtuosamente complementarios a la hora de lograr explicaciones precisas frente al comportamiento de la demanda.

Por su parte (Fréjus, Guibourdenche, sf), Incorpora el concepto de ergonomía cognitiva en el asunto del consumo energético desde el comportamiento y uso de los recursos al interior del hogar, lo tipifica como una conducta de consumo responsable de energía, estableciendo cómo la vida cotidiana puede propiciar conservación de energía, planteando un enfoque de economía y ecología, hacia el consumo energético de manera sostenible, basado en los hábitos de los hogares, dejando evidencias que ubican la demanda de energía como un tema de hábitos, educación y comportamiento de las personas, demostrado suficientemente en la más reciente crisis energética que ha tenido Colombia, donde fue posible mediante la combinación de instrumentos económicos con el aspecto cultural y educativo, hacer frente y lograr importantes niveles de regulación de la demanda energética.

En el ámbito de estudio de los factores determinantes de la demanda de energía eléctrica en los hogares, se encuentran estimaciones que indican que el precio

sirve para explicar con acierto en el corto plazo la demanda, mientras que el ingreso sólo es argumento para explicarla en el largo plazo (Morales, Luyando, Flórez, 2012), que de acuerdo al uso de una función Coob-Douglas, calculan los niveles de relación existente entre las principales variables analizadas como crecimiento demográfico, precio de la energía, el ingreso y de manera indirecta el clima.

2.2 Relaciones de causalidad crecimiento económico y demanda de energía eléctrica

Desde la perspectiva de la relación de causalidad de la demanda de energía eléctrica con respecto al crecimiento económico, ha emanado amplia literatura especialmente como elementos para el diseño de política energética, de esta manera (Rodríguez, Ventosa, 2016), encuentran nexos importantes de causalidad entre estas dos variables, que estudian tal comportamiento bajo 4 hipótesis, siendo en principio establecida la primera como el *enfoque de crecimiento*, donde la demanda energética causa crecimiento económico en una relación unidireccional, mientras tanto el *enfoque de conservación* establece que el crecimiento del PIB conlleva en la misma dirección un aumento de la demanda por energía lo que implica que el consumo de energía es subsidiario del desempeño económico, mientras tanto se establece igualmente el *enfoque de neutralidad* donde no se evidencian relaciones de causalidad y la de *retroalimentación* que define dicha relación en dobles direcciones.

La evidencia aun cuando no es concluyente, encuentra evidencias favorables a la hipótesis de crecimiento para ocho países, mientras que para el caso de 3 países los resultados apoyan la hipótesis de conservación, sin embargo se encuentra que en el caso de cinco países se observa una prevalencia por la hipótesis de neutralidad, aunque consideran los autores que deben ser revisados estos casos con cautela.

Es así como los autores, exponen dos puntos de vista opuestos en el debate pues algunos consideran la demanda de energía como un factor limitante del crecimiento económico y, por otro lado, la energía es neutral Solow (1978) y Denison (1985), lo que deja en evidencia una clara falta de consenso sobre la relación de causalidad entre estas dos variables, pues existen múltiples factores no considerados en los modelos que pueden influir en estas determinaciones, como las condiciones climáticas propias de los territorios, los hábitos de consumo, el nivel de desarrollo económico y el nivel de avance en nuevas formas de generación de fuentes alternativas, pero no se descarta que tenga relación con el uso de los métodos econométricos utilizados.

En términos generales se observa que aun cuando los estudios han reportado fuerte correlación entre el consumo de energía eléctrica y el crecimiento económico, el amplio uso de metodologías de abordaje, ha generado una serie de resultados contradictorios de causalidad, lo que deja el tema en un proceso de

búsqueda de consenso real frente a dicha relación de causalidad y no exenta de controversia y dificultades para su modelación.

De acuerdo al análisis metodológico mediante el cual se ha abordado el tema, se ha encontrado que en las dos últimas décadas, los modelos VAR, VEC y Panel de datos, han sido utilizados con mayor frecuencia, sin embargo optan los autores por la metodología de cointegración a través del modelo de corrección de errores para lograr explicar dichas relaciones de causalidad buscando relaciones de largo plazo, con datos de consumo anual de electricidad per cápita y PIB real per cápita (dólares de 2005 constantes) para 17 economías, con el fin de avanzar en su ejercicio empírico, encontrando que existe evidencia favorable a la hipótesis de crecimiento para Bolivia, Brasil, Canadá, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Panamá y Paraguay, lo que indicaría que en estos países, las políticas encaminadas a restringir el consumo de energía podrían afectar negativamente el crecimiento económico, por lo tanto, deben aplicarse con extrema cautela, así mismo encuentran evidencia favorable a la hipótesis de conservación para Colombia, México y los Estados Unidos, lo que indicaría que las políticas que apuntan a reducir el consumo de energía tienen poco o ningún impacto en el crecimiento, mientras tanto para Argentina, Guatemala y Venezuela, no se evidencia una relación a largo plazo entre el consumo de energía y el crecimiento de la economía.

En este sentido cabe resaltar que las condiciones propias de cada país tienden a generar resultados de causalidad diferentes, en razón tanto a condiciones asociadas con la geografía económica como a sus estructuras institucionales y políticas que pueden condicionar el funcionamiento del mercado energético específicamente.

En la misma línea de investigación (Romero, De Jesus, 2016), se enfocan en el estudio desde la perspectiva ambiental, analizan la relación entre el crecimiento económico y el consumo de energía utilizando la hipótesis postulada para la Curva Energía-Ambiental de Kuznets, haciendo uso de datos de panel para 22 países para el período 1990-2011, utilizando el concepto de consumo de energía absoluta como un indicador de presión ambiental, bajo la perspectiva del alto impacto en la generación de emisiones al medio ambiente, las estimaciones muestran que la hipótesis postulada para la Curva de Energía Ambiental Kuznets parece no aplicar para la región, al contrario los autores observan un crecimiento exponencial del consumo de energía a medida que crece la economía, lo que indicaría que este grupo de países se encuentran en una fase aún media de desarrollo.

El uso de la curva de Kuznets tiene sentido en la lógica de la literatura económica reciente, que indicaría una relación creciente entre el crecimiento económico y la presión ambiental hasta un punto en el cual se produce un giro donde aumentos en los niveles de ingresos producen menores indicadores de presión ambiental, basando dicha argumentación en Grossman y Krueger (1992), utilizando el

consumo de energía en este trabajo como el mejor proxy para medir la presión sobre el sistema ambiental y así establecer su consumo en relación causal con el crecimiento económico, pues incluso se encuentran asociadas con las emisiones de gases contaminantes.

Como elemento crucial de este enfoque, se encuentra la hipótesis que la *“degradación ambiental tiende a aumentar cuando hay un cambio de una economía agrícola a una economía industrializada, y de manera similar, la degradación tiende a disminuir con el cambio de la industrialización a una economía basada en servicios”*, (Kaika y Zervas), encontrando que no encuentran evidencia alguna de que la relación entre el crecimiento económico y el consumo de energía, a largo plazo, asuma una forma de U invertida para la región analizada, lo que rechaza la hipótesis postulada por la Curva Energética Ambiental de Kuznets, por el contrario se evidencia que para los países de la región que hacen parte de la muestra, el consumo de energía es muy sensible al crecimiento económico, tendiendo a mostrar una tendencia de rápido crecimiento a medida que el desempeño económico es mayor, concluyendo que el crecimiento económico exige para estos países grandes demandas de energía, de manera que las políticas de eficiencia energética pueden no ser capaces de contrarrestar las crecientes necesidades energéticas del crecimiento económico, lo que plantea retos en términos de cambios en las estructuras productivas más amigables con el medio ambiente.

Tibaa, Omrib, 2016, presenta de manera exhaustiva la documentación relacionada con la evaluación de las relaciones de causalidad entre energía, medio ambiente y crecimiento económico, para el período comprendido entre 1978 y 2014, donde son revisados tanto los países como los diferentes métodos econométricos utilizados, así como las conclusiones de los ejercicios de investigación relacionado con dichas variables (Uso de energía eléctrica, nuclear, renovables y no renovables y el crecimiento de la economía y el medio ambiente), encontrando nuevamente que dichos estudios no proporcionan resultados concluyentes de estas relaciones.

La revisión literaria supone que los modelos políticos han favorecido el crecimiento económico como ruta contundente para lograr el mejoramiento de las condiciones sociales, sin embargo las nuevas tendencias de las visiones indican que el crecimiento de la economía puede ejercer presión sobre la calidad ambiental, a través del consumo energético como un canal de transmisión, de hecho, la interacción entre el crecimiento económico, el consumo de energía y la calidad ambiental fue objeto de importantes debates académicos vinculados a la literatura sobre economía energética.

Se han dedicado no pocos esfuerzos académicos para estudiar la relación entre crecimiento económico, calidad ambiental y consumo de energía, los cuales no han estado exentos de debates de tipo académico que incluso han permeado el ámbito de la política, pues no existe pleno consenso frente a la dirección de las

externalidades que produce el crecimiento sobre la calidad ambiental, lo cual ha propiciado amplia divergencia desde las diferencias perspectivas y posturas académicas.

Mediante al análisis de persistencia y causalidad (Carmona, Congregadob, Feriab, 2016), aplican un marco metodológico que analiza la relación entre el consumo de energía y crecimiento económico en Estados Unidos, bajo la perspectiva de causalidad y persistencia, encontrando que con los datos disponibles se evidencia una relación no lineal entre consumo de energía y viceversa, además encuentran bajo el concepto de persistencia que los componentes cíclicos y naturales no evolucionan de manera independiente, señalando esto que las decisiones políticas orientadas a la reducción del consumo energético podrían tener impacto negativo sobre el crecimiento económico.

Plantea igualmente que cuando no existe causalidad entre crecimiento y consumo de energía o si se presente en una sola dirección, políticas de conservación de energía podrían no tener efectos negativos sobre el crecimiento, mientras que propiciaría mejoras ambientales, no obstante si aquella relación de causalidad es en doble dirección los efectos si tendrían impactos sobre la economía según dicha hipótesis , así mismo evalúa la persistencia como los efectos de largo plazo de las políticas energéticas, de modo que siendo el consumo de energía no es estacionario, los choques de política pueden considerarse permanentes; mientras tanto si se trata de una variable estacionaria, los choques económicos y políticos pueden considerarse transitorios: el nivel vuelve a su tendencia, poniendo en evidencia las características de las series de tiempo asociadas a dicha relación, siendo claro que el estudio desde el punto de vista metodológico aplica el modelo de componentes no observados, que estudia de manera simultánea tanto causalidad como persistencia.

Incorporan el análisis del comportamiento del consumo de energía mediante un modelo multivariado de componentes no observados, donde descomponen las variables en la suma de componentes (Natural no estacionario y estacionario), así mismo evalúa el concepto de persistencia del consumo de energía como de tipo mixto, bajo el criterio que existe en una serie de tiempo cuando un cambio en el componente cíclico induce un cambio permanente en el componente natural.

El estudio arroja hallazgos importantes frente a la existencia de una relación de causalidad bidireccional entre el consumo de energía y el crecimiento económico, sin embargo también consideran los resultados que estas han sufrido cambios entre períodos, por lo que sugiere que las políticas conservadoras de energía pueden tener impactos negativos en la economía.

Como aporte al debate existente en la relación de causalidad entre consumo energético y crecimiento económico, (Menegaki, Tansel Tugcuc, 2016) , proponen un índice de Bienestar económico sostenible para el África subsahariana,

haciendo una crítica al uso exclusivo del PIB como medida de actividad económica, se enfoca en calcular un índice de crecimiento sostenible del bienestar económico (ISEW, Capital, emisiones de CO₂, rentas, comercio e inflación) para 42 países del África subsahariana (SSA) para los años 1985-2013, encontrando evidencia de la hipótesis de retroalimentación cuando se utiliza el índice de bienestar económico en lugar del PIB, mientras tanto que bajo el modelo tradicional se presenta evidencia para la neutralidad.

Es por tanto destacable el estudio que estima el primer Índice de Bienestar Económico Sustentable (ISEW) para un total de 42 países de la región, así mismo analiza las relaciones de causalidad de Granger entre el crecimiento convencional y energía, incorporando además la estimación del nexo de crecimiento de la energía y un indicador más amplio de progreso y bienestar, pretendiendo proporcionar a los responsables de las políticas públicas ilustraciones sobre los impactos que tendría sobre el bienestar económico y social, las medidas de conservación de energía

En términos generales, la evolución de la demanda de energía eléctrica está estrechamente relacionada con la evolución de los diferentes sectores económicos de la sociedad, los avances tecnológicos encaminados al uso más eficiente y racional de la energía, la estacionalidad del clima, la estructura económica y empresarial de los centros urbanos, así como los comportamientos de las personas con respecto al consumo responsable de energéticos, lo que puede incidir en la caracterización de la demanda residencial de energía, así mismo siendo claro que se evidencian efectos sustitución por servicios que propician los mismos efectos, encontrando en el gas domiciliario el principal sustituto de la energía eléctrica especialmente en los hogares urbanos, lo que hace indispensable el estudio de manera integral.

Evaluando de manera integral la literatura alrededor de los determinantes de la demanda de energía eléctrica por parte de los hogares, se puede evidenciar que existe recurrencia en comprender que la demanda por energía eléctrica residencial se asocia con varios factores que son visibles en las investigaciones realizadas.

El precio de la energía es un determinante importante de la demanda, no obstante no hay consenso científico sobre su impacto en términos del corto o largo plazo y de los niveles de elasticidad precio de la demanda, sin embargo, es evidente que se trata de la variable más estudiada y sobre la cual se proponen instrumentos de política para regular el comportamiento de los hogares frente al consumo, especialmente en momentos en que la oferta es irregular, y con altos grados de incertidumbre, aun cuando no se recomiendan decisiones encaminadas exclusivamente a generar los incentivos para regular la demanda residencial.

Del mismo modo los ingresos de las familias definen los niveles de demanda, toda vez que hogares de mejores condiciones económicas tienden a procesos de acumulación de equipos cuyo consumo de energía es representativo, sin que el precio tenga alguna injerencia en el comportamiento de demanda, lo que significa que al incrementarse el ingreso familiar, la demanda de energía tiende a hacerlo en la misma dirección, sin embargo existen algunos elementos de la moderna sociedad que comienza a cambiar este tipo de relaciones o por lo menos a matizarlas en sus afirmaciones empíricas.

En momentos en que los precios de la energía eléctrica se han tornado especialmente altos y su oferta con mayor incertidumbre, en un contexto de nuevas fuentes alternativas (Gas, carbón, etc), la demanda tanto de los hogares como de las empresas, se ha movido entre sustitutos a fin de equilibrar los flujos de demanda, razón por la cual la demanda de energía eléctrica residencial, ha migrado hacia el gas en una gran proporción, motivado especialmente por un tema de precio.

Si bien la mayor cantidad de estudios se han concentrado en las variables anteriormente expuestas, los aspectos de tipo climático han comenzado a definir el comportamiento de consumo de los hogares por doble vía, en principio presionando hacia el alza la demanda por el mayor uso de sistemas de aire acondicionado que han comenzado a ser utilizados en zonas del mundo donde no era necesario anteriormente, como respuesta a veranos fuertes y prolongados, así como a épocas de lluvias y frío que requieren sistema de calefacción en las unidades de vivienda; mientras tanto la oferta se ha tornado con mayores niveles de incertidumbre lo que hace que en olas de calor se restrinja la demanda, en la mayoría de casos por cuenta de incentivos estatales para lograr este propósito.

Recientemente se viene observando que los comportamientos en general de consumo de las nuevas generaciones, se encuentran direccionadas por la responsabilidad ambiental, racionalidad en el gasto y un cambio estructural en los patrones de demanda, situación que no es ajeno para el mercado de la energía eléctrica, donde se comienzan a registrar que asociado a la incertidumbre que se presente en la oferta de energía, los hogares prefieran por esta razón regular su demanda, adoptando medidas de tipo altruista que contribuyan a disminuir el estrés del sistema energético Nacional, por lo tanto este factor se ha convertido en relevante cuando de explicar la demanda energética residencial se trata.

3 Datos y método

Una vez establecidas las variables que van a ser utilizadas para el estudio, así como su disponibilidad en las fuentes oficiales, se realiza un proceso de construcción de bases de datos, las cuales serán posteriormente tratada a la luz del enfoque conceptual del estudio.

3.1 Organización de la información

Con el propósito de estructurar la información necesaria para los 53 Municipios que hacen parte del eje cafetero, se ha diseñado una base de datos de demanda anual de energía eléctrica con las variables relacionadas de demanda y extractada del SUI (Sistema Único de información de la Superintendencia de Servicios públicos domiciliarios), para lo cual se obtienen 11.699 Registros con variables anuales desde 2003-2015, por lo tanto se construye una estructura de datos bajo los siguientes parámetros

Departamento:	Departamento (Caldas, Quindío, Risaralda)
Municipio:	Municipio correspondiente a la información
Año:	Año al que corresponden los datos
Zona:	(Urbana – Rural)
Empresa prestadora:	Empresa que presta el servicio
Tipo de usuario:	Residencial, comercial, industrial, oficial, otros
Estrato:	(1-2-3-4-5-6)
Suscriptores fin de año:	Suscriptores anuales
Consumo año:	kwh consumidos por año
Valor consumo:	Valor facturado total (Pesos)
Factura promedio:	Factura promedio por suscriptor (Pesos)
Consumo promedio:	(Kwh/Usuario)
Tarifa media:	(\$/kwh)

Por lo tanto para efectos del análisis descriptivo de las variables se procede a agregar a nivel Departamental el consumo de energía eléctrica y realizar una revisión a los comportamientos de acuerdo a los diferentes uso de la energía, sin embargo para efectos de la modelación econométrica se construye una serie de datos anuales (2003-2015), para cada Departamento indicando consumo total anual (Kwh), suscriptores promedio del año, consumo medio por suscriptor al año, tarifa media que se asimila al precio por kw y el crecimiento económico reportado para cada Departamento del eje cafetero.

Con la organización de 3 series de tiempo se realizan posteriormente los análisis del modelo econométrico propuesto sobre el cual se realizarán las inferencias a partir de los resultados y hallazgos encontrados.

A partir de los objetivos planteados en el proyecto y de acuerdo al tipo de investigación que se pretende realizar, es decir, determinar el Impacto del crecimiento económico y la tarifa promedio sobre el consumo de energía en los Departamentos del Eje Cafetero durante el periodo 2003-2015, se realiza un estudio de series de tiempo, para lo cual se requiere inicialmente una prueba de raíces unitarias, con el fin de determinar su grado de integración y posteriormente efectuar un análisis a partir de la elaboración de un modelo VAR(p), con lo cual se procura explicar la relación causal de las variables involucradas en el presente estudio; y de esta forma, se intenta contrastar el impacto que ha tenido

crecimiento económico y la tarifa promedio sobre el consumo de energía en el periodo señalado.

En general la información tuvo como referente específico, los datos registrados en el Sistema Único de información de servicios públicos (SUI), en el cual se unifica la información en Colombia sobre las variables principales relacionadas con los servicios públicos domiciliarios, así mismo se obtuvo la serie histórica de crecimiento económico Departamental que produce periódicamente el DANE como parte de las estadísticas oficiales del país, lo que permite aprestar la información para la realización de un modelo de tipo explicativo-causal; para lo cual se establecerán las relaciones de causalidad.

3.2 Metodología de análisis y contrastación

La naturaleza del trabajo se enfoca en la verificación de las relaciones de causalidad existentes entre la demanda de energía eléctrica en los Departamentos del eje cafetero, las tarifas y el crecimiento económico, bajo los criterios utilizados en los trabajos relacionados en el marco conceptual donde se establecen las diferentes metodologías aplicables pretendiendo encontrar dichas relaciones para el eje cafetero Colombiano, como aporte para el diseño de instrumentos de política energética y sus posibles impactos en las variables de tipo económico agregado.

Para determinar el impacto del Crecimiento Económico y la Tarifa Promedio sobre el Consumo de Energía en los Departamentos del Eje Cafetero durante el periodo 2003-2015, se parte de una función tipo Cobb-Douglas, se obtiene el **Modelo Económico a Estimar**, con el que se determinará dicha relación, de tal forma que;

$$C = A CE^{\alpha} PT^{\beta}$$

En donde,

C	Consumo de energía promedio por usuario (kwh/Usuario)
CE	Crecimiento económico anual Departamental (Var %)
PT	Promedio de Tarifa media (\$/Kwh)

Los valores α y β reflejan las elasticidades del consumo de la tarifa media y el crecimiento económico, los cuales de determinan por las relaciones de demanda entre estos dos factores vigentes.

Una vez definidas de acuerdo a la teoría económica las relaciones de causalidad establecidas entre las variables, se ajusta el modelo mediante una transformación logarítmica de manera que pueda ser corrido de la siguiente forma:

$$\ln C = \ln A + \alpha \ln CE + \beta \ln PT + \mu$$

Una vez corrido el modelo de regresión por mínimos cuadrados ordinarios para cada Departamento, se que en la relación inicialmente propuesta presenta que sus variables endógenas no son significativamente estadísticamente, resultando poco conveniente para explicar dicha relación de causalidad como se tiene establecida en el marco conceptual, por lo tanto, al observar la bondad del ajuste no se encuentra evidencia a favor de la modelación, siendo igualmente verificado que el estadístico Durbin-Watson evidencia problemas de autocorrelación salvo para el caso de las cifras correspondientes al Departamento de Caldas, lo que implica pruebas de estabilidad a las series de cada variable para lo cual fueron aplicadas como de manera tradicional se hace, las pruebas KPSS, PHILLIPS-PERRON y DICKEY FULLER que definen el nivel de integración en que se encuentran las variables, para posteriormente realizar un análisis a partir de un modelo autoregresivo.

Evaluadas las variables definidas, se encuentra que los mejores resultados que ajustarían el modelo se encuentran en la primera diferencia bajo la prueba ADF (Dickey-Fuller), incluso bajo las condiciones de intercepto y tendencia que se establecieron, encontrando argumentos así para determinar que el modelo requiere la utilización de rezagos y que es viable para poder continuar avanzando hacia la modelación bajo un vector auto regresivo.

En tal sentido, una vez realizada la verificación del modelo inicial en términos de la estabilidad en cada una de las series de tiempo (Estacionariedad), se caracterizan las interacciones entre el grupo de variables, conformando un modelo de ecuaciones simultáneas de forma reducida sin restringir; en otros términos, una vez realizadas las pruebas de estacionariedad se determinan las relaciones mediante un modelo de Vectores Autoregresivos, VAR.

Retomando el modelo inicial se tiene:

$$C = A CE^\alpha PT^\beta$$

Se realiza un proceso de linealización de los parámetros quedando:

$$\ln C_t = \psi_0 + \psi_1 \ln CE_t + \psi_2 \ln PT_t + \varepsilon_t$$

Ahora bien, dado que el modelo estimado en diferencias arrojó unos resultados que evidencian posibles relaciones espurias y ante el hecho que las series son I(1), se puede representar un modelo con mayores posibilidades de capturar la relación causal entre consumo de energía, crecimiento económico y la tarifa promedio a partir de la siguiente representación estructural;

$$\begin{aligned} C_t &= \varphi_{10} + \varphi_{11}C_{t-1} + \theta_{12}CE_t + \varphi_{12}CE_{t-1} + \theta_{13}PT_t + \varphi_{13}PT_{t-1} + \varepsilon_{1t} \\ CE_t &= \varphi_{20} + \varphi_{21}C_{t-1} + \theta_{22}C_t + \varphi_{22}CE_{t-1} + \theta_{23}PT_t + \varphi_{23}PT_{t-1} + \varepsilon_{2t} \\ PT_t &= \varphi_{30} + \varphi_{31}C_{t-1} + \theta_{32}C_t + \varphi_{32}CE_{t-1} + \theta_{33}CE + \varphi_{33}PT_{t-1} + \varepsilon_{3t} \end{aligned}$$

Por su parte, dado que el modelo estructural es una representación más ajustada al comportamiento de la economía, se puede reorganizar de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} C_t + \theta_{12}CE_t + \theta_{13}PT_t &= \varphi_{10} + \varphi_{11}C_{t-1} + \varphi_{12}CE_{t-1} + \varphi_{13}PT_{t-1} + \varepsilon_{1t} \\ CE_t + \theta_{22}C_t + \theta_{23}PT_t &= \varphi_{20} + \varphi_{21}C_{t-1} + \varphi_{22}CE_{t-1} + \varphi_{23}PT_{t-1} + \varepsilon_{2t} \\ PT_t + \theta_{32}C_t + \theta_{33}CE_t &= \varphi_{30} + \varphi_{31}C_{t-1} + \varphi_{32}CE_{t-1} + \varphi_{33}PT_{t-1} + \varepsilon_{3t} \end{aligned}$$

A partir de lo cual se puede obtener la siguiente representación matricial:

$$\begin{pmatrix} 1 & \theta_{12} & \theta_{13} \\ \theta_{21} & 1 & \theta_{23} \\ \theta_{31} & \theta_{32} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_t \\ CE_t \\ PT_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varphi_{10} \\ \varphi_{20} \\ \varphi_{30} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \varphi_{13} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} & \varphi_{23} \\ \varphi_{31} & \varphi_{32} & \varphi_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{t-1} \\ CE_{t-1} \\ PT_{t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \varepsilon_{3t} \end{pmatrix}$$

Finalmente, simplificamos:

$$BY_t = A_0 + A_1Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Con esta nueva expresión, se obtiene un **VAR(1)** que explica de forma clara y real la relación de causalidad entre consumo de energía, crecimiento económico y la tarifa promedio durante el periodo 2003-2015.

Sin embargo, dado que el modelo en forma estructural no se puede estimar directamente, se expresa en forma reducida de la siguiente manera;

$$Y_t = B^{-1}A_0 + B^{-1}A_1Y_{t-1} + B^{-1}\varepsilon_t$$

Con lo que finalmente se tiene el Modelo **VAR(1)** en forma reducida;

$$Y_t = \Gamma_0 + \Gamma_1Y_{t-1} + e_t$$

4 Resultados

A partir de los objetivos planteados en el proyecto y de acuerdo a las validaciones realizadas hasta el momento, aplicado el modelo tipo VAR(P), se logra explicar la relación causal de las variables seleccionadas y de esta forma contrastar el impacto que ha tenido el crecimiento económico y la tarifa promedio sobre el consumo de energía en el periodo señalado, permitiendo realizar pronósticos de las variables incluidas lo que permite sin duda avanzar en el estudio del mercado de energía eléctrica desde una perspectiva regional, aportando elementos para la toma de decisiones en niveles territoriales más específicos que el Nacional.

Una vez realizada la modelación para cada uno de los Departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda, se encuentra claro que existe relación de causalidad robusta entre el consumo promedio de energía eléctrica residencial en función de la tarifa media y el crecimiento económico para los Departamentos de Caldas y Quindío,

Modelo VAR Risaralda:

$$LCPM_R = 0.74 * LCPM_R(-1) - 0.094 * LPT_R(-1) + 0.02 * LCE_R(-1) + 2.42$$

[3.661] [-1.0640] [1.8431] [1.230]

$$LPT_R = -0.03 * LCPM_R(-1) + 0.83 * LPT_R(-1) - 0.025 * LCE_R(-1) + 1.33$$

[-0.093] [5.018] [-1.108] [0.363]

$$LLCE_R = -9.72 * LCPM_R(-1) - 4.11 * LPT_R(-1) + 0.20 * LCE_R(-1) + 96.14$$

[-1.805] [-1.733] [0.633] [1.831]

Se puede encontrar con evidencia que el modelo se muestra consistente con el consumo de energía en función del crecimiento económico y la tarifa, lo que indicaría que los instrumentos de política energética tendrían amplias posibilidades de ser efectivos para regular la demanda por la vía de tarifa, así como ha sido recientemente confirmado con el programa de “apagar paga”, que logró en momentos de incertidumbre en la oferta de energía regular con éxito la demanda, y también permite ver que el crecimiento de la economía tiene incidencia sobre el comportamiento de los agentes generando expectativas de consumo de bienes y servicios como se ha podido .

Desde el análisis gráfico, se observa que el modelo explica el comportamiento de las variables de forma adecuada, en la medida que todos los valores se encuentran por debajo de los valores críticos, situación que aporta elementos de análisis para confirmar la condición de estacionariedad de las series de tiempo y la no existencia de autocorrelación, lo que permite al modelo la capacidad de pronosticar los valores futuros a partir de comprender el consumo de energía eléctrica a partir del crecimiento económico y precio o tarifa de mercado, indicando para los Departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda, que satisface la teoría general de la demanda y confirmaría las elasticidades precio de la demanda e ingreso de la demanda, teniendo soporte para establecer que la energía eléctrica a pesar de ser un bien público se comporta como un bien normal, en parte puede explicarse por la existencia de sustitutos como el gas, carbón, energía solar, etc, que le imprimiera con el transcurso del tiempo una disminución a la condición de inelasticidad que se la ha atribuido históricamente.

El análisis impulso respuesta comúnmente utilizado para establecer los impactos sufridos por choques importantes de una variable con respecto a la otra nos indica para el caso del Departamento de Caldas para el período analizado que choques de crecimiento d la economía no tendrían efectos importantes sobre la demanda de energía ni sobre la tarifa, lo que confirma una vez más que el consumo de energía eléctrica por parte de los hogares depende en menor proporción de las condiciones económicas en el corto plazo.

Los ajustes tarifarios producen en el corto plazo disminuciones sobre el consumo, sin embargo existe una tendencia hacia que los hogares realicen los ajustes

correspondientes para hacer frente a esta situación lo que daría espacio para establecer que los choques tarifarios podrían darse con efectos de corto plazo, lo que indicaría que las políticas de regulación de la demanda tendrían efectos importantes en cortos horizontes de tiempo para lograr los propósitos esperados, de modo que cumplan la misión de dar señales contundentes para los usuarios, toda vez que estos tienden a ajustar con rapidez.

Dado los anteriores resultados, se construye un Vector Autorregresivo (VAR) para explicar el Impacto del crecimiento económico y la tarifa promedio sobre el consumo de energía en los Departamentos del Eje cafetero, adicionalmente, es apenas comprensible que existe una relación causal en ambos sentidos ya que un mayor crecimiento económico genera estímulos para un mayor consumo de energía y en forma simultánea lo que se traducirá finalmente en incrementos de la producción y por tanto en un mayor crecimiento económico.

5. Discusión de resultados

Una vez evaluados los resultados encontrados para los Departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda pertenecientes a la región cafetera de Colombia, frente a las relaciones de causalidad entre la demanda de energía eléctrica residencial, el crecimiento económico y la tarifa, vale la pena resaltar la utilidad evidente de los antecedentes investigativos frente a estos temas, pues han sido el soporte para el desarrollo del trabajo.

Se encuentra que el crecimiento económico no tendrían efectos importantes sobre la demanda de energía ni sobre la tarifa en un mediano plazo, lo que favorece el enfoque de neutralidad expuesto previamente, situación que tiene sentido en la medida que el consumo residencial se comporta bajo la perspectiva de un servicio público, esto significa que los hogares hacen un uso racional y básico de la energía, no motivada por sus condiciones económicas recientes o sea que independiente de su nivel de ingresos el consumo se mantiene en niveles razonables, mostrando esto a su vez la inelasticidad ingreso de la demanda que evidencian los resultados para el eje cafetero, donde se caracteriza la población por tener cultura basada en la sensatez económica en lo que respecta al consumo de energía, indicando esto que no sería este bien público, susceptible de ser regulado por la vía del ingreso familiar, resultados que tienen sustento teórico y que se asemeja al comportamiento encontrado en Argentina, Guatemala y Venezuela de acuerdo a los antecedentes investigativos.

Mientras tanto, se encuentra que los ajustes de tarifa, producen en el corto plazo cambios negativos en el consumo residencial de energía eléctrica, no obstante es importante destacar que las medidas de política energética que pretendan modelar la tarifa, tendrían impactos en cortos períodos de tiempo, lo que también permite ratificar los positivos resultados obtenidos recientemente en Colombia con las medidas tomadas frente a la posibilidad de un racionamiento energético,

donde favoreciendo el ahorro por vía de la tarifa, fue posible conjurar dicha coyuntura de incertidumbre en la oferta.

Los resultados obtenidos permiten evidenciar relaciones de causalidad de corto plazo, aun cuando en varios ejercicios se establecen resultados contradictorios y no concluyentes de estas relaciones, lo que deja un espacio para la investigación ampliada al orden Nacional y también a nivel Departamental para lograr obtener una línea de análisis frente al desarrollo regional en lo que respecta al mercado energético de Colombia.

6. Conclusiones

Si bien la demanda de energía se entiende como una demanda derivada o indirecta de otros, se ha venido estudiando con más frecuencia dicho comportamiento lo que ha permitido conocer con mayor detalle la dinámica del mercado, sin embargo se han encontrado resultados contradictorios en algunos aspectos de acuerdo a investigaciones anteriores, situación que se confirma en la presente aproximación.

La demanda de energía eléctrica para el eje cafetero se asocia de manera importante con la tarifa y en menor proporción con el crecimiento económico, lo que permite definir que este tipo de investigaciones permite aportar al debate del diseño de políticas energéticas para el logro de objetivos, teniendo en cuenta las variables seleccionadas en el modelo.

En virtud de la relación de causalidad entre demanda de energía eléctrica y las tarifas, se confirma que es factible el establecimiento políticas de incentivos a la demanda por vía de la tarifa, en momentos que se haga necesario por situaciones de incertidumbre en la oferta (Choque negativos), sin embargo los efectos se recogen en su mayoría en el corto plazo, en virtud que posteriormente se presenta un ajuste del consumo, lo que haría viable que este tipo de políticas sean de carácter temporal hasta que se acerquen los objetivos de política.

A pesar de ser la energía eléctrica un servicio público, la aparición de sustitutos, ha hecho que su sensibilidad al precio se haya disminuido con el tiempo, lo que ratifica que los instrumentos de política para regular la demanda son limitados en el tiempo.

Desde la perspectiva de la relación de causalidad de la demanda de energía eléctrica con respecto al crecimiento económico, se encuentran para los 3 Departamentos resultados contradictorios que permitan ubicar dicho resultado en un enfoque de crecimiento (Demanda energética causa crecimiento económico), de conservación (El crecimiento del PIB conlleva en la misma dirección un aumento de la demanda), lo que permite establecer que la débil relación para el eje cafetero obedece a que el consumo de los hogares no guarda relación directa y fuerte con el desempeño económico.

En este sentido cabe resaltar que las condiciones propias de cada Departamento tienden a generar resultados de causalidad diferentes, situación que puede atribuirse a situaciones de orden institucional y geográfico, son embargo es un resultado contradictorio bajo el supuesto que los Departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda, hacen parte de una cultura con más similitudes que diferencias, lo que podría pensarse en el operador que suministra la energía en cada Departamento.

El precio de la energía es un determinante de la demanda, no obstante no hay consenso científico sobre su impacto en términos del corto o largo plazo, lo que se evidencia cuando se hacen análisis de tipo Departamental, lo que hace importante resaltar este tipo de estudios que permitan proponer instrumentos de política para regular el comportamiento de los hogares frente al consumo, especialmente en momentos en que la oferta es irregular.

En el futuro próximo el comportamiento del consumo de energía puede verse afectado por consideraciones de tipo ambiental de las cuales son más proclives las nuevas generaciones, lo que hará que las fuentes de energía alternativa transformen tanto el mercado energético del país como el tipo de instrumentos de política para lograr regulaciones, lo que hará indispensable la continuidad de este tipo de investigaciones.

El mercado energético se torna cada vez más complejo y del conocimiento anticipado del comportamiento de los usuarios, dependerá su buen funcionamiento, teniendo presente que las transacciones de energía que se transan a futuros tendrán efectos adversos en los casos que no se tenga un conocimiento sobre las expectativas de la demanda y sus transformaciones de corto y mediano plazo.

Los instrumentos de política adoptados en el pasado reciente en Colombia, enfocados en el programa "Apagar paga", ratifican que este tipo de incentivos muestran su efectividad en horizontes de tiempo cortos, lo que indicaría su inconveniencia para establecer objetivos de largo plazo.

7. Recomendaciones

El presente estudio avanza en la dirección de regionalizar las investigaciones alrededor del análisis empírico del comportamiento del mercado energético, es importante consolidar este tipo de iniciativas en el resto de Departamentos, con el propósito de encontrar puntos de convergencia o divergencia para tomar decisiones acorde con dichas dinámicas.

Los sistemas de información alrededor del sector energético y los servicios públicos han venido siendo mejorados y estructurados, situación que puede ser aprovechada para futuras investigaciones avanzando con mejores datos y

disponibilidad de niveles de desagregación que propicien debates académicos con mayor rigor y diversificación temática.

La aplicación de este tipo de metodologías en el análisis del comportamiento de los otros bienes y servicios de la canasta energética Colombiana, así como los usos no residenciales, puede aportar sorprendentes hallazgos en procura de anticipar los cambios estructurales que con seguridad se darán en el mediano y largo plazo en el país y el mundo.

Continuar con la exploración de aproximaciones metodológicas al tema de pronósticos de demanda de energía eléctrica, pues existen evidencias de la aplicación de modelos híbridos que cada vez toman relevancia en la medida que se aproximan a la realidad desde una perspectiva más amplia.

8. Bibliografía

Agostini, Plottier, & Saavedra. (2011). *La Demanda Residencial por Energía Eléctrica en Chile*. Santiago de Chile.

Barrientos, Olaya, & González. (2007). Un modelo spline para el pronóstico de la demanda de energía eléctrica. *Revista Colombiana de Estadística* 30, 187-202.

Benavente, Galetovic, Sanhueza, & Serra. (2005). Estimando la demanda residencial por electricidad en Chile: el consumo es sensible al precio. *cuadernos de economía* 42, 31-61.

Blaconá, & Abril. (2000). *Modelo Estructural de Espacio de Estado para la demanda diaria promedio de energía eléctrica en la República Argentina*. Argentina.

Botero, Castaño, & Vélez. (1990). Modelo económico de demanda de energía eléctrica en la industria colombiana. *Lecturas de Economía* 32-33, 97-124.

Carmona, Congregado, Feria, & Iglesias. (2017). The energy-growth nexus reconsidered: Persistence and causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 71, 342-347.

M.d.P, M.d.P, Romero, & J.De Jesús. (2016). Economic growth and energy consumption: The Energy-Environment al Kuznets Curve for Latin America and the Caribbean. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60, 1343-1350.

Menegaki, & Tugcu. (2017). Rethinking the energy-growth nexus: Proposing an index of sustainable economic welfare for Sub-Saharan Africa. *Energy Research & Social Science* 17, 147-159.

- MINMINAS, & UPME. (2015). *Proyección de Demanda de Energía Eléctrica en Colombia*. Colombia.
- Morales, Luyando, & Flores. (2011). Determinantes del consumo de energía eléctrica residencial de la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, en México. *Universidad & Empresa* 22, 79-98.
- Murillo, Trejos, & Carvajal. (2003). Estudio del pronóstico de la demanda de energía eléctrica, utilizando modelos de series de tiempo. *Scientia et Technica Año IX*, 23.
- Tabares, & Hernández. (2008). Mapeo curvas típicas demanda de energía eléctrica del sector residencial, comercial e industrial de la ciudad de Medellín, usando redes neuronales artificiales y algoritmos de interpolación. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 46, 110-118.
- Tiba, & Omri. (2017). Literature survey on the relationships between energy, environment and economic growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69, 1129-1146.
- UPME, & MINMINAS. (2015). *Proyección de Demanda de Energía Eléctrica en Colombia*. Colombia.
- Velásquez, Franco, & García. (2009). Un modelo no lineal para la predicción de la demanda mensual de electricidad en Colombia. *estud.gerenc*, 25, 37-54.
- Ventosa, & Rodríguez. (2016). Energy-growth long-term relationship under structural breaks. Evidence from Canada, 17 Latin American economies and the USA. *Energy Economics* 61, 121-134.
- Zapata, López, & Rengifo. (2006). Efecto del modelamiento de la demanda en estudios de confiabilidad de largo plazo de sistemas eléctricos. *Scientia et Technica Año XII*, 32.