EFECTOS DE LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL DESARROLLO ECONÓMICO MUNICIPAL: EL CASO DE COLOMBIA

EFFECTS OF NON-CONVENTIONAL RENEWABLE ENERGY SOURCES ON MUNICIPAL ECONOMIC DEVELOPMENT: THE CASE OF COLOMBIA

JONATHAN ANTONIO HOYOS CHAVERRA

Trabajo de grado Maestría en Economía Aplicada

Asesor

PhD. SANTIAGO TOBÓN ZAPATA

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE ECONOMÍA Y FINANZAS

MAESTRÍA EN ECONOMÍA APLICADA

MEDELLÍN

2021

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 6

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 8

3. JUSTIFICACIÓN 11

4. MARCO TEÓRICO: IMPACTOS A NIVEL LOCAL DE LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA 12

5. FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA RENOVABLE EL CONTEXTO MUNICIPAL COLOMBIANO 17

6. DATOS 19

7. METODOLOGÍA 21

8. RESULTADOS 24

8.1 Recaudo de impuesto de industria y comercio municipal 24

8.2 Ingresos por otras transferencias municipales 25

9. DISCUSIÓN Y LIMITACIONES 27

10. CONCLUSIONES 32

11. REFERENCIAS 33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Potencia acumulada en el tiempo de los proyectos de generación eléctrica en MW por tipo de fuente. (UPME, 2021) 17

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Posibles impactos proyectos comunitarios de generación de FNCER a nivel local. Fuente: Elaboración propia a partir de (Berka & Creamer, 2018), (van der Waal, 2020) y (Naumann & Rudolph, 2020) 15

Tabla 2. Principales estadísticas panel de datos 1985 a 2017..... 20

Tabla 3. Efecto de las centrales instaladas y MW acumulados en el recaudo municipal de industria y comercio 1985 a 2017. 25

Tabla 4. Efecto de las centrales instaladas y MW acumulados en los ingresos por concepto de otras transferencias 1985 a 2017. 27

RESUMEN

La presente investigación aborda el impacto en el desarrollo económico de largo plazo de los municipios en Colombia en el periodo de 1985 a 2017 de las Fuentes No convencionales Energías Renovables (FNCER), para ello se construye un modelo econométrico de Diferencias en Diferencias de Efectos Fijos Bidireccionales, en el cual se evalúan los efectos en el desarrollo económico municipal de largo plazo de las FNCER, tomando como referencia la capacidad de generación renovable actual (energía hidráulica) y en particular el caso de las PCHs en el país; como resultado se encontró una correlación positiva pero no significativa en términos estadísticos a niveles convencionales, entre la cantidad de centrales instaladas y los megavatios (MW) instalados de energía de los pequeños aprovechamientos hidráulicos con el recaudo municipal del impuesto de industria y comercio, mientras que esta relación sí es positiva y estadísticamente significativa cuando se trata de grandes centrales. Adicionalmente, se identifican en la literatura los posibles impactos y determinantes del impacto en el desarrollo municipal de largo plazo y se plantean recomendaciones para la definición de políticas públicas que permitan aprovechar los beneficios de las FNCER por parte de los municipios.

Palabras clave: Energía renovable, FNCER, PCH, Desarrollo Económico.

ABSTRACT

This research addresses the impact on the long-term economic development of municipalities in Colombia in the period from 1985 to 2017 of Non-conventional Renewable Energy Sources (FNCER), for this an econometric model of Differences in Differences of Fixed Effects is built Bidirectional, in which the effects on the long-term municipal economic development of the FNCER are evaluated, taking as a reference the current renewable generation capacity (hydraulic energy) and in particular the case of the SHPs in the country; As a result, a positive but not statistically significant correlation at conventional levels was found between the amount of power plants installed and the installed megawatts (MW) of energy from small hydraulic plants with the municipal collection of the industry and commerce tax, while this relationship is positive and statistically significant when it comes

to large plants. Additionally, the literature identifies the possible impacts and determinants of the impact on long-term municipal development and makes recommendations for the definition of public policies that allow municipalities to take advantage of the benefits of the FNCER.

Keywords: Renewable energy, FNCER, PCH, Economic Development.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la transición energética se ha hecho una prioridad para la mayoría de las naciones del mundo. El calentamiento global, la contaminación del aire y la certeza de que las energías no renovables escasearán en el futuro, han contribuido para incentivar el desarrollo de tecnologías más limpias para la generación de la energía eléctrica, implicando una profunda transición energética y económica alrededor del mundo y un movimiento de consciencia social y política que la acompaña (Gadonneix et al., 2020).

En el contexto colombiano la transición energética, entendido como un proceso estructural de sustitución de fuentes de energía, avanza a un ritmo importante (Rúa, 2019). La preocupación por encontrar fuentes y formas de consumo energético más sostenibles se evidencia desde el gran plan de expansión del gas natural en el país de la década de los 80´s con los descubrimiento de los campos de gas de la Guajira y las sucesivas políticas de eficiencia energética implementadas.

Por la riqueza del recurso hídrico de Colombia, la matriz eléctrica se compone mayoritariamente de la generación hidráulica a gran escala, existiendo también ésta a pequeña escala (UPME, 2020). En general, si bien esta fuente de generación se considera renovable, el costo social y ambiental de las grandes hidroeléctricas es alto (Patricia & Vega, 2019) (Torres et al., 2014) y este tipo de soluciones para generar energía cada vez se hace más costoso versus las opciones no convencionales; no siendo este el caso de los pequeños aprovechamientos hidráulicos o Pequeñas Centrales Hidroeléctricas PCHs, en las cuales los impactos ambientales y sociales son menores (Osorio-Londoño, 2017).

En medio de este contexto, en el 2014, fue aprobada en Colombia la ley 1715 que establece un marco regulatorio e incentivos para el desarrollo de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), la cual busca dinamizar la incorporación de estas tecnologías e incrementar su participación en la matriz de generación eléctrica. Cabe resaltar, que no todas las FNCER son nuevas en Colombia y en particular, que en el país se cuenta con una amplia experiencia en la implementación de PCHs.

Esta investigación busca establecer los efectos en el desarrollo económico municipal de largo plazo de las FNCER, tomando como referencia la capacidad de generación renovable

actual (energía hidráulica) y en particular el caso de las PCHs en el país, a través de una estrategia de identificación de impactos de diferencias en diferencia con efectos fijos bidireccionales. En dicho análisis se consideraron los municipios de Colombia de categoría 4, 5 y 6; los cuales cuentan con pocos recursos económicos y una población relativamente baja; y en los cuáles habría de esperarse un impacto observable en su desarrollo económico por la existencia de la actividad de generación de energía.

De acuerdo con la literatura, los beneficios de las FNCER en el mundo han sido ampliamente estudiados a nivel nacional agregado, pero son pocos los estudios que revisan su impacto a nivel local o municipal (Jenniches, 2018). Con esta investigación se busca contribuir al debate académico sobre el impacto de las FNCER a nivel municipal y comprender si los beneficios de este tipo de proyectos transcienden la dinamización económica durante su etapa de construcción y se pueden observar en el largo plazo, durante las etapas de operación y mantenimiento de dichos activos de generación.

Los resultados sobre la exploración realizada en la variable proxy recaudo municipal del impuesto de industria y comercio, indican que existe una correlación positiva pero no estadísticamente significativa a niveles convencionales con la cantidad de PCHs presentes en un municipio ni la cantidad acumulada total de MW instalados de estas fuentes, una observación distinta es la que se obtiene al observar el impacto de las grandes centrales (Instalaciones con una capacidad instalada mayor a 20 MW), en dónde si se encontró un impacto positivo estadísticamente significativo de ambas variables en el recaudo municipal de largo plazo, lo cual sugiere que la escala del proyecto es relevante para que el impacto económico de largo plazo sea observable.

Así mismo, se exploró el impacto en los ingresos municipales por concepto de otras transferencias (no ligadas al Sistema General de Participación), ya que son una forma directa de contribución a los recursos municipales por parte de las empresas generadoras, encontrando que solo existía una relación positiva y estadísticamente significativa entre la cantidad de grandes centrales presentes en un municipio y la cantidad acumulada total de MW instalados de estas fuentes, con dichos ingresos municipales.

Esta investigación pretende también aportar elementos a los responsables de diseñar políticas públicas, a partir de los resultados empíricos y la información recolectada en la revisión de la literatura, la cual indica que no es suficiente la sola presencia de FNCER en

los municipios para que se genere impacto en el desarrollo económico de largo plazo; para que dichas fuentes generen impactos, deben estar presentes a gran escala o tener esquemas de propiedad comunitarios o municipales, lo cual hace más probable que las utilidades sean reinvertidas en bienes públicos comunitarios o dinamicen la economía local durante todo el ciclo de vida de los activos de generación.

El presente documento se compone de 10 capítulos incluida la presente introducción, el capítulo 2 presenta una descripción del problema, el capítulo 3 presenta la justificación de la investigación, el capítulo 4 presenta el marco teórico, el capítulo 5 presenta el contexto de las FNCER en los municipios colombianos, el capítulo 6 la metodología utilizada en la investigación, el capítulo 7 los datos, el capítulo 8 los resultados del modelo econométrico, el capítulo 9 la discusión y limitaciones de la investigación, y finalmente el capítulo 10 presenta las conclusiones.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La alta dependencia de los combustibles fósiles y sus grandes impactos ambientales y sociales, han elevado el nivel de conciencia de los gobiernos y ciudadanos sobre la necesidad de implementar acciones que contribuyan a reducir la dependencia de las fuentes de energía no renovable, en busca de mitigar el cambio climático y generar prosperidad económica (Gadonneix et al., 2020); sin embargo, la transición energética no es fácil, y en general implica un desafío a la cultura, a las formas comunitarias y a la civilización, que requiere de audaces cambios institucionales, políticos y de regulación para materializarse (Droege, 2008).

Entendido inicialmente como un proceso de sustitución estructural de fuentes fósiles de energía por fuentes de energía renovable, la transición energética, ha venido evolucionando como concepto, hasta el punto que hoy se habla de una triple transición energética que incluye la descarbonización de las fuentes de generación de energía, el desarrollo de nuevos negocios energéticos y el incremento de la resiliencia de los sistemas energéticos (Díaz, 2016); a propósito el World Energy Council -WEC- (2019) indica las siguientes consideraciones: es un proceso complejo y no lineal; y ya que los sistemas energéticos se

caracterizan por su diversidad, la transición puede ser habilitada pero no predicha y requiere de experimentación e innovación para poder implementarla.

Colombia no ha sido una nación ajena a los esfuerzos por movilizar la transición energética, siendo quizá el más notorio, la aprobación en 2014 de la ley 1715, por medio de la cual se regula la integración de las fuentes no convencionales de energías renovables (FNCER) al Sistema Energético Nacional y se definen importantes incentivos, como la posibilidad de deducir el 50% de las inversiones en este tipo de fuentes de la declaración de renta de personas jurídicas y naturales. De acuerdo con la citada ley, se consideran FNCER: la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, los vientos, la actividad geotérmica, el sol y los mares.

En cuanto a los beneficios de la transición energética, en general se indica que impacta positivamente el empoderamiento, la toma de decisiones, las finanzas de las comunidades e individuos, la resiliencia a los desastres naturales y amenazas terroristas, y permite la reducción del poder de mercado de agentes monopolísticos y las consecuencias de su aplicación (Droege, 2018); no obstante, en la práctica, los impactos económicos y sociales del desarrollo de proyectos de generación de energía de FNCER dependen de manera particular de la naturaleza del proyecto de inversión, su escala y la legislación específica aplicable; con lo cual los beneficios esperados de este tipo de proyectos no pueden ser generalizados y son un objeto de estudio de interés.

En particular, puede decirse que, en Colombia, existe una amplia experiencia en el desarrollo de proyectos de generación de energía renovable, destacándose principalmente, los que realizan un aprovechamiento de las fuentes hídricas en lo que respecta a las cifras capacidad efectiva de generación del Sistema Interconectado Nacional (SIN). De los 17.529,01 MV informados por el operador del mercado eléctrico colombiano XM, un 68,1% corresponde a fuentes de generación hidráulica frente al 30,5% que corresponde a centrales de generación térmica. Sin embargo, los proyectos tradicionales de generación a gran escala no entran en la categoría de FNCER.

Otra aproximación interesante a las cifras de capacidad efectiva de generación es la que ofrece la clasificación de las fuentes en Pequeñas Centrales Eléctricas o Plantas Menores, que, de acuerdo con la legislación vigente en Colombia, son plantas con capacidad efectiva menor a 20 MW, operadas por empresas generadoras, productores marginales o

productores independientes de electricidad y que comercializan esta energía con terceros, diferenciándose de los autogeneradores.

Al revisar la contribución de las Plantas menores al SIN, se encuentra que solo el 6,2% de la capacidad de efectiva de generación corresponde a este tipo de centrales, y pese a que podría leerse su impacto como una cifra marginal, una mirada al número total centrales de generación en el país, el cual asciende a 231, da cuenta de que las Plantas Menores corresponden al 58,4% del total, ubicándose en una variedad importante de municipios. Así mismo, es posible observar que de los 1082.6 MW de energía de generada por Plantas Menores, el 90,1% corresponden a PCHs, es decir, a FNCER. De lo anterior, es posible afirmar que, con los incentivos actuales, que se podría esperar un crecimiento importante en su número de PCHs, a lo largo y ancho del país.

De manera general, es posible afirmar que los impactos de corto plazo en el desarrollo económico de los municipios, observables durante la etapa de construcción de los proyectos de FNCER son fácilmente identificables; como lo son por ejemplo: el número de empleos directos e indirectos durante la construcción de la planta y el valor de los bienes y servicios abastecidos localmente, mientras que no es tan claro si en el largo plazo[1], efectos estructurales como las transferencias de ingresos a los municipios, el aumento de la confiabilidad en la red en las poblaciones cercanas o los empleos en las etapas de operación y mantenimiento impacten de manera significativa en el desarrollo económico de las poblaciones en dónde se desarrollan los proyectos.

Es así como, para estudiar el impacto de la transición energética en el país, resulta de interés observar los posibles implicaciones de las FNCER en el desarrollo económico y social de los municipios, en particular en el largo plazo y no solo durante su etapa de construcción. Esta investigación busca establecer los efectos en el desarrollo económico municipal de largo plazo de las FNCER, tomando como referencia la capacidad de generación renovable actual (energía hidráulica) y en particular el caso de las PCHs en el país, con el fin de contribuir con elementos objetivos a la definición e implementación de

[1] En términos contables una convención comúnmente aceptada para el largo plazo es un periodo mayor a 1 año y en términos económicos un periodo mayor a 5 años. En esta investigación el largo plazo se refiere a una mirada en varios periodos de tiempo posteriores a la fecha de entrada en operación del proyecto de generación, los cuáles serán afinados con la experimentación con datos empíricos.

políticas de desarrollo económico sostenible y decisiones de inversión en proyectos de transición energética.

3. JUSTIFICACIÓN

La Ley 1715 de 2014 generó incentivos económicos para el desarrollo de las FNCER en el país, con lo cual se espera un incremento importante de su participación en el total de capacidad efectiva de generación. De manera general, los promotores FNCER prometen impactos significativos no solo en la reducción de emisiones de CO2 sino en el desarrollo económico sostenible de las comunidades en dónde se asientan dichos proyectos, no obstante, en la práctica, estos beneficios dependen de manera particular de la naturaleza del proyecto de inversión, su escala y la legislación específica aplicable; con lo cual dichos beneficios esperados no pueden ser generalizados.

En particular, puede decirse que, en Colombia, existe una amplia experiencia en el desarrollo de proyectos de generación de energía renovable, destacándose principalmente, los correspondientes a PCHs, como FNCER, que se ubican en 79 municipios del (XM, 2021), y se espera que con los incentivos de esta ley, su presencia aumente en las 1.122 entidades administrativas locales del territorio colombiano, que corresponden a 1.104 municipios y distritos, y a 18 zonas no municipalizadas (DANE, 2021), cuya población vive mayoritariamente en la pobreza y de acuerdo con la clasificación municipal por población e ingresos corrientes de libre destinación para el 2021, coordinada por la Contaduría General de la Nación, el 87% de los municipios se ubican en categoría 6, por lo cual su población no supera los 10.000 habitantes o sus ingresos no superan los 15.000 SMMLV.

De lo anterior se desprende, que establecer los efectos en el desarrollo económico municipal de largo plazo de las FNCER, tomando como referencia la capacidad de generación renovable actual (energía hidráulica) y en particular el caso de las PCHs en el país es relevante, máxime cuando este tipo de proyectos se plantean frecuentemente en la literatura y en el contexto político y social, como instrumentos de desarrollo.

4. MARCO TEÓRICO: IMPACTOS A NIVEL LOCAL DE LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

Las energías renovables son la base del proceso de transición energética, el cual implica no solo un proceso de sustitución estructural de fuentes fósiles de energía por fuentes de energía renovable, como tradicionalmente se ha conceptualizado, sino que la transición energética, ha venido evolucionando como concepto, hasta el punto de que hoy se habla de una triple transición que incluye la descarbonización de las fuentes de generación de energía, el desarrollo de nuevos negocios energéticos y el incremento de la resiliencia de los sistemas energéticos (Díaz, 2016).

Entre los beneficios ambientales y económicos del uso de las energía renovables se suelen incluir (IDAE, 2011):

- Son inagotables o renovables en periodos cortos de tiempo
- Se basan principalmente en la utilización de recursos autóctonos reduciendo la dependencia de otros países. Autosuficiencia energética.
- Reducción de la emisión de CO2 y contaminación en la producción de energía
- Diversificación de las fuentes de abastecimiento de energía y reducción del uso de combustibles fósiles
- Permiten la generación directa e indirecta de riqueza, desarrollo económico y empleos en el ciclo de vida los activos de generación

No obstante, es relevante considerar que los impactos específicos de un proyecto de generación de energías renovables dependen de variables como: la escala del proyecto, el modelo de negocio y esquema de propiedad y el tipo de tecnología a implementar. Es así como algunos autores indican por ejemplo, que es poco probable que plantas de generación a pequeña escala instalada principalmente para proporcionar acceso a energía más asequible generen utilidades o ingresos importantes, por lo que sus impactos locales se limitan en gran medida a los asociados con los procesos de desarrollo de proyectos y transferencias directas, más que a efectos de multiplicación del efectivo y dinamización de la actividad económica (Berka & Creamer, 2018).

Otro elemento relevante para considerar en la identificación de impactos de proyectos de energías renovables es que muchas de estas tecnologías permiten llegar a zonas no interconectadas a las redes de distribución nacional y contribuyendo significativamente a mejorar las condiciones de vida de las poblaciones rurales (Yah et al., 2017).

Desde el punto de vista tecnológico, proyectos que aprovechan el potencial eólico o solar, suelen generar ingresos para propietarios de la tierra en dónde son instaladas las instalaciones e incluso dueños de azoteas en dónde son instalados este tipo de sistemas (Jenniches, 2018). Así mismo, se ha investigado sobre la diferencia en el impacto en el desarrollo económico local de proyectos cuyos propietarios son privados versus proyectos comunitarios de generación de energía, identificándose que en estos últimos hay una propensión mayor a invertir utilidades en la provisión de bienes públicos requeridos por las comunidades en dónde se ubican los activos de generación, aportando al desarrollo económico de largo plazo (Berka & Creamer, 2018).

En general, existe un consenso sobre la importancia del acceso a servicios energéticos sostenibles y asequibles como factor para reducir la pobreza en los países en desarrollo, en dónde los proyectos de energía renovable a pequeña escala y basados en la comunidad se reconocen como formas importantes de asistencia para el desarrollo. Sin embargo, hasta la fecha solo existen unas pocas evaluaciones empíricas que analizan y comparan el impacto de estos proyectos en las condiciones de vida locales (Terrapon-Pfaff et al., 2014).

Así es, como pese al consenso anterior, la medición de los impactos de las energías renovables la mayoría de los estudios se concentran en indicadores nacionales de nivel agregado como el PIB y la generación total de toneladas de CO2 emitidas, y puede afirmarse que si bien existen muchas suposiciones sobre los impactos positivos de las energía renovables a nivel regional o local, hay poca evidencia empírica que lo soporte (Jenniches, 2018).

Una propuesta interesante para la identificación de impactos de las energías renovables a nivel local de plantas comunitarias de pequeña escala producción de energía, los clasifica en dos categorías y siete dimensiones clave. A saber, 1. Impactos directos: conocimiento y desarrollo de habilidades, capital social, energía accesible, conciencia ambiental y apoyo a las fuentes de energía renovable y 2. Impactos indirectos de largo plazo: regeneración socio-económica; derivada de la actividad económica en las etapas de construcción y

operación de las plantas y la reinversión de utilidad en bienes públicos; y el empoderamiento de la comunidad (Berka & Creamer, 2018).

En particular, para la medición del impacto de las energías renovables en el desarrollo económico local, existen diferentes indicadores que pueden utilizarse, destacándose entre otros: el número de empleos de tiempo completo equivalentes generados, el recaudo de impuestos, los salarios de los empleados, los beneficios a los propietarios de la tierra, las utilidades de los propietarios de las plantas de generación, el PIB regional, entre otros (Jenniches, 2018).

Existe interés en profundizar en los impactos socioeconómicos a nivel regional o local de la implementación de proyectos de energías renovables. Para ello pueden emplearse diferentes métodos cuantitativos o cualitativos. por ejemplo, en una investigación sobre el impacto socio-económico de la implementación sistemas solares fotovoltaicos en zonas rurales de Etiopía, se usaron regresiones lineales múltiples y análisis econométricos, que permitieron encontrar que dicha tecnología no solo redujo de manera significativa el consumo de keroseno y la emisión de CO2 de los hogares impactados, sino que tuvo un impacto positivo en la calidad de vida de las personas, ya que permitió el suministro de fluido eléctrico de 3 a 5 horas al día, redujo daños a la salud por cuenta de la quema de keroseno y permitió a los pequeños negocios generar más ingresos (Wassie & Adaramola, 2021).

Recientemente, también se ha estudiado el impacto de la financiación a las iniciativas municipales por parte de fuentes gubernamentales en el éste de Polonia, encontrándose que los municipios cuya actividad económica es principalmente agrícola y de bajo ingresos, son los más activos en la búsqueda de financiación, encontrando los proyecto de energías renovables con un camino hacía el desarrollo (Standar et al., 2021).

Una evaluación crítica y discusión de iniciativas políticas en Dinamarca y Escocia sobre energías renovables y desarrollo rural ha permitido identificar, que, si bien el deseo de que las zonas rurales se beneficien del desarrollo de las energías renovables es una constante a nivel político, la acciones políticas concretas han sido insuficientes (Clausen & Rudolph, 2020).

Algunas investigaciones también han indicado que más allá de beneficios directos de generación de ingresos por participación de la propiedad comunitaria, los proyectos de

energía renovables generan beneficios sociales como: un mayor sentido comunitario y de identidad, empoderamiento e independencia, y fomentan el desarrollo de nuevas capacidades y habilidades (Haggett & Aitken, 2015).

Un estudio en la isla filipina de Cobrador, en el que se aplicó un encuesta cuantitativa para evaluar el impacto de la provisión de acceso a energía renovable sostenible, confiable y asequible en el desarrollo local, evidenció que los sistemas de energía renovable son una solución adecuada para satisfacer la necesidad de energía eléctrica en los archipiélagos y que mejoran los medios de vida de los hogares, encontrando además que la capacidad de los hogares para aprovechar el mejor acceso a la energía depende en gran medida de su nivel de ingresos y riqueza; y que si bien el uso directo principal que dan los hogares a la energía está asociado al entretenimiento; un importante impacto se encuentra en la habilitación de condiciones adecuadas para el desarrollo de la educación, la prestación de servicios de salud, el abastecimiento de agua limpia y sistemas de saneamiento (Bertheau, 2020).

Por otro lado, también es relevante lo destacado por autores frente al impacto emancipatorio y de empoderamiento para la pueden adquirir las comunidades rurales en una transición energética justa, en la que pasan de ser simples localizaciones para las plantas de generación; destacándose como entes políticos que participan de la toma de decisiones sobre: el impacto físico de las infraestructuras energéticas en los paisajes rurales, la distribución de costos y la participación de los beneficios obtenidos por la generación de energía (Naumann & Rudolph, 2020).

En la tabla 1 se sintetizan los principales beneficios económico y sociales locales a corto y largo plazo por proyecto de generación de FNCER con esquemas de propiedad comunitaria.

Tabla 1. Posibles impactos proyectos comunitarios de generación de FNCER a nivel local. Fuente: Elaboración propia a partir de (Berka & Creamer, 2018), (van der Waal, 2020) y (Naumann & Rudolph, 2020)

Etapa / Tipo impacto	**Diseño y construcción** (corto y mediano plazo)	**Operación y mantenimiento** (Largo plazo)
Económicos	• Adquisición de bienes y servicios • Contratación de mano de obra local en la etapa de construcción • Estímulo a la economía local durante la construcción del proyecto	• Turismo ER • Transferencias • Reinversión de utilidades • Emprendimientos técnicos complementarios • Reducción de los costos de energía • Aumento de la confiabilidad de la energía

Sociales	• Procesos de organización comunitaria	• Reducción pobreza energética • Efectos demográficos
	• Apoyo local para ER • Impactos en la salud y seguridad • Eficacia política y movilización • Desarrollo de habilidades • Alfabetización energética • Empoderamiento comunitario y cohesión social	
Ambientales	• Impactos en la habitabilidad de la zona • Impactos en la naturaleza de la zona	

No obstante, a lo anterior, no todo con las energía renovables puede considerarse positivo. Es así, como se han estudiado los efectos negativos del desarrollo acumulativo de pequeñas centrales de generación hidráulica en el Amazonas, con hallazgos que indican que es necesario mejorar la planificación de los proyectos para estimar impactos ambientales en zonas con una alta densidad de proyectos (Athayde et al., 2019).

En cuanto a la magnitud de los impactos, una investigación realizada en Chile basada en dos estudios de casos en comunidades indígenas, evidenció que una legislación basada solo en MW para definir políticas y requerimientos al desarrollo de proyectos ambiental, puede enmascarar impactos económicos, sociales y ambientales relevantes; sugiriendo que es importante siempre garantizar la consulta a las comunidades incluso para proyectos de generación de baja escala (Kelly, 2019).

Así mismo, se ha encontrado que la generación con FNCER debe ser eficiente, ya que en ocasiones la energía generada puede tener un mayor costo y generar un desincentivo al consumo de energía y a la actividad económica en general, teniendo un impacto negativo sobre el crecimiento económico local y llevando a que las comunidades que se abastecen de ella pierdan competitividad (Liu, 2016) .

Finalmente, uno de los elementos claves para la sostenibilidad de plantas de generación de FNCER es su escala, dado que en general, instalaciones de pequeña escala serán más fáciles de financiar, mantener y operar para las comunidades, mientras que plantas grandes que aprovechan las economías de escala terminan siendo menos sostenibles en este aspecto (Clausen & Rudolph, 2020). En estos últimos casos, son los modelos de desarrollo de propiedad compartida e ingresos compartidos los que exponen aún más la tensión entre el beneficio privado y el interés de la comunidad (Slee, 2020).

5. FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA RENOVABLE EL CONTEXTO MUNICIPAL COLOMBIANO

La transición energética en Colombia es una realidad que avanza a un ritmo acelerado en los dos últimos años, prueba de ello son los resultados de la subasta de energía en firme del año 2019 que asignó obligaciones de energía en firme a plantas eólicas con una capacidad efectiva de generación por 1.160 MW y a planta solares por con una capacidad efectiva de generación por 238 MW (XM, 2019); y los resultados de la subasta de contratos de largo plazo de energías renovables en dónde se asignaron responsabilidades de generación a ocho proyectos adjudicados con una capacidad efectiva total de 1.298 megavatios de capacidad instalada, 5 de ellos eólicos y 3 solares (Minenergía, 2019).

Con los resultados anteriores se espera que la capacidad instalada del año 2019 de FNCER, pase de aproximadamente 50 MW a alrededor de 2.200 MW para el año 2022, lo cual el país multiplicaría por 40 veces aproximadamente su capacidad instalada, con lo cual se espera que las FNCER lleguen a representar casi el 10% de la capacidad efectiva en la matriz de generación de energía eléctrica (Minenergía, 2019). Una mirada a la potencia acumulada en el tiempo de los proyectos de generación eléctrica en MW también da cuenta de la velocidad de la transición, ver figura 1.

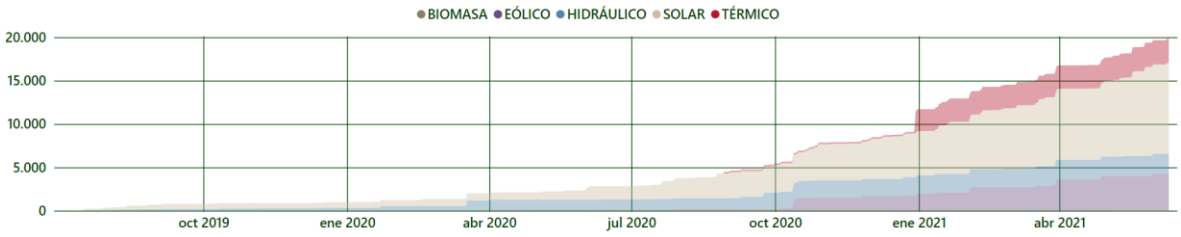

Figura 1. Potencia acumulada en el tiempo de los proyectos de generación eléctrica en MW por tipo de fuente. (UPME, 2021)

Sobre el enfoque actual de las políticas colombianas de transición energética es principalmente regulatorio y de alcance nacional, realizando importantes definiciones para establecer marcos de actuación e incentivos que facilitan la inversión en nuevas tecnologías y promueven actividades de autogeneración, la generación distribuida, la instalación de fuentes no convencionales de generación de energía, el desarrollo de proyectos de almacenamiento de energía y la conversión del parque automotor.

En las ciudades principales ya son una realidad proyectos de autogeneración basados en FNCER como la energía solar, con los cuales las personas han podido generar energía para satisfacer sus propias necesidades e inyectar excedentes a la red que generan algunos ingreso, no ocurre lo mismo en la gran mayoría de los municipios del país, en los que las FNCER existen, pero no son accesibles a la mayoría de los habitantes, encontrándose asociadas principalmente a proyectos productivos de capital privado o a los activos de generación de grandes compañías.

En 79 de los 1.104 municipios colombianos se encontraban instaladas 118 PCHs a febrero de 2021 (XM, 2021), dichas instalaciones corresponden a centrales de generación de energía con una capacidad de menor a 20 MW, las cuales se encuentran clasificadas como FNCER. Con lo cual se evidencia que una presencia relevante en de las FNCER desde hace varios años en el país.

En lo que respecta a la generación de energía, uno de los principales beneficios para los municipios se encuentran las denominadas transferencia del sector eléctrico, que en el régimen tradicional de generación eléctrica, son establecidas en el artículo 45 de la ley 99 de 1993, que define una obligación de transferir el 6% de las ventas brutas de energía generada por una central hidroeléctrica, así: un 3% para las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y el restante 3% para los municipios del área de influencia de la central hidroeléctrica; en dónde, este 3% de los municipios se distribuye: 1,3% para los municipios en dónde se encuentra el embalse, 0,2% para los municipios donde se ubican la salas de máquinas y 1,5% los que hacen parte de la cuenca hidrográfica (EPM, 2021)

En lo que respecta a las nuevas FNCER, el decreto 421 de 2021 del Ministerio de Minas y Energía, establece que el monto de la transferencias de los generadores con capacidad instalada mayor a 10 MW será un 1% de las ventas brutas de energía inicialmente, y que subirá a un 2%, una vez las FNCER representen el 20% de la capacidad efectiva del SIN; las cuales estarán destinadas en un 60% a las comunidades étnicas y el 40% restante a los municipios del área de influencia del proyecto de generación, con lo cual no se incluye un aporte a las CAR.

Los recursos de la transferencias son relevantes para los municipios pues se constituyen como fuentes adicionales de ingresos y permiten inversiones orientadas a mejorar la calidad

de vida como: proyectos de infraestructura, servicios públicos, saneamiento básico y/o de agua potable y conservación del medio ambiente.

Adicionalmente, Colombia cuenta con un potencial relevante en FNCER, en primer lugar, desde la generación eólica, con vientos localizados de velocidades medias en el orden de 9 m/s (a 80 m de altura para el caso particular del departamento de La Guajira), y en segundo lugar en cuanto al recurso solar, con una irradiación solar promedio de 194 W/m2 para el territorio nacional (superior al promedio mundial) (UPME, 2015), que presenta mayor concentración en la costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquía y la Región Central (Mendoza et al., 2018); siendo tal el potencial que la UPME recomienda el desarrollo masivo de sistemas distribuidos de autogeneración solar fotovoltaica a pequeña y mediana escala en todo el territorio nacional y la inicio rápido del desarrollo de proyectos eólicos de gran escala en la Guajira.

6. DATOS

Es este trabajo se estudia el impacto de la cantidad de centrales de generación eléctrica y la cantidad de MW de generación instalados en las variables de recaudo municipal de industria y comercio e ingresos municipales por concepto de otras transferencias (no ligadas al sistema general de participación), para efecto del análisis se incluyen en la muestra los municipios de categorías 4, 5 y 6; que corresponden a los municipios más pequeños y con menores ingresos del país, excluyendo a los municipios más grandes y desarrollados con el fin de capturar el efecto estudiado sin mayores distorsiones. El periodo de estudio comprende información desde 1985 hasta el 2017, correspondiendo con los datos más actuales disponibles para consulta al público sobre ejecución presupuestal a nivel municipal, en la página del Departamento Nacional de Planeación (DNP).

La información sobre con Capacidad Efectiva de Generación en el sistema interconectado nacional SIN, en los informes publicados por el operador de mercado eléctrico nacional XM. Tomando como referencia la información publicada a marzo del 2021, que incluye ubicación, capacidad efectiva de generación en MW y año de entrada en operación.

Así mismo, a partir de la información de ejecución presupuestal a nivel municipal en Colombia disponibles en el Departamento Nacional de Planeación (DNP), se obtuvo la información sobre el recaudo del impuesto de industria y comercio, el recaudo del impuesto

predial y el monto de transferencias que no provienen del gobierno central, con el fin de observar posibles impactos en estas variable a partir de las fechas de entrada en operación de los proyectos de generación eléctrica; ambos valores de ejecución presupuestal se encuentran deflactados a precios constantes del 2017.

Con el objetivo de incluir la variable población como un control, se incluyó en la base de datos, la población por municipio entre los años 1985 y 2017, cuya fuente es el Departamento Nacional de Estadística (DANE).

Por último, en la base de datos se incluyó la categorización de los municipios en Colombia para el año 2020, realizada por la Contaduría General de la Nación, la cual clasifica los municipios en 7 categorías (especial, 1, 2, 3, 4, 5 y 6), de acuerdo con sus recursos y población.

La muestra final está compuesta por 36,366 observaciones, lo que corresponde al 100% del total de observaciones anuales en el periodo de 1985 a 2017, de los municipios de Colombia. Las variables que conforman la muestra junto con sus estadísticas descriptivas se presentan a continuación en la tabla 2:

Tabla 2. Principales estadísticas panel de datos 1985 a 2017

Descripción	Observaciones	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Dependientes					
Recaudo municipal del impuesto de industria y comercio a precios constantes del 2017	36,366	3538.692	65672.650	-2873.014	3621619.000
ingresos municipales por concepto de otras transferencias (no ligadas al sistema general de participación)	36,366	275.213	3799.067	-2873.014	283054.100
Independientes					
Cantidad efectiva de generación en MW instalados en un municipio	36,366	10.014	83.732	0.000	1466.900
Cantidad de centrales de generación de energía instaladas en un municipio de cualquier tipo conectadas al SIN	36,366	0.093	0.438	0.000	9.000
Cantidad efectiva de generación en MW instalados en de pequeñas centrales generación de energía (<=20 MW) instalados en un municipio conectadas al SIN	36,366	0.304	2.246	0.000	59.700
Cantidad efectiva de generación en MW instalados en de centrales de generación de energía con capacidad mayor a 20 MW	36,366	9.710	83.507	0.000	1447.000

instaladas en un municipio conectadas al SIN					
Cantidad de pequeñas centrales generación de energía (<=20 MW) instaladas en un municipio conectadas al SIN	36,366	0.053	0.292	0.000	4.000
Cantidad de centrales de generación de energía con capacidad mayor a 20 MW instaladas en un municipio conectadas al SIN	36,366	0.040	0.314	0.000	9.000
Número de habitantes en el periodo 1985 y 2017.	36,366	35630.980	211114.900	0.000	7337449.000
Categoría del municipio en el año 2020	36,366	5.635	1.111	0	6

Nota: esta tabla describe las variables incluidas en el dataset. Las variables dependientes son registros anuales para cada uno de los municipios de Colombia. Las variables independientes, son variables anuales y corresponden a la cantidad de MW instalados y centrales instaladas cada año en cada municipio de Colombia; la variable población es anual y corresponde a cada municipio; y la variable categoría de municipios, toma valores entre 0 y 6, donde 0 es la convención utilizada en este trabajo para los municipios con categoría "especial" según la Contaduría General de la Nación, los cuales corresponden principalmente a municipios con gran población y recursos, como lo son las principales ciudades capitales. Todos los datos son del periodo 1985 y 2017 excepto la categoría de municipio que corresponde a la categoría del año 2020.

7. METODOLOGÍA

La presente investigación tuvo tres objetivos. Para el cumplimiento del objetivo específico número 1: *Documentar los posibles impactos en el desarrollo de económico municipal o local de los proyectos de generación de energía a partir de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER);* se realizó una revisión de literatura relevante acotando los la información encontrada a artículos de aplicación e identificación de impactos en el desarrollo económico a nivel regional, municipal o local, informes de revisión, informes de agencias no gubernamentales e informes oficiales, encontrados en bases de datos bibliográficas como ScienceDirect, Google Scholar, Ieee xplore y Jstor.

Para el desarrollo del objetivo específico número 2: *Estimar el impacto en el desarrollo económico municipal de largo plazo del desarrollo proyectos de generación de energía a partir de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER);* se recopiló información empírica histórica sobre el desarrollo de proyectos de generación con vista municipal en Colombia y la ejecución presupuestal de los municipios; y se usó una estrategia de identificación de evaluación de impacto.

Como estrategia de identificación de impacto se realizó la aplicación de un método de enfoque de Diferencias en Diferencias, cuya naturaleza cuasiexperimental y permite estimar los efectos causales en un fenómeno determinado. Diferencias en Diferencia se considera

el diseño de investigación más frecuente en las ciencias sociales cuantitativas (Cunningham, 2020).

Por último, para el desarrollo del objetivo específico número 3: *Proponer elementos a considerar en la formulación e implementación de políticas y decisiones de inversión en proyectos de transición energética a nivel municipal.* Se utilizó la información documentada a partir de la revisión de la literatura y los resultados del modelo de regresión construido en el desarrollo del objetivo número dos, con el fin de utilizar una combinación de teoría y evidencia empírica en la formulación de las recomendaciones y el entendimiento de las condiciones de impacto de las FNCER.

7.1 ESTRATEGIA DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTO

La presente investigación busca establecer los efectos en el desarrollo económico municipal de largo plazo de las FNCER, tomando como referencia la capacidad de generación renovable actual (energía hidráulica) y en particular el caso de las PCHs en el país, a través de una estrategia de identificación de impactos de diferencias en diferencia con efectos fijos bidireccionales. En dicho análisis se consideraron los municipios de Colombia de categoría 4, 5 y 6; los cuales cuentan con pocos recursos económicos y una población relativamente baja; y en los cuáles habría de esperarse un impacto observable en su desarrollo económico por la existencia de la actividad de generación de energía.

Para medir el impacto en el desarrollo económico de largo plazo se usa como variable proxy el recaudo municipal del impuesto de industria y comercio, lo cual es consistente con otras investigaciones en la literatura que buscan evaluar la contribución de las energías renovables al desarrollo económico (Jenniches, 2018).

De manera similar, se evalúa también ingresos municipales por concepto de otras transferencias, con el fin de determinar la contribución de las transferencia del sector eléctrico a las finanzas municipales, de acuerdo con el esquema actual vigente en el país. Ya que también se consideran un instrumento favorece el desarrollo de los municipios.

Para el problema en particular, un reto metodológico es considerar el grado de heterogeneidad individual presente en los municipios encontrar resultados más consistentes, ya que, bajo efectos no observables, el método de mínimos cuadrados

ordinarios (MCO), no permite la evaluación correcta de las relaciones causales, arrojando estimadores sesgados debido a la endogeneidad entre los parámetros y el término de error.

Para el caso concreto de la investigación, y considerando que la entrada en operación de las centrales de generación en los municipios de Colombia se ha dado en diferentes puntos del tiempo, se optó por la implementación del método de Diferencias en Diferencias de Efectos Fijos Bidireccionales, aplicable en situaciones en las que las unidades geográficas reciben tratamientos en diferentes momentos (Cunningham, 2020).

Otro elemento relevante dentro de la identificación de impactos, es el tratamiento para entender como los efectos no observables interactúan con las variables resultado, ya que existe un alto grado de heterogeneidad en los municipios y está puede tener un impacto relevante en las variables resultado, es así como se considera que el modelo de efectos fijos es el más adecuado, ya que supone que los efectos del tiempo son independientes para cada entidad que posiblemente esté correlacionada con las variables regresoras. Así, el método de efectos fijos reduce el sesgo debido a la omisión de variables; consiguiendo así reducir las fuentes de endogeneidad. Así, la especificación del modelo es la siguiente:

$$y_{i,t} = \beta_0 C_{i,t} + \beta_1 MW_{i,t} + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{i,t}$$

Donde los subíndices i, t denotan el municipio y el año respectivamente. y son las variables de resultado: recaudo municipal por impuesto de industria en millones COP y comercio e ingresos municipales por concepto de otras transferencias en millones COP. C es la cantidad de centrales de generación de energía instaladas en un municipio y MW la cantidad de MW de energía instalados en el municipio. α y γ denotan los efectos fijos municipales y efectos fijos de tiempo respectivamente y ε es el error idiosincrático.

Se estiman cuatro modelos, (1) el primero considera la cantidad de centrales de generación centrales instaladas en el municipio, asumiendo $\beta_0 \neq 0$ y no considera la cantidad de MW instalados, asumiendo $\beta_1 = 0$; (2) El segundo modelo no considera la cantidad de centrales de generación centrales instaladas en el municipio, asumiendo $\beta_0 = 0$ y sí considera la cantidad de MW instalados, asumiendo $\beta_1 \neq 0$; (3) modelo detalla lo explorado en el modelo (1), clasificando la cantidad de centrales en pequeñas centrales y grandes centrales; y (4) por último el cuarto modelo, detalla lo explorado en el modelo (2), clasificando los MW

instalados en los provenientes de en pequeñas centrales y grandes centrales. En todos los modelos se controla por la población municipal del periodo evaluado.

8. RESULTADOS

En esta sección, se presentan los resultados de las estimaciones de los impactos de los proyectos de generación de energía en el desarrollo económico a nivel municipal a través de la observación de la variable recaudo de impuesto de industria y comercio para municipios de categoría 4, 5 y 6; identificando los impactos asociados al número de centrales de generación instaladas y la capacidad efectiva de generación medida en MW de energía.

8.1 RECAUDO DE IMPUESTO DE INDUSTRIA Y COMERCIO MUNICIPAL

Las estimaciones para la variable de recaudo de industria y comercio para municipios de categoría 4, 5 y 6, se reportan en la tabla 3. Las columnas (1) y (2) presentan los resultados considerando la cantidad de centrales y MW instalados sin distinción del tipo de instalación de generación, mientras que las columnas (3) y (4) presentan los resultados cuando las variables cantidad de centrales y MW instalados se discriminan en los asociados a pequeñas centrales de generación (<=20 MW) y a las centrales con una capacidad mayor a 20 MW.

En primer lugar, se observa que existe una relación positiva y estadísticamente significativa a niveles convencionales, entre la cantidad de centrales presentes en un municipio y el recaudo por impuesto de industria y comercio. En particular, una central instalada en un municipio tiene un impacto de 277.9 millones de COP en el recaudo.

En segundo lugar, no se observa una relación significativa entre la cantidad de MW de energía instalados en el municipio y el recaudo por impuesto de industria y comercio; no obstante, se evidencia que la cantidad de MW tiene una correlación positiva con dicho recaudo, pero la estimación es imprecisa.

En tercer lugar, al profundizar en la tipología de centrales, no se observa una relación significativa entre la cantidad de pequeñas centrales de generación instaladas y el recaudo por impuesto de industria y comercio; no obstante, se evidencia una correlación positiva con dicho recaudo, pero la estimación es imprecisa.

En cuarto lugar, se observa que existe una relación positiva y estadísticamente significativa a niveles convencionales, entre la cantidad de centrales presentes con capacidad mayor a 20 MW presentes en un municipio y el recaudo por impuesto de industria y comercio. En particular, una central con una capacidad mayor a 20 MW instalada en un municipio tiene un impacto de 594.3 millones de COP en dicho recaudo.

Por último, no se observa una relación significativa entre la cantidad de MW de energía instalados ni de pequeñas centrales de generación ni de centrales con capacidad mayor a 20 MW en los municipios y el recaudo por impuesto de industria y comercio; no obstante, se evidencia una correlación positiva con dicho recaudo, pero ambas estimaciones son imprecisas.

Tabla 3. Efecto de las centrales instaladas y MW acumulados en el recaudo municipal de industria y comercio 1985 a 2017.

Variables	Recaudo municipal del impuesto de industria y comercio en municipios de categoría 4, 5 y 6			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Cantidad de centrales	277.9**			
	[86.49]			
MW instalados		0.555		
		[0.369]		
Cantidad de pequeñas centrales (<20Mw)			104.6	
			[109.0]	
Cantidad de otras centrales (>=20Mw)			594.3***	
			[162.0]	
MW instalados de pequeñas centrales (<20Mw)				15.12
				[13.67]
MW instalados de otras centrales (>=20Mw)				0.474
				[0.368]
Observaciones totales	33990	33990	33990	33990
Observaciones Municipios	1030	1030	1030	1030
R-Cuadrado	0.185	0.183	0.187	0.183

Errores estándar en corchetes
*p; **p; ***p indican significancia al 10%; 5%; y 1% respectivamente

8.2 INGRESOS POR OTRAS TRANSFERENCIAS MUNICIPALES

Las estimaciones para la variable de los ingresos municipales por concepto de otras transferencias (no ligadas al sistema general de participación) para municipios de categoría

4, 5 y 6, se reportan en la tabla 4. Las columnas (1) y (2) presentan los resultados considerando la cantidad de centrales y MW instalados sin distinción del tipo de instalación de generación, mientras que las columnas (3) y (4) presentan los resultados cuando las variables cantidad de centrales y MW instalados se discriminan en los asociados a pequeñas centrales de generación (<=20 MW) y a las centrales con una capacidad mayor a 20 MW.

En primer lugar, no se observa una relación significativa entre la cantidad de centrales presentes en un municipio y los ingresos municipales por concepto de otras transferencias; no obstante, se evidencia una correlación positiva con dichos ingresos, pero la estimación es imprecisa.

En segundo lugar, se observa que existe una relación positiva y estadísticamente significativa a niveles convencionales, entre la cantidad de MW de energía instalados en un municipio y los ingresos municipales por concepto de otras transferencias. En particular, un MW instalado en un municipio tiene un impacto promedio de 0.514 millones de COP en dichos ingresos.

En tercer lugar, al profundizar en la tipología de centrales, no se observa una relación significativa entre la cantidad de pequeñas centrales de generación instaladas y los ingresos municipales por concepto de otras transferencias; no obstante, se evidencia una correlación negativa con dichos ingresos, pero la estimación es imprecisa.

En cuarto lugar, se observa que existe una relación positiva y estadísticamente significativa a niveles convencionales, entre la cantidad de centrales presentes con capacidad mayor a 20 MW presentes en un municipio y los ingresos municipales por concepto de otras transferencias. En particular, una central con una capacidad mayor a 20 MW instalada en un municipio tiene un impacto promedio de 152.5 millones de COP en dichos ingresos.

En quinto lugar, no se observa una relación significativa entre la cantidad de MW de energía de pequeñas centrales instalados en un municipio y los ingresos municipales por concepto de otras transferencias; no obstante, se evidencia una correlación negativa con dicho ingresos, pero la estimación es imprecisa.

Por último, se observa que existe una relación positiva y estadísticamente significativa a niveles convencionales, entre la cantidad de MW de energía de centrales capacidad mayor

a 20 MW instalados en un municipio y los ingresos municipales por concepto de otras transferencias. En particular, un MW instalado de una central con una capacidad mayor a 20 MW en un municipio tiene un impacto promedio de 0.524 millones de COP en dichos ingresos.

Tabla 4. Efecto de las centrales instaladas y MW acumulados en los ingresos por concepto de otras transferencias 1985 a 2017.

Variables	Ingresos municipales por concepto de otras transferencias en municipios categoría 4, 5 y 6			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Cantidad de centrales	31.55			
	[28.92]			
MW instalados		0.514***		
		[0.125]		
Cantidad de pequeñas centrales (<20Mw)			-34.65	
			[29.37]	
Cantidad de otras centrales (>=20Mw)			152.5**	
			[54.14]	
MW instalados de pequeñas centrales (<20Mw)				-1.203
				[2.365]
MW instalados de otras centrales (>=20Mw)				0.524***
				[0.122]
Observaciones totales	33990	33990	33990	33990
Observaciones Municipios	1030	1030	1030	1030
R-Cuadrado	0.00606	0.00640	0.00630	0.00638

Errores estándar en corchetes
*p; **p; ***p indican significancia al 10%; 5%; y 1% respectivamente

9. DISCUSIÓN Y LIMITACIONES

Esta investigación busca establecer los efectos en el desarrollo económico municipal de largo plazo de las FNCER, tomando como referencia la capacidad de generación renovable actual (energía hidráulica) y en particular el caso de las PCHs en el país, a través de una estrategia de identificación de impactos de diferencias en diferencia con efectos fijos bidireccionales. En dicho análisis se consideraron los municipios de Colombia de categoría 4, 5 y 6; y se analizó el periodo comprendido entre los años 1985 y 2017.

Los resultados obtenidos indican que el no hay una relación estadísticamente significativa a niveles convencionales entre el número de MW instalados en un municipio y su recaudo del impuesto de industria y comercio. no obstante, se evidencia una correlación positiva con dicho recaudo, pero ambas estimaciones son imprecisas. Una posible explicación de este hecho puede residir en que la energía que se produce en dichas centrales tiene un despacho y asignación central y supera en gran medida, los requerimientos energéticos del municipio; en otras palabras, la instalación de MW de energía adicional no debería tener impactos en el desarrollo económico de un municipio que ya contaba con el servicio de suministro de energía eléctrica, máxime cuando ya hacía parte del SIN, a menos que esté contribuyendo a mejorar la confiabilidad y horas de servicio del suministro de energía en el municipio.

De hecho, el acceso a energía o el mejoramiento de la calidad del suministro en zonas no interconectadas tampoco garantiza que hay un impacto en el desarrollo económico municipal, si bien tiene un impacto inmediato en las condiciones de calidad de vida de las personas en aspectos como mejoramiento a los servicios de educación y salud, que pueden prestarse en mejores condiciones, no pasa lo mismo con el desarrollo económico, con lo cual podría indicarse que el acceso a la energía con un suministro de calidad es una condición necesaria para el desarrollo económico pero no suficiente (Bertheau, 2020).

Lo anterior también es consistente con lo encontrado en algunas investigaciones, que indican que para que exista impacto en el desarrollo económico municipal por parte de las FNCER, se requieren esquemas de propiedad comunitarios, municipales o acuerdos de participación de utilidades con las comunidades locales; ya que de lo contrario es poco probable que las utilidades producidas por la generación y venta de la energía, sean reinvertidas en necesidades o bienes locales; con lo cual el desarrollo económico si bien se da a nivel agregado nacional, no necesariamente pasa por lo local (Berka & Creamer, 2018) (Slee, 2020).

Por otro lado, los resultados indican que hay una relación positiva estadísticamente significativa entre la cantidad de centrales de generación instaladas en un municipio y el recaudo por impuesto de industria y comercio, en particular este efecto es observable en centrales de generación con una capacidad instalada mayor a 20 MW, que a diferencia de las pequeñas de centrales de generación, generalmente requieren un número mayor de

personas para su operación y mantenimiento, implicando en algunos casos la residencia permanente en la central y el abastecimiento constante de bienes y servicios, que probablemente que dinamizan el consumo, la producción de bienes, la oferta de servicios y el empleo de la mano de obra local, no obstante, la importancia de dichos impactos a nivel social es cuestionada en la literatura (de Faria et al., 2017).

Otra posible explicación a la anterior relación entre la cantidad de centrales de capacidad instaladas mayor a 20 MW y el recaudo en impuesto de industria y comercio, puede encontrarse en las obligaciones adquiridas en términos de compensaciones ambientales y sociales, que para las centrales de generación colombianas, mayoritariamente productoras de hidroelectricidad, implican compensaciones obligatorias que en muchos casos se traducen en infraestructura y en acciones como el apoyo al establecimiento de emprendimientos formales, que pueden tener impactos de largo plazo; y el desarrollo de labores voluntarias permanentes de responsabilidad social que también pueden generar estímulos a las economías locales, según lo definido en el plan de manejo ambiental en cumplimiento de la normatividad vigente (ANLA, 2018).

Se destaca la inobservancia de una relación estadísticamente significativa a niveles convencionales de la presencia de instalaciones correspondientes a pequeñas centrales de generación, las cuales son catalogadas como FNCER, y el recaudo de industria y comercio, pues da pie a suponer que dichos proyectos no tienen un impacto en el desarrollo económico municipal de largo plazo de los municipios; una posible explicación puede estar en que por su escala, los requerimientos en su etapa de operación y mantenimiento son mucho menos que los requeridos por las grandes centrales, y que por lo mismo, su demanda de bienes, servicios y mano de obra local son menores y marginales para el estímulo económico de largo plazo, por ejemplo, se estima que durante la etapa de operación y mantenimiento de una PCHs se crean en promedio solo 4 empleos (Osorio-Londoño, 2017).

En esta investigación también se realiza una exploración del impacto de las generación de energía en los ingresos municipales por concepto de otras transferencias, ya que comúnmente se argumenta que unos de los beneficios que tienen un impacto económico en las comunidades donde se asientan los proyectos de generación son las transferencias

que por ley deben girar los generadores a las corporaciones autónomas regionales y los municipios de las zonas de influencia.

Los resultados obtenidos reflejan que los ingresos municipales por concepto de otras transferencias se encuentran relacionados con la cantidad de MW instalados en los municipios y no con la cantidad de centrales, lo cual es consistente con la forma en la que se liquidan las transferencias que está ligada a la venta de la energía producida; encontrándose una relación positiva estadísticamente significativa a niveles convencionales a los MW instalados provenientes de centrales de generación con una capacidad mayor a 20 MW; mientras que dicha relación no se observa para los MW asociados a pequeñas centrales de generación. Esto podría tener explicación en el volumen de generación de energía, ya que las transferencias realizadas por la venta de energía generada en pequeñas centrales por su menor escala, lo cual es consistente con un estudio de caso realizado en el que el impacto monetario por la generación de energía por una microturbina fue considerado no significativo (Moncada & Vacca, 2010).

Los anteriores resultados indican que solo los proyectos de generación con capacidad instaladas mayor a los 20 MW tuvieron un impacto en el desarrollo económico municipal de largo plazo. Es importante resaltar que estos resultados reflejan el modelo predominante de desarrollo de proyectos de generación del periodo estudiado, años del 1985 al 2017.

La nuevas regulaciones pueden tener un impacto diferente. Por el ejemplo, el decreto 421 de 2021 del Ministerio de Minas y Energía, que reglamenta el régimen de transferencias del sector eléctrico aplicable a las FNCER, que determina inicialmente una transferencia del 1% de las ventas brutas de energía, monto que subirá a un 2%, una vez las FNCER representen el 20% de la capacidad efectiva del SIN, el impacto de estas transferencias sobre el desarrollo económico podría ser mayor que las actuales, bajo el entendimiento que las zonas de influencia pueden ser mucho más acotadas y en muchos casos corresponder a un único municipio, por ejemplo, en el caso de una planta de generación solar; mientras que las transferencias del sector eléctrico no provenientes del FNCER se distribuyen entre corporaciones autónomas regionales y un gran números de municipios.

En general, puede esperarse de los FNCER con capacidades instaladas de generación mayores al 20 MW impactos en el desarrollo económico de largo plazo para los municipios, con un contribución relevante de recursos de transferencias a las cuentas municipales. En

cuanto a los proyectos que cumplan con las características de Plantas Menores (capacidad efectiva <20 MW), de acuerdo con los resultados del modelo econométrico, no hay evidencia empírica estadísticamente significativa de tener un impacto relevante en el desarrollo económico municipal de largo plazo; no obstante, de acuerdo a lo sugerido por la literatura esto podría ser diferente si se desarrollan con esquemas comunitarios de propiedad.

9.1 Limitaciones

Una de las limitaciones de los resultados de la presente investigación se encuentra en que para el año 2017 el 99% de FNCER conectadas al SIN correspondían a pequeños aprovechamientos hidráulicos, con lo cual, las estimaciones realizadas no contemplan impactos de FNCER como la generación solar y eólica, las cuales corresponden a las tecnologías que mayor crecimiento tendrán en el país de acuerdo con las proyecciones para el año 2022.

La muestra de datos construida no contiene el esquema de propiedad de las centrales de generación, por lo cual no es posible controlar la regresión por esquemas de propiedad comunitarios, de participación municipal o netamente privados. Esta variable permitiría realizar un comprobación empírica de lo realizado encontrado en la revisión de literatura.

Así mismo, en esta investigación no se tuvo en cuenta las condiciones de violencia vividas por los municipios durante el periodo observado, ni los planes de desarrollo económico planteados para las zonas con mayores impactos por el conflicto armado que fueron formulados después del proceso de paz con la guerrilla de las FARC.

Por último, dado que el modelo desarrollado en la presente investigación considera el recaudo municipal del impuesto de industria y comercio como una variable proxy para medir el impacto de las centrales y su capacidad instalada en un municipio y no contempla variables sistémicas de la red eléctrica con su impacto en la calidad y eficiencia del servicio o mediciones de necesidades básicas insatisfechas en dónde el impacto en la calidad de vida es significativo. Incluir variables como las mencionadas anteriormente puede ser parte de trabajos futuros que permitan profundizar la mirada integral del aporte de las FNCER al desarrollo municipal.

10. CONCLUSIONES

Sí bien la transición energética ofrece oportunidades de desarrollo, el impacto observable en el largo plazo sobre los municipios en Colombia de la implementación de FNCER dependerá de la escala de los proyectos y de los modelos de negocio y esquemas asociativos que se implementen. Sin duda, las FNCER tienen un impacto positivo sobre el medioambiente y cuando su instalación resuelve problemas de acceso a la energía en zonas no interconectada contribuye de manera integral a la calidad de vida de la población beneficiada, contribuyendo al acceso de calidad de otros servicios y a la generación de condiciones para el desarrollo de la actividad económica.

No obstante, en municipios de categoría 4, 5 y 6 con conexión al sistema interconectado nacional, en dónde la FNCER corresponden a PCHs no se encontró evidencia de impacto estadísticamente significativo en el desarrollo económico municipal de largo plazo. Esto podría explicarse, debido a que muchos de dichos municipios ya contaban con el servicio de acceso a la energía eléctrica por lo que las condiciones para la instalación de pequeños negocios y comercios ya se encontraban habilitadas. Es de anotar, que las anteriores observaciones se acotan en el contexto actual, en el que las PCHs pertenecen principalmente a empresas privadas, aunque existen algunos casos marginales de participación accionaria de alcaldías municipales en estas plantas.

Para esto mismos municipios se encontró que la instalación de plantas de generación de energía con una capacidad instalada de generación mayor a los 20 MW si tenían un impacto estadísticamente significativo en el recaudo municipal de industria y comercio, la variable proxy con la cual se mide la contribución a largo plazo en el desarrollo económico municipal en esta investigación.

De acuerdo con la literatura, algunas recomendaciones para política públicas que buscan favorecer el impacto en el desarrollo económico de largo plazo a nivel municipal y/o comunitario son: promover esquemas asociativos y comunitarios de propiedad de los activos de generación de FNCER, con el objetivo de que las utilidades sean inyectadas a la economía local, así mismo, facilitar el acceso a capacitación y asesoría técnica que permitan la instalación de capacidades en las comunidades para diseñar, construir, operar y mantener este tipo de activos.

En el caso de los proyectos de FNCER, también podría evaluarse incluir en la políticas, reglas de participación de utilidades que permitan generar un mayor impacto y focalización en los municipios, ya que el régimen de regalías aplicable a la generación hidráulica implica una dispersión amplia de los recursos en todos los municipios del área de influencia del proyecto. Esto parece ser abordado en la nueva legislación de trasferencias de FNCER, ya que, en el caso de los proyectos solares y eólicos, las áreas de influencia pueden comprender un número reducido de municipios por no depender de cuentas hidrográficas que involucran a un número mayor de municipios.

También es recomendable mantener incentivos tributarios para las inversiones de capital en tecnologías de FNCER y promover préstamos a tasas preferenciales que permitan que alcaldías y comunidades de municipios con bajos ingresos accedan a recursos que permitan invertir en sus propias plantas de generación a pequeña escala de FNCER.

11. REFERENCIAS

ANLA. (2018). *Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales* (p. 228). http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/comunicaciones/permisos/metodologia_estudios_ambientales_2018_0.pdf

Athayde, S., Duarte, C. G., Gallardo, A. L. C. F., Moretto, E. M., Sangoi, L. A., Dibo, A. P. A., Siqueira-Gay, J., & Sánchez, L. E. (2019). Improving policies and instruments to address cumulative impacts of small hydropower in the Amazon. *Energy Policy*, *132*(May), 265–271. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.05.003

Berka, A. L., & Creamer, E. (2018). Taking stock of the local impacts of community owned renewable energy: A review and research agenda. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *82*(July), 3400–3419. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.050

Bertheau, P. (2020). Assessing the impact of renewable energy on local development and the Sustainable Development Goals: Insights from a small Philippine island. *Technological Forecasting and Social Change*, *153*(April).

https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119919

Clausen, L. T., & Rudolph, D. (2020). Renewable energy for sustainable rural development: Synergies and mismatches. *Energy Policy*, *138*, 111289. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111289

Cunningham, S. (2020). Causal Inference. In *Causal Inference*. Yale University Press. https://doi.org/10.2307/j.ctv1c29t27

DANE. (2021). *Geoportal: Geovisor de Consulta de Codificación de la División Política Administrativa*. https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/territorio/consulta-divipola-division-politico-administrativa-de-colombia/

de Faria, F. A. M., Davis, A., Severnini, E., & Jaramillo, P. (2017). The local socio-economic impacts of large hydropower plant development in a developing country. *Energy Economics*, *67*, 533–544. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.08.025

Díaz, D. (2016). *Panorama Actual y Futuro de las Energías Renovables Miembros WEC Colombia*. https://www.energycolombia.org/wp-content/uploads/Panorama-actual-de-las-energías-renovables-en-el-mundo.pdf

Droege, P. (2008). Urban Energy Transition: An Introduction. *Urban Energy Transition*, 1–14. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045341-5.00029-3

Droege, P. (2018). The Great Transformation: Cities and Regions Embracing Renewable Energy. In *Urban Energy Transition* (2nd ed.). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102074-6.00001-2

EPM. (2021). *En el primer semestre de 2020, EPM transfirió cerca de $44.500 millones a municipios antioqueños y Corporaciones Autónomas Regionales*. https://www.epm.com.co/site/epm-giro-cerca-de-44500-por-concepto-de-transferencias-del-sector-electrico

Gadonneix, P., Sambo, A., Guobao, Z., Kim, Y. D., Teyssen, J., Lleras, J. A. V., Naqi, A. A., Meyers, K., Shin, H. C., Nadeau, M.-J., & others. (2020). World Energy Issues Monitor 2020. *World Energy Council*.

Haggett, C., & Aitken, M. (2015). *Grassroots Energy Innovations : the Role of Community*

Ownership and Investment. 98–104. https://doi.org/10.1007/s40518-015-0035-8

IDAE, I. para la D. y A. de la E. (2011). *Impacto económico de las energías renovables en el sistema productivo español. Estudio técnico PER 2011-2020*.

Jenniches, S. (2018). Assessing the regional economic impacts of renewable energy sources - A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *93*(July 2017), 35–51. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.008

Kelly, S. (2019). Megawatts mask impacts: Small hydropower and knowledge politics in the Puelwillimapu, Southern Chile. *Energy Research and Social Science*, *54*(May), 224–235. https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.04.014

Liu, W. (2016). Is renewable energy effective in promoting local economic development? The case of China. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, *8*(2). https://doi.org/10.1063/1.4945006

Mendoza, M. V., Ocampo, P. C., León, H. G., & Urrego, L. R. (2018). La gestión para cadena de suministro de sistemas de energía solar fotovoltaica en Colombia y su situación actual. *Avances: Investigación En Ingeniería*, *15*(1), 2619–6581. https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/1368

Minenergía. (2019). *Día histórico para las energías renovables en Colombia: por primera vez, la energía del sol y del viento llegará, a precios más bajos, a los hogares colombianos*. https://www.minenergia.gov.co/historico-de-noticias?idNoticia=24146550

Moncada, C., & Vacca, J. (2010). *EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICO DE LA MICROTURBINA PELTON INSTALADA EN LA VEREDA DEL JUNCAL, MUNICIPIO DE SIMITI, SUR DE BOLIVAR*. 109. https://www.academia.edu/31615930/BOMBAS_CENTRIFUGAS_CONECTADAS_EN_SERIE_Y_EN_PARALELO

Naumann, M., & Rudolph, D. (2020). Conceptualizing rural energy transitions: Energizing rural studies, ruralizing energy research. *Journal of Rural Studies*, *73*(March 2018), 97–104. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.12.011

Osorio-Londoño, I. (2017). Impactos ambientales, sociales y económicos de las pequeñas

centrales hidroeléctricas (PCH) en Antioquia. *Universidad EAFIT*, 56.

Patricia, L., & Vega, G. (2019). *Impactos socio ambientales generados por la construcción de centrales hidroeléctricas en Colombia*.

Rúa, E. (2019). Transición Energetica En Colombia Oportunidad Para Las Energías Renovables. *Ingenio Magno*, 6–10.

Slee, B. (2020). Social innovation in community energy in Scotland: Institutional form and sustainability outcomes. *Global Transitions*, *2*, 157–166. https://doi.org/10.1016/j.glt.2020.07.001

Standar, A., Kozera, A., & Satoła, Ł. (2021). The Importance of Local Investments Co-Financed by the European Union in the Field of Renewable Energy Sources in Rural Areas of Poland. *Energies*, *14*(2), 450. https://doi.org/10.3390/en14020450

Terrapon-Pfaff, J., Dienst, C., König, J., & Ortiz, W. (2014). A cross-sectional review: Impacts and sustainability of small-scale renewable energy projects in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *40*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.161

Torres, A., Caballero, H., & Awad, G. (2014). Hidroeléctricas y desarrollo local ¿ mito o realidad ? caso de estudio : Hidroituango Hydropower and Local Development Myth or reality ? Case Study : Hidroituango. *Revista Del Instituto de Energía, Facultad de Minas*, 10.

UPME. (2015). Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia. In *Unidad de Planeación Minero Energética*. http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

UPME. (2020). *Plan Energético Nacional - PEN*. *F-DI-04 – V3*, 58.

UPME. (2021). *Informe de registro de proyectos de generación de eléctricidad*. https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiODRjNWM2NmEtZDI5MC00OGJhLWFmMTItYmU3NTNiMDE4MTM2IiwidCI6IjUxYzFhOGQwLTMyYmQtNDZlYi05YmRlLTkxZTZlNGU3MDRmZCJ9

van der Waal, E. C. (2020). Local impact of community renewable energy: A case study of an Orcadian community-led wind scheme. *Energy Policy*, *138*(December 2019), 111193. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111193

Wassie, Y. T., & Adaramola, M. S. (2021). Socio-economic and environmental impacts of rural electrification with Solar Photovoltaic systems: Evidence from southern Ethiopia. *Energy for Sustainable Development*, *60*, 52–66. https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.12.002

World Energy Council. (2019). *Energy Transition Toolkit*. 52.

XM. (2019). *Resultados generales subasta OEF 2022 - 2023*. 6. https://www.xm.com.co/Resultado subasta cargo por confiabilidad/ResultadosSubasta OEF22-23.pdf

XM. (2021). *PARATEC. Parámetros técnicos del SIN. Listado pequeñas centrales eléctricas.* http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/generacion.aspx?q=lista

Yah, N. F., Oumer, A. N., & Idris, M. S. (2017). Small scale hydro-power as a source of renewable energy in Malaysia: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *72*(October 2016), 228–239. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.068