

Universidad de Buenos Aires  
Facultad de Ciencias Económicas  
Escuela de Estudios de Posgrado

---

MAESTRÍA EN ECONOMÍA

---

TRABAJO FINAL DE MAESTRÍA

---

**El impacto del nuevo Sistema General de Regalías (SGR) en el desempeño fiscal de los municipios petroleros en Colombia.**

AUTOR: **[SERGIO MANRIQUE PARRA]**

DIRECTOR: **[Dr. Luis Trajtenberg]**

[NOVIEMBRE 2022]

---

# Contenido

1. Resumen .....	3
2. Justificación.....	4
3. Definición del problema.....	6
4. Objetivos .....	7
4.1. Objetivo General.....	7
4.2. Objetivos Específicos .....	7
5. Revisión de la literatura.....	8
6. Metodología .....	14
6.1. El método combinado de Dobles Diferencias Emparejadas ( <b>DDE</b> ).....	18
7. Recursos y problemas potenciales.....	20
8. Estructura de capítulos .....	21
9. Resultados. ....	22
9.1. Estrategia de identificación para el grupo tratado y control.....	22
9.2. Modelo Probit para la determinación de la probabilidad de participación (pscore)..	26
9.3. Restricción de las probabilidades de participación vía soporte común. ....	28
9.4. Pruebas de falsificación. ....	31
9.5. Estimación del impacto promedio sobre los tratados (ATT).....	32
9.6. Estimación del impacto promedio sobre los tratados (ATT) mediante Dobles Diferencias Emparejadas (DDE). ....	34
10. Conclusiones y recomendaciones .....	37
11. Bibliografía.....	40
12. Anexos. ....	44

## **1. Resumen**

Las transferencias monetarias derivadas de la explotación petrolera han sido desde hace unos años, fuente de diversos debates en el ámbito nacional. Las múltiples opiniones respecto a si las transferencias directas a los municipios petroleros son eficientes o no han sido la piedra angular para que se hayan llevado a cabo numerosas investigaciones en este tema. El punto a inflexión que motiva a esta investigación es la implementación del Nuevo Sistema General de Regalías (SGR) en el año 2012, ya que su incorporación trajo consigo una repartición más equitativa de los recursos derivados de la explotación petrolera, los cuales se venían asignando exclusivamente a los municipios productores de hidrocarburos o portuarios. Usando el método de emparejamiento o Propensity Score Matching (PSM) y el método combinado de Dobles Diferencias Emparejadas para una muestra de 1,101 municipios, y una base de datos que comprende el periodo 2010-2018, se estima el impacto de la implementación del SGR sobre el desempeño fiscal de los municipios seleccionados, buscando así corroborar la hipótesis sobre la existencia de pereza fiscal en Colombia.

## 2. Justificación

El impacto de las transferencias derivadas de los recursos naturales en Colombia se ha venido reflejando no solamente en el desempeño fiscal de los municipios productores de hidrocarburos (Amador, 2012). De hecho, el impacto de la distribución de estos recursos repercute en muchos otros escenarios como lo son los indicadores socioeconómicos, las desigualdades y disparidades entre regiones y el crecimiento económico.

En vista de que gran parte de la bibliografía sobre los recursos naturales, su impacto en el desempeño fiscal y la temática de las regalías en Colombia ha sido estudiada más de forma descriptiva (con trabajos que presentan comparaciones pre-post a la implementación del SGR) que de forma cuasiexperimental (con métodos de evaluación de impacto a través de PSM y efectos fijos), resulta oportuno que este trabajo también refuerce la intención de realizar una evaluación de impacto sobre la implementación del SGR; ya que así se podrá proveer un marco amplio sobre diversos mecanismos que vayan más allá de la simple observación, incursionando en la aplicación de metodologías de evaluación de impacto para estudiar esta temática en el territorio nacional.

En lo concerniente a los pocos trabajos que estudiaron el SGR en Colombia mediante técnicas cuasiexperimentales, se destaca que una de las metodologías más usada ha sido el Propensity Score Matching (PSM), cuyos supuestos y aplicabilidad van de la mano con la disponibilidad de datos a nivel municipal para realizar un análisis pre-post tratamiento lo suficientemente amplio. De esta bibliografía no solo se puede aprender y fortalecer el desarrollo cuasiexperimental de esta investigación, sino que también se puede marcar un contexto sobre las conclusiones y resultados evidenciados en esta temática para contrastar y validar hipótesis sobre el impacto del SGR en Colombia. Por ende, el hecho de escoger una técnica de análisis cuasiexperimental reforzará los resultados aquí presentados a través de bases sólidas y servirá de respaldo para posibles replicas que se quieran llevar a cabo en el futuro, además de contribuir a la carencia de estudios que hacen uso de metodologías cuasiexperimentales para estudiar el SGR.

En este sentido, un aporte importante de esta investigación consiste en determinar los impactos que se desprenden de la creación del nuevo Sistema General de Regalías (SGR) en

el desempeño fiscal de los municipios petroleros, ya que este impacto será un indicador no sólo del potencial de recaudo propio de cada uno de los municipios, sino que también presentará la evidencia necesaria para aseverar el hecho de que exista o no pereza fiscal en el territorio colombiano.

Otro aporte relevante de esta investigación es que los resultados aquí encontrados son de gran interés para las autoridades locales, ya que permiten entender cuáles son las ventajas y desventajas que trae la implementación del SGR en el desempeño fiscal de los municipios. De esta manera, la utilidad de estos resultados está orientada en que los gobiernos subnacionales puedan contar con las herramientas y las evidencias necesarias para emplear de forma eficiente los sistemas de recaudo propios y prever los efectos de la maldición de los recursos naturales.

### 3. Definición del problema

La relación entre el desempeño fiscal y los recursos derivados de la explotación petrolera en Colombia no ha sido constante a lo largo de los años (Bonet & Urrego, 2014). En parte, esto es debido a cambios legales y constitucionales que ha sufrido el país, los cuales han reestructurado la forma en que los gobiernos subnacionales han sido beneficiados por estas transferencias.

En este sentido, diversos autores han planteado hipótesis sobre el beneficio o las desventajas que trae para los municipios ser dependientes en gran medida de los recursos derivados de hidrocarburos. Por lo tanto, en primera instancia, resulta oportuno analizar los principales cambios en materia de redistribución de los ingresos de regalías desde un periodo previo a la creación del SGR en Colombia, con la intención de conocer de antemano cuales regiones se han visto beneficiadas y cuales se han visto perjudicadas por la incursión este sistema.

De acuerdo con Bonet, Finol, Urrego y Villa (2014), antes<sup>1</sup> de que se implementara el SGR en el año 2012, las transferencias derivadas de los hidrocarburos se destinaban únicamente a los municipios en los que se hicieran explotaciones de recursos naturales no renovables o que estuvieran involucrados en el transporte de estos recursos, en lineamiento con lo que establecía la Constitución Política de 1991 donde se estipulaba que estos municipios debían ser los únicos beneficiarios de estos recursos. Esto llevó a que, por ejemplo, para el periodo 2002-2011, la concentración de estos recursos se reuniera tan solo en siete<sup>2</sup> departamentos, los cuales disponían de aproximadamente el 70% de todos los recursos.

En materia fiscal para el periodo previo a la implementación del SGR, se había evidenciado que muchos de los municipios beneficiados disminuían su desempeño de recaudo debido a las transferencias por regalías, lo que permite aseverar la hipótesis sobre la existencia de pereza fiscal en los gobiernos subnacionales para el periodo previo al SGR (Bonet-Morón, Valbuena, & Ricciulli-Marin, 2017).

---

<sup>1</sup> Específicamente, antes de la expedición de la Ley 1530 de 2012, “Por la cual se regula la organización y el funcionamiento del Sistema General de Regalía” (Echavarría, 2020).

<sup>2</sup> Arauca, Casanare, Cesar, Guajira, Huila, Meta y Santander.

En este sentido, con la creación del Sistema General de Regalías (SGR) y su implementación desde el año 2012 mediante una fórmula que estipula los ingresos para los municipios con mayor población y pobreza; las transferencias por hidrocarburos se empezaron a distribuir entre todos los municipios del país y no solo entre productores y transportadores.

Así las cosas, es precisamente en este punto donde se visualiza una oportunidad única para plantear una evaluación de impacto del nuevo sistema de regalías sobre el desempeño fiscal de los municipios. Para esta investigación, la idea central en torno al SGR estará orientada en encontrar cuál es el impacto de la implementación de este sistema en el recaudo tributario, con la intención de reflejar el desempeño fiscal. Para los municipios receptores se pretende corroborar si: ¿Hay evidencias que reflejen una mejora en el desempeño fiscal producto de la implementación del SGR en los municipios petroleros? ¿Hay pereza fiscal luego de la implementación del SGR?

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo General**

Estimar el impacto promedio de la implementación del Sistema General de Regalías (SGR) en el desempeño fiscal de los municipios petroleros en Colombia para el periodo 2010-2018.

### **4.2. Objetivos Específicos**

- Presentar evidencia que permita validar la existencia de pereza fiscal en el escenario colombiano.
- Analizar los principales cambios en materia de redistribución de las regalías en los gobiernos subnacionales a partir de la creación del SGR
- Comprobar si los resultados de este trabajo coinciden con la evidencia a favor de la existencia de pereza fiscal en los análisis previos a la creación del SGR.

## 5. Revisión de la literatura

Actualmente existe una literatura tan amplia como heterogénea respecto al desempeño fiscal y su relación con la explotación de recursos naturales no renovables (RNNR) en el ámbito nacional e internacional. En términos generales, la mayoría de los autores suelen acuñar diversas hipótesis basadas en términos como “pereza fiscal”, “maldición de los recursos naturales”, “transferencias condicionadas”, “desempeño fiscal”, “descentralización”, entre otros. Dentro de dicha literatura, diversos autores por lo general se han enfocado en estudiar cómo los recursos derivados de la explotación de RNNR presentan una relación inversa<sup>3</sup> respecto del desempeño fiscal, ya sea sobre los municipios o departamentos “beneficiados” por estas transferencias.

En el ámbito internacional, el consenso general se fundamenta en que los gobiernos que son beneficiarios de transferencia derivadas de la explotación de RNNR, en su mayoría son propensos a relajar sus otras fuentes de ingresos, lo que se entiende como pereza fiscal. Sin embargo, también hay diversos escenarios donde las transferencias condicionadas no son estrictamente derivadas de los RNNR, y, aun así, también pueden ser útiles para reflejar una relación entre transferencias-pereza fiscal.

Bajo esta perspectiva, cabe destacar a trabajos como el de Mercadillo, Malásquez y Monge, (2010), donde se evidencia la existencia de pereza fiscal<sup>4</sup> para el municipio de Morelia en el periodo 1980-2003. Usando una metodología econométrica, los resultados principales reflejan que, para este caso, los incrementos en las transferencias condicionadas derivadas del gobierno federal incentivan los desequilibrios y la existencia de pereza fiscal en este municipio. Sin embargo, también es importante destacar que en este trabajo se presentan otras hipótesis que pueden ser válidas para entender mejor esta relación, como lo son el mal

---

<sup>3</sup> Aunque el estudio de esta relación inversa sea lo más común, trabajos como el de Carnicelli y Postali (2014) presentan evidencia robusta sobre la existencia de una relación positiva (o nula) entre RNNR y desempeño fiscal de los municipios beneficiados.

<sup>4</sup> Corroborando esta relación para el caso de Brasil, Carnicelli y Postali (2014) presentan evidencia sobre los efectos negativos de las regalías en el esfuerzo fiscal de los municipios usando una metodología de Matching (emparejamiento) en la escogencia de los contrafactuales.



manejo de las fianzas públicas, la corrupción, o insipientes desempeños de los funcionarios a cargo de la inversión de estos recursos.

Como contraparte a lo evidenciado en el trabajo anterior, y entrando de lleno en un escenario donde sí se pueden percibir las participaciones de los ingresos por regalías de una forma desagregada entre los ingresos totales, Andía y Saravia (2005) se enfocan en evaluar el impacto de las transferencias sobre el esfuerzo fiscal haciendo uso de una metodología de datos de panel<sup>5</sup> por efectos fijos y variables para el periodo 1998-2002 en los municipios distritales y provinciales de Perú.

Los resultados en este caso contradicen al trabajo anterior (y a la mayoría de la literatura), ya que evidencian una relación positiva entre las transferencias y el esfuerzo fiscal promedio de los municipios estudiados. Sin embargo, es importante resaltar que se presentó una significativa heterogeneidad entre departamentos frente a esta relación positiva. Como hipótesis principal para validar esta relación, los autores proponen que las transferencias de recursos derivados del gobierno central en realidad generan un incentivo para que los gobiernos subnacionales decidan promover sus fuentes tradicionales de recaudo propio.

En cuanto a la literatura sobre esta temática en Colombia, resulta oportuno mencionar que el estudio de esta relación entre los RNNR y el desempeño fiscal no es propiamente originaria de las evaluaciones de impacto o los análisis derivados de la implementación del SGR. Por el contrario, como evidencian Bonet et al (2017), la hipótesis sobre la existencia de pereza fiscal se ha estudiado desde hace bastante tiempo, y por lo tanto tiene una relación significativa con la descentralización<sup>6</sup> colombiana, mediante la cual se establecieron las nuevas normas a seguir en materia de distribución de las regalías entre gobiernos subnacionales.

Precisamente en este escenario previo al SGR, trabajos como el de Ramírez y Bedoya, (2014) analizan los efectos de las regalías en el esfuerzo fiscal para los municipios entre el 2004 al 2011, basándose en que este indicador se define como los recaudos por impuesto predial per

---

<sup>5</sup> También se estimó un modelo de panel dinámico para estudiar la relación entre las transferencias y su impacto en el nivel de actividad local.

<sup>6</sup> Trabajos como el de Chacón y Sánchez (2020) exploran el impacto de la descentralización en el desempeño fiscal de los municipios colombianos.

cápita en cada uno de los municipios analizados. Mediante métodos de estimación de panel con efectos fijos, los autores presentan resultados robustos frente a la elasticidad del esfuerzo fiscal en el corto y largo plazo.

Como resultados principales, los autores encuentran evidencia a favor de la existencia de pereza fiscal, con la particularidad de que a largo plazo esta condición disminuye en su intensidad. Este resultado es relevante en el sentido en que permite plantear ciertas hipótesis; la más común es que los municipios pueden considerar transitorios este tipo de ingresos y de cierta manera prepararlos para fortalecer otros mecanismos que les permitan contar con ingresos permanentes a largo plazo.

En contraparte con los resultados evidenciados en el trabajo inmediatamente anterior, pero aun formando parte de la literatura previa a la creación del SGR para el caso colombiano, autores como Perry y Olivera (2009), haciendo uso de análisis econométricos, estudian la relación entre los ingresos derivados de las regalías y el esfuerzo fiscal propio de los municipios productores de hidrocarburos y carbón.

En este caso, el esfuerzo fiscal propio se mide de acuerdo con los ingresos tributarios per cápita de los municipios en cuestión. Con datos para el año 2002, los resultados en este trabajo reflejan una relación positiva entre la inversión pública y los ingresos por regalías, negando así la existencia de pereza fiscal.

Algo a destacar en lo que respecta a los trabajos enfocados en el periodo previo a la creación del SGR, es que en general comparten la hipótesis de que sus conclusiones, ya sea mediante resultados a favor o en contra de la existencia de pereza fiscal, también pueden ser aplicables a la nueva estructura del SGR.

En cuanto a la literatura sobre los impactos de la creación del SGR en el desempeño fiscal en Colombia, cabe destacar el trabajo de Bonet et al (2014), en el cual, haciendo uso del análisis dosis-respuesta basado en el método de Hirano y Imbens (2004), estudian el impacto de la creación del SGR sobre el desempeño fiscal de los municipios.

Si bien es cierto que en este caso los autores trabajan con un periodo posterior muy inmediato a la creación de este sistema<sup>7</sup>, los resultados (aún en un periodo de corto plazo) reflejan que el desempeño fiscal decrece a medida que se incrementa la dependencia de las regalías en los municipios. Lo interesante en este caso es que esta evidencia refuerza la hipótesis sobre los efectos negativos de la maldición de los recursos naturales, presentes mediante la existencia de pereza fiscal.

De acuerdo a los trabajos analizados hasta este punto, se pueden resaltar dos cuestiones que tienen relación con la literatura en la que se basa esta investigación. La primera de ellas es que se ejemplifica de una manera concisa que la pereza fiscal, así como la relación entre los ingresos provenientes de los RNNR y el desempeño fiscal, no tienen por qué ser abordados desde una única perspectiva. Por ejemplo, mientras que Bonet et al (2014) usan como línea de base el 20% de la participación de las regalías en los ingresos totales de los municipios para emplear el análisis dosis-respuesta, Ramírez y Bedoya (2014) abordan esta misma cuestión a través de los ingresos por impuesto predial per cápita de los municipios. Lo relevante de esta diferencia entre las formas de encarar el impacto de los RNNR radica en que las dos posiciones conllevan a que se valide la hipótesis de que existe pereza fiscal y una relación negativa entre las asignaciones de regalías y el desempeño fiscal de los municipios.

La segunda cuestión, es que se permiten validar las propuestas realizadas por los trabajos previos a la creación del SGR<sup>8</sup>, donde se proponía que la evidencia sobre la existencia de pereza fiscal también podía ser aplicada a un periodo posterior a la creación del SGR, incluso teniendo en cuenta la enorme redistribución de recursos para los gobiernos subnacionales bajo este nuevo sistema.

Siguiendo la línea de estos autores se puede evidenciar que la literatura de los recursos naturales no sólo se relaciona con indicadores de desempeño fiscal. Trabajos como el de Bonet y Ayala (2015) hacen énfasis en la existencia de disparidades fiscales horizontales para el periodo 1985-2014, con base en las ejecuciones presupuestales de los municipios colombianos y discriminando entre las transferencias derivadas del Sistema General de Participaciones (SGP) y el Sistema General de Regalías (SGR).

---

<sup>7</sup> Los autores emplearon datos para el año 2012 para una muestra de 1.025 municipios en todo el país.

<sup>8</sup> Esta hipótesis se plantea en Ramírez y Bedoya (2014).

Los resultados en este caso reflejan una reducción en las disparidades fiscales de los gobiernos subnacionales producto de un incremento en las transferencias, cuyos resultados resultan contrarios de acuerdo a si se evalúa en base al SGP o al SGR. Este escenario resulta clave para entender la relación entre los RNNR y el desempeño fiscal, ya que algo que se debe tener presente es que las diferencias entre regiones o gobiernos subnacionales persisten a través del tiempo e incluso a través de diversos escenarios, logrando así que existan disparidades en el desempeño fiscal de cada uno de ellos sin que estas se puedan explicar exclusivamente por las transferencias derivadas de regalías.

Asimismo, trabajos como el realizado por Ospina, Quintero, Chitiva y Guzmán (2015) enfatizan en esta relación entre la distribución de regalías y las brechas regionales en Colombia. En este caso, los autores se centran en evidenciar si el cambio derivado de la creación del SGR ha tenido influencia en que se cierren las brechas entre las regiones. Los resultados son relevantes en el sentido en que permiten validar la hipótesis de una reducción de brechas, sin embargo, esto se condiciona a que estos efectos positivos se den por lo general en los departamentos centrales de Colombia.

En cuanto a la literatura que se enfoca en desarrollar esta temática mediante metodologías de evaluación de impacto con desarrollos econométricos, trabajos como el de Amador (2012) y Moreno (2018) han incursionado en utilizar técnicas cuasiexperimentales de evaluación de impacto para evidenciar los efectos de este sistema en el desempeño de las condiciones socioeconómicas y de calidad de vida de los municipios antes y después de su implementación. Por su parte, Amador (2012) se enfocó en estudiar si en el periodo 1993-2005, las regalías directas contribuyeron a un desarrollo positivo para los municipios receptores, mientras que en el trabajo de Moreno (2018) extendió el análisis para el periodo concerniente a la implementación del SGR, sin embargo, su impacto sólo se ve reflejado frente a la calidad de vida de los municipios receptores a través de un Índice de Desarrollo Social y Económico Local (ISEL). Un tercer estudio, que realiza un análisis más descriptivo donde se evidencia el antes y el después de la creación del SGR, es el presentado por Bonet y Urrego (2014).

Como conclusión respecto a la literatura relacionada, es importante recalcar el hecho de que las variables relevantes como el “esfuerzo fiscal” o la “pereza fiscal” no deben ser definidas

de una manera incontrovertible. Como bien se mencionó anteriormente, la literatura que rodea la existencia o no de la pereza fiscal es ciertamente heterogénea; por ende, una ventaja en este punto es que no se presenta un marco normativo que limite la forma en que se deciden abordar estos conceptos en este trabajo.

### **5.1.La maldición de los recursos naturales**

Dentro de los potenciales estragos que pueden provocar las transferencias derivadas de la explotación de recursos no renovables, la literatura se ha centrado en tratar de explicar los casos en los cuales se presenta una relación económicamente adversa al estilo de la “enfermedad holandesa”, o aquellos casos en los cuales las transferencias presuponen un uso inadecuado de las mismas por cuestiones como la corrupción, la violencia o la debilidad de las instituciones (Amador, 2012).

En el ámbito más tradicional de este concepto, trabajos como Collier y Goderis, (2007); Mehlum y Moene (2006); Arezki y Ploeg (2007) entre otros, señalan en consenso que los impactos ya sean positivos o negativos, tienen una relación directa con la calidad de las instituciones que son beneficiadas por las transferencias.

Por otra parte, otra forma interesante de ilustrar esta relación es mediante una de las principales referencias empíricas, la cual está presente en los estudios de Sachs y Warner, (1995), quienes acuñan a la maldición como: “economías con mayor abundancia de recursos naturales crecen en forma lenta en comparación con economías con menor dotación de recursos naturales”

Por lo general estas ideas no se escapan de la forma en que se ha encarado este concepto en las regiones de Colombia. En este escenario, trabajos como el de Perry y Olivera, (2009) y Campo y Sanabria (2013) presentan evidencia empírica sobre este concepto usando diferentes metodologías para diversos periodos de interés.

## 6. Metodología

El uso de metodologías cuasi experimentales para evaluar el impacto de políticas públicas es considerado clave para evidenciar relaciones de causalidad entre estos programas y diversas variables de resultado sobre las cuales el investigador espera evidenciar un potencial impacto (Bernal & Peña, 2011). En este sentido, bajo la intención de cumplir con el objetivo propuesto de evaluar el impacto de la implementación del SGR en el desempeño fiscal de los municipios petroleros en Colombia, se hace uso de la metodología de Propensity Score Matching<sup>9</sup> (PSM).

La idea central bajo la implementación de este método no experimental consiste en hacer uso del contrafactual<sup>10</sup> más “cercano” a las observaciones tratadas, que en este caso serán todos aquellos municipios que se cataloguen como petroleros con base al peso que tengan sus recursos derivados de las regalías como parte de los ingresos totales corrientes, para contrastar sus variables de resultado de interés una vez que se ha controlado por un vector de características observables  $X$  (Khandker, Koolwal, & Samad, 2010).

Para la apropiada utilización del método es necesario dar solución a ciertas cuestiones que pueden dificultar su uso. La primera de ellas es una de las más comunes en el diseño cuasi experimental y la evaluación de impacto de políticas: la imposibilidad de poder observar a los beneficiarios en un escenario con intervención y sin intervención en el mismo periodo de tiempo.

La segunda es la posibilidad de que las variables de resultado observables estén sesgadas por diversos eventos que se desarrollen a la par con la intervención de la política. Y la tercera cuestión son todas aquellas diferencias entre los grupos tratados y control que se escapan a la simple observación o son imperceptibles para el investigador.

En este sentido, resulta imperativo contar con un buen grupo de control que permita hacer inferencia sobre el efecto que puede traer la implementación del SGR en los municipios tratados. Por lo tanto, tomando como referencia a trabajos como el de Amador (2012) y

---

<sup>9</sup> También conocido como el Método de Pareamiento o Matching

<sup>10</sup> Es decir,  $E[Y_i(0)|D_i = 1]$ . Un escenario donde los municipios tratados no hubiesen sido afectados por la política (en este caso, la implementación del SGR).

Moreno (2018), se definió al grupo de tratamiento (*GT*) como aquellos municipios cuyos recursos derivados de las regalías representen al menos el 40% de los ingresos totales corrientes, mientras que el grupo de control (*GC*) se escogió como los municipios restantes de la muestra. De igual manera, se escogió el año 2010 como el periodo base, en representación de un escenario pre SGR, y se definió al año 2018 como el periodo post SGR.

Así las cosas, si lo que se busca es estimar el impacto de la intervención, siguiendo la metodología planteada por Rosenbaum y Rubin, (1983), basta con hallar el *impacto promedio sobre los tratados* (*ATT*) o  $\tau_{ATT}$ , el cual se define como:

$$\tau^{ATT} = E(Y_i(1)|D_i = 1) - E(Y_i(0)|D_i = 1)$$

Como se puede evidenciar, esta expresión no es más que una diferencia entre las medias de la variable explicada entre un escenario con y sin intervención condicional en pertenecer al grupo de tratamiento. De esta forma se hace uso del contrafactual y se puede evidenciar la relevancia en su escogencia, ya que resulta clave para la estimación del efecto medio de la intervención.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la expresión anterior en realidad es una parte de la estimación total del impacto del programa. Para evidenciar esto, se puede partir del impacto de la intervención en las variables explicadas para el grupo de tratamiento menos la suma y la resta del contrafactual, lo que lleva a la expresión:

$$= E(Y_i(1)|D_i = 1) - E(Y_i(0)|D_i = 1) + E(Y_i(0)|D_i = 1) - E(Y_i(0)|D_i = 0)$$

Puesto que ya se ha definido a la expresión  $\tau^{ATT} = E(Y_i(1)|D_i = 1) - E(Y_i(0)|D_i = 1)$  como el *ATT*, que es lo que interesa para evidenciar el impacto del programa, basta entonces con tratar de minimizar o considerar inexistente la expresión  $E(Y_i(0)|D_i = 1) - E(Y_i(0)|D_i = 0)$ , la cual no es más que el sesgo de selección; es decir, la diferencia entre el contrafactual y la variable explicada en el grupo de control (Bernal & Peña, 2011).

Como la intención es estimar un impacto del programa libre de sesgos de selección, la estrategia que permite hacer cero a la expresión  $E(Y_i(0)|D_i = 1) - E(Y_i(0)|D_i = 0)$  es lo que se conoce como el supuesto de Independencia Condicional (*IC*).

Básicamente, lo que este supuesto permite asumir es que las diferencias en las características observables se deben únicamente al sesgo de selección.

$$Y(0), Y(1) \perp D|X, \forall X$$

En concreto, este supuesto implica que las variables no observadas no pueden determinar la participación en el programa. Lo que de entrada excluiría el hecho de que las variables que no pueden ser medidas o que no están disponibles para el analista influyan en la decisión de participar en el programa. Por este motivo, este supuesto es considerado fuerte y su incumplimiento puede derivar en sesgos para el estimador de *ATT*.

Una vez definido el requisito de *IC*, la metodología está encaminada en cómo elegir el clon del grupo de control ideal para cada individuo dentro del grupo de tratamiento. Para ello, se puede elegir entre dos alternativas principales. La primera de ellas consiste en emparejar a los individuos según el vector de características observables  $X$  predeterminado y así hacer una comparación de las variables de resultado en ambos grupos. Es decir, el objetivo será ponderar los individuos del grupo de control para los que la distribución de características  $X$  sea lo más similar posible a la del grupo de individuos tratados.

Sin embargo, para garantizar el correcto desempeño del estimador *ATT*, es clave tener en cuenta que en este escenario puede surgir el problema de la Maldición de la Dimensionalidad<sup>11</sup>, la cual puede presentarse si el vector de características observables  $X$  es muy grande; es decir, si el número de variables sobre el cual se pretende emparejar es muy grande.

Justamente con la intención de solventar este posible inconveniente, resulta más oportuno hacer uso de la segunda opción<sup>12</sup>, la cual consiste en emparejar individuos vía probabilidades estimadas de participación en el programa, condicional en sus características observables  $P(X)$ <sup>13</sup>, las cuales suelen ser estimadas en la literatura mediante un modelo Probit, Logit o

---

<sup>11</sup> Para ver un caso práctico de este problema en los diseños cuasi experimentales, ver (Heinrich, Maffioli, y Vázquez (2010).

<sup>12</sup> En la práctica, una posibilidad de evitar caer en la Maldición de la Dimensionalidad bajo un emparejamiento exclusivo en el vector  $X$ , es tratar de hacer a este vector lo más pequeño posible, lo cual permitiría hacer comparaciones para las variables resultado para cada celda conformada por todos los valores de  $X$ . (Bernal & Peña, 2011)

<sup>13</sup> Conocida como Propensity Score o probabilidad de participación.



de probabilidad lineal. De esta forma, el proceso se encamina en encontrar aquel clon perteneciente al grupo de control cuya probabilidad de participar en el programa (dado un grupo de características observables) sea lo más cercana posible al individuo en el grupo de tratamiento. Formalmente, esto se representa como:

$$P(X) = P(D = 1|X)$$

Por lo tanto, una vez evidenciada la ventaja de emparejar mediante probabilidades de participación en lugar de hacerlo exclusivamente con base en el vector  $X$ <sup>14</sup>, resulta oportuno establecer ciertas condiciones que se deben cumplir para lograr un emparejamiento correcto entre los dos grupos de interés:

1. Que el vector de características  $X$  sea igual para el grupo de tratamiento como para el grupo de control. Esto implicará que la probabilidad de participación estimada de cada grupo esté determinada con base en las mismas características observables en cada grupo.
2. Que se cumpla la condición de soporte común ( $SC$ ). Es decir, una vez que se han estimado las probabilidades de participación en cada grupo, estas deben restringirse para una región en común que garantice que los dos grupos, al menos en términos de probabilidades  $P(X)$ , son muy parecidos. Formalmente, esto se puede expresar como:

$$0 < P(D = 1|X) < 1$$

Esta expresión refleja que, condicional en el vector de características observables  $X$ , no pueden existir individuos (municipios) con probabilidades cero o uno de pertenecer o no al programa (o en este caso de ser o no petroleros), lo que garantiza que no puedan existir escenarios donde se cumpla perfectamente la asignación o no en el programa. Esta condición de  $SC$  también asegura que para la estimación del  $ATT$  solo se utilicen individuos del grupo de control que cuenten con probabilidades de participación similares, excluyendo de la muestra a aquellos individuos que en términos de  $P(X)$  no constituyen un buen clon para los tratados.

---

<sup>14</sup> El detalle sobre las variables que se incluyen el vector  $X$  puede ser consultado en el anexo 1.

Una vez se ha garantizado que se cumplen estas condiciones (junto con el supuesto de *IC*), entonces el estimador *ATT* por *PSM* se expresa de la siguiente manera:

$$\tau_{ATT}^{PSM} = E_{P(X)|D=1}\{E[Y(1)|D = 1, P(X)] - E[Y(0)|D = 0, P(X)]\}$$

Por lo tanto, habiendo definido los supuestos esenciales para el correcto funcionamiento del método, y una vez estimadas las probabilidades de participación  $P(X)$  para toda la muestra de municipios, bastaría con seleccionar un algoritmo de emparejamiento<sup>15</sup> para encontrar el clon ideal de cada municipio en el grupo de control una vez que la muestra se ha restringido al soporte común.

Para concluir, bastaría con estimar el *ATT* del programa y calcular los errores estándar<sup>16</sup> para validar la significancia estadística de estos impactos. De igual manera, también pueden emplearse algunas pruebas de falsificación para complementar el análisis.

### 6.1. El método combinado de Dobles Diferencias Emparejadas (*DDE*).

Llegado a este punto, y teniendo en cuenta que los datos de los que se disponen representan un panel de datos de los municipios petroleros y no petroleros, resulta oportuno aprovechar esta información longitudinal para hacer uso de una metodología más robusta, donde se relajen los supuestos mencionados anteriormente y se pueda hallar un impacto mejor fundamentado de la implementación del SGR en Colombia en el desempeño fiscal.

En este sentido, una alternativa a la estimación del impacto mencionada en la sección anterior, es el uso del método de Dobles Diferencias Emparejadas (Heckman, Ichimura, & Todd, 1988), el cual hace uso de información longitudinal de la mano con el método de dobles diferencias y el método de emparejamiento previamente expuesto para calcular un nuevo estimador, conocido como el estimador de dobles diferencias emparejadas (*DDE*), el cual se presenta como  $\tau_{ATT}^{DDE}$ .

$$\tau_{ATT}^{DDE} = E_{P(X)|D=1}\{E[Y_2(1) - Y_1(1)|D = 1, P(X)] - E[Y_2(0) - Y_1(0)|D = 0, P(X)]\}$$

<sup>15</sup> En el anexo 2 se presenta un repaso sobre los algoritmos de emparejamiento que se usan en este caso.

<sup>16</sup> Es preciso tener en cuenta que, para algunos métodos de emparejamiento, el cómputo de los errores estándar constituye un proceso aparte, el cual por lo general se hace mediante *Trimming*.

Como se puede apreciar, este estimador también se presenta como una diferencia de medias entre la variable de resultado, con la novedad de que ahora esta diferencia se establece entre el periodo previo y posterior a la implementación de la política, ponderada por la distribución de la probabilidad estimada de participar en el programa. De esta manera, se pueden captar las diferencias de los grupos de control y tratamiento a través del tiempo.

En este sentido, para la correcta estimación del  $\tau_{ATT}^{DDE}$ , es indispensable definir dos condiciones que se deben cumplir. La primera de ellas consiste en que la evolución de las variables no observables sea independiente del tratamiento, es decir:

$$u_{i2} - u_{i1} \perp D|X, \forall X$$

Lo que representa esta expresión no es más que otra forma de ver la condición de Independencia Condicional (*IC*), la cual implica que tanto los tratamientos como los controles hubiesen evolucionado de la misma forma si no se hubiesen sometido al tratamiento. Es decir, en un escenario contrafactual, la variable de interés para los dos grupos no debería haber diferido<sup>17</sup> significativamente la una de la otra.

En esta instancia, se puede evidenciar que una de las ventajas de hacer uso de Dobles Diferencias Emparejadas sobre el Propensity Score Matching es que, al involucrar el cambio temporal en la variable de impacto, el supuesto de (*IC*) se puede validar de forma simple recurriendo al supuesto de tendencias paralelas propio del método de Diferencias en Diferencias<sup>18</sup> (*Diff en Diff*).

La segunda condición establece que, para poder comparar oportunamente a los grupos de tratamiento y control, las probabilidades de participación  $P(X)$  en el programa deben estar restringidas a un soporte común (*SC*). De esta manera, como en este caso este supuesto no sufre ningún cambio, lo que se exige es que se siga respetando la condición de  $0 < P(D = 1|X) < 1$  presentada anteriormente.

Una vez definidas estas las diferencias principales de este método, puede ser intuitivo considerar que el método de *DDE* no suele diferir en mayor medida al *PSM* en cuanto a la

---

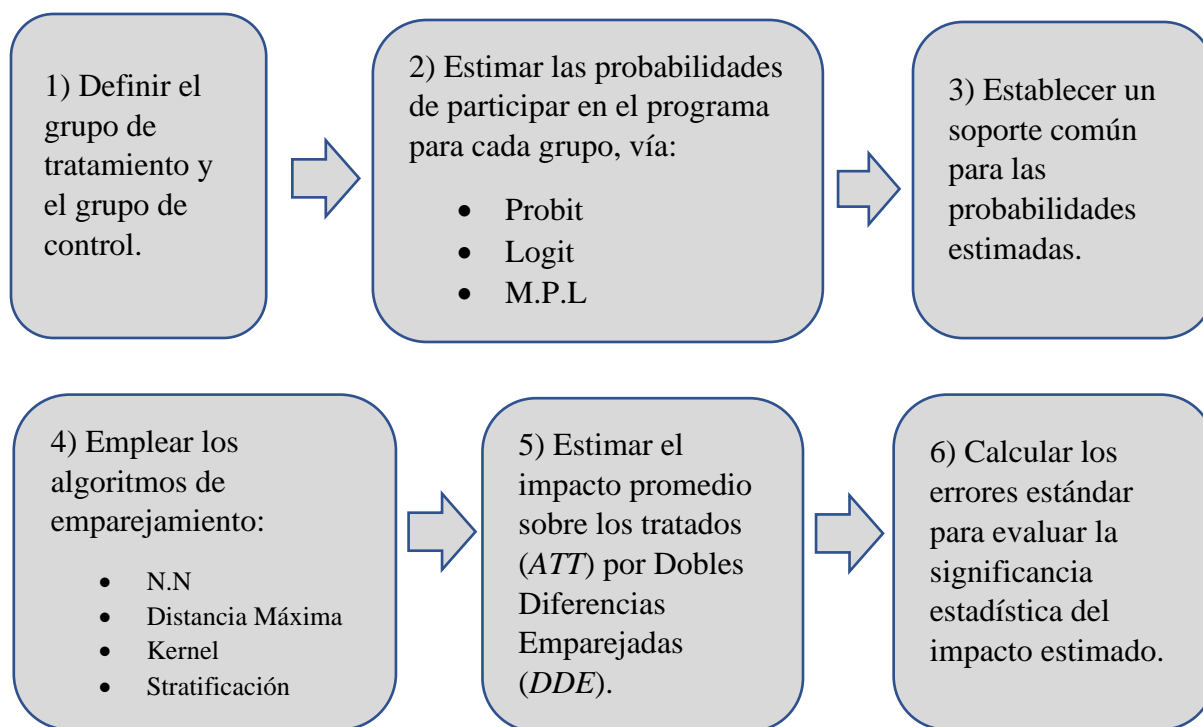
<sup>17</sup> Es decir, las variables de impacto no deberían tener tendencias distintas en un escenario sin intervención.

<sup>18</sup> El detalle sobre este supuesto se puede ver en Gertler, Premand, Rawlings, y Vermeersch, (2017).

estimación de probabilidades de participación producto de un vector de características  $X$  y en cuanto a los distintos algoritmos de emparejamiento que se pueden emplear en cada caso.

Para resumir lo que se ha enunciado hasta este punto, los pasos que resumen la metodología para la técnica de Dobles Diferencias Emparejadas se presentan en la siguiente figura.

*Ilustración 1 Metodología para la estimación del ATT por Dobles Diferencias Emparejadas*



Fuente: Elaboración propia

## 7. Recursos y problemas potenciales

Los principales inconvenientes para el desarrollo de los objetivos propuestos en esta investigación no difieren de los problemas comunes que se suelen encontrar al tratar de utilizar diseños cuasiexperimentales para evaluar el impacto de políticas públicas.

En primer lugar, la poca disponibilidad de información longitudinal para los municipios o regiones en Colombia es un problema que persiste a lo largo de las disciplinas de estudio y este caso no es la excepción. Por este motivo, lo que se pretende es hacer uso de múltiples plataformas gubernamentales y privadas para tratar de recolectar la mayor cantidad de

información posible respecto a las variables de interés por el periodo de tiempo que más se asemeje al que se pretende estudiar en este caso.

Una segunda dificultad radica en que la mayoría de la literatura relacionada con el uso de estas metodologías no suele extenderse en cuanto al herramental específico que se debe usar en los distintos lenguajes de programación. Por lo tanto, el proceso de estimación en este caso puede ser lento debido a que requiere bastante tiempo de revisión de literatura específica sobre cómo usar estas técnicas en la práctica mediante algún entorno de desarrollo.

## **8. Estructura de capítulos**

El desarrollo de esta investigación se desarrollará a lo largo de 4 capítulos. En el primero de ellos se abordará desde el resumen hasta el planteamiento del problema, donde se pretende que quede clara la problemática y la forma en que se van a desarrollar los objetivos.

En el segundo capítulo se profundizará en las referencias teóricas de la investigación, delimitando los alcances a los que se ha llegado en materia del impacto del SGR y las principales herramientas que se han implementado en su estudio.

El tercer capítulo se enfoca meramente en describir la metodología de la investigación y las diferencias entre los dos métodos que se plantean usar en este caso. También se pretende que este capítulo responda todas las dudas en materia de cómo se puede vincular el herramental descrito con el desarrollo de los objetivos propuestos.

En el último capítulo se presentan todos los resultados producto de la implementación de los modelos descritos previamente y se acompañan de las conclusiones principales. Este capítulo se refuerza con una serie de apéndices y tablas que complementan los capítulos previos.

## **9. Resultados.**

En esta sección se presenta el paso a paso de los resultados obtenidos. Inicialmente se presenta el criterio bajo el cual los municipios fueron categorizados como tratados y controles, además de presentar ciertas características geográficas sobre el contexto de las regalías en el territorio colombiano.

En cada caso se detalla mediante tablas la estimación de los efectos promedio del tratamiento sobre los tratados (ATT) y se discute sobre las principales diferencias resultado de emplear el método de Dobles Diferencias Emparejadas.

### **9.1. Estrategia de identificación para el grupo tratado y control.**

Tal como se ha planteado previamente en la metodología, el desarrollo de una técnica cuasiexperimental requiere que se defina apropiadamente el grupo de tratamiento y control previo a la estimación del impacto esperado.

En este sentido, bajo la intención de que el grupo de tratamiento fuese lo más centrado posible a la realidad colombiana, la estrategia de identificación se orientó a que los municipios pertenecientes al grupo de tratamiento fuesen aquellos cuyo peso de ingresos derivados de regalías<sup>19</sup> fuese superior al 40% de sus ingresos corrientes en el periodo previo a la puesta en marcha del SGR (2010-2012), mientras que aquellos asignados al grupo de control fuesen aquellos por debajo de este umbral.

Esta caracterización del grupo de tratamiento y control resulta útil por dos razones. La primera de ellas es que se estaría evitando definir como tratado a un municipio que cuente con hidrocarburos en su territorio, pero que por cualquier razón<sup>20</sup> no saque lucro de ello. Puesto que la razón primordial para definir como tratado es evaluar el potencial impacto en

---

<sup>19</sup> Para hacer un seguimiento a los dineros desembolsados por regalías según municipio, se usó la información proporcionada por la Agencia Nacional de Hidrocarburos. Esta institución se encarga de hacer la transferencia de estos recursos a los municipios desde el año 2004.

<sup>20</sup> En Colombia hay municipios que por cuestiones ambientales no realizan explotaciones petroleras en sus territorios. La ley 165 de 1994 de defensa de las áreas protegidas es uno de los principales impedimentos para ello.

los ingresos tributarios, en esta instancia pierde interés el hecho de que un municipio sea rico en recursos naturales si no hace uso de estos.

La segunda razón se enfoca en el hecho de que este criterio ya se ha adoptado en la literatura anteriormente, incluso en diseños cuasiexperimentales relacionados con el SGR; lo que garantiza que se logre adoptar un grupo de control que esté construido sobre bases sólidas según la teoría (Amador, 2012).

Bajo esta idea, luego de aplicar este criterio sobre un grupo inicial de 1,081 municipios, también se optó por restringir la muestra con el propósito de que no hubiese características observables muy diferentes entre grupos. Así por ejemplo se eliminaron las ciudades capitales y los municipios con ingresos corrientes muy altos (que en su mayoría formaban parte del grupo control).

De esta manera, para el año base se llegó a la siguiente muestra con un total de 116 municipios que cumplen esta condición de petroleros y 940 municipios que se relegan al grupo de control:

*Tabla 1 Grupo de municipios según tratados y controles*

Tabulation of T			
Tratados=1 Controles=0	Freq.	Percent	Cum.
0	940	89.02	89.02
1	116	10.98	100.00
Total	1056	100.00	

Fuente: elaboración propia con base en datos de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH).

Por supuesto, lo que se puede intuir en una primera instancia es que la cantidad de municipios incluidos en el grupo de tratados fuese significativamente menor al grupo de controles, ya que el umbral del 40% es considerablemente alto. Sin embargo, luego de haber reducido este porcentaje al 30% y 20% se evidenció que la cantidad de municipios en el grupo de tratamiento no aumentaba considerablemente, razón por la cual se fijó el 40% establecido anteriormente como un criterio que resulta adecuado y razonable para categorizar a los municipios petroleros.

Siguiendo esta idea; una vez que se ha controlado por características observables y se ha ajustado la muestra, resulta pertinente hacer una caracterización en términos de la variable de impacto sobre aquellos municipios que de acuerdo con el criterio escogido serán tratados como petroleros.

*Tabla 2 Media de los ingresos tributarios corrientes según grupos (2018)*

Mean of Y	
Tratados=1	Freq.
Controles=0	
0	5930.10
1	8154.03

Fuente: elaboración propia con base en datos de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). Cifras en millones de pesos.

La tabla anterior refleja que evidentemente existe una diferencia considerable cercana a los 2,2 mil millones de pesos sobre los ingresos tributarios corrientes promedio entre los dos grupos para el periodo post (que en este caso es el año 2018); y es precisamente esta diferencia la que se pretende explicar mediante la metodología propuesta a través de los múltiples algoritmos presentados anteriormente<sup>21</sup>.

Otra caracterización que merece ser estudiada es la distribución de los municipios petroleros en la geografía colombiana. Esto es de utilidad para entender si existe cierta aleatorización en cuanto a la ubicación de estos municipios, o si, por el contrario, hay regiones donde se concentran muchos más municipios con esta característica.

De hecho, como se podrá ver a continuación, estudiar esta relación a nivel espacial resulta oportuno para reforzar la idea de incluir ciertas variables geográficas en la determinación de la probabilidad de participación de un municipio de la muestra como petrolero a través de un modelo Probit. y esto no debería ser extraño, ya que, si bien puede haber muchos factores que determinen la probabilidad de que un municipio sea petrolero, la cuestión radica en entender que esta condición está mucho más relacionada con el hecho de que un municipio cuente con hidrocarburos en su territorio.

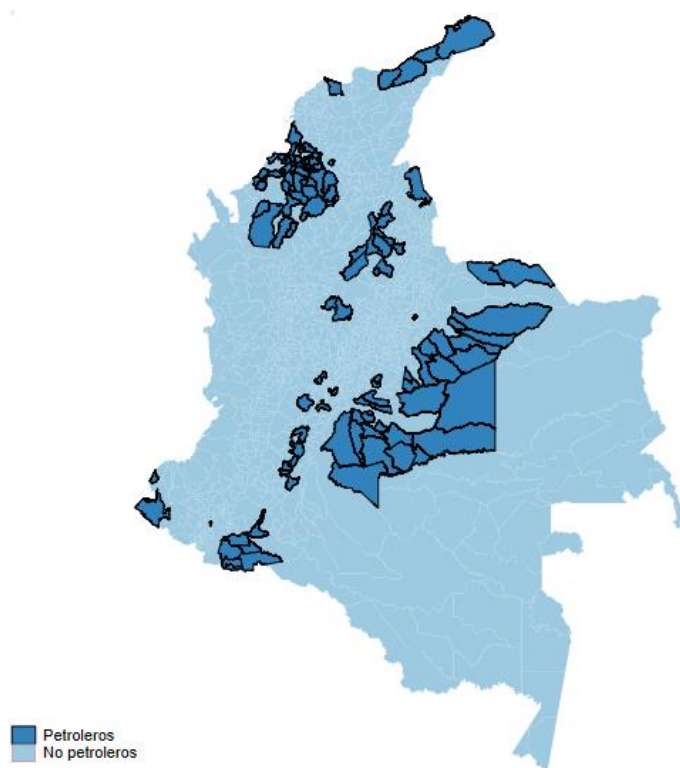
<sup>21</sup> En el anexo 2 se presenta la especificación de los algoritmos empleados.



Así las cosas, de acuerdo con la Gráfica 1 se puede evidenciar que existe una marcada concentración de municipios petroleros sobre todo en el centro y norte del territorio colombiano, con algunos pocos municipios rezagados en el suroeste, lo que permite intuir que posiblemente exista una correlación espacial<sup>22</sup> entre las regiones y la explotación de hidrocarburos.

*Gráfica 1 Municipios petroleros en Colombia (2010-2012)*

Municipios petroleros en Colombia (2010-2012)



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH).

El mapa anterior es un buen complemento para un análisis agregado a nivel de regiones, ya que, como se puede observar en la tabla número 3, la región Orinoquía, Caribe y Andina son aquellas en las que más se registran ingresos por regalías<sup>23</sup> en Colombia.

---

<sup>22</sup> Para un análisis geográfico del comportamiento de las regalías en el territorio colombiano, ver Ospina, Quintero, Chitiva y Guzmán (2015)

<sup>23</sup> Estos rubros de regalías solo corresponden a Hidrocarburos. Se excluyó del análisis a los rubros derivados de carbón, esmeraldas, metales preciosos, níquel, hierro, sal y yeso en vista de que no se logró tener acceso a estas cifras para los años de interés.

Tabla 3 Total de ingresos por regalías según regiones (2010)

Región	Total regalías
Andina	238,916
Caribe	301,820
Pacífica	26,147
Orinoquía	500,312
Amazonía	41,967

Fuente: elaboración propia. Cifras en millones de pesos.

Este análisis a nivel de regiones resulta tan interesante como útil, ya que, al disponerse de variables de región en la base de datos de municipios, se pueden hacer uso de ellas para posteriormente incorporarlas en el modelo Probit que busca estimar las probabilidades de que un municipio de la muestra sea catalogado como petrolero.

### **9.2. Modelo Probit para la determinación de la probabilidad de participación (pscore)**

Una vez que se definió apropiadamente el grupo de tratados y se restringió la muestra de acuerdo con las características observables, se procedió a estimar un modelo Probit que permitiera encontrar cual es la probabilidad de que un municipio de la muestra (tanto tratados como controles) sea considerado como petrolero de acuerdo con el criterio establecido anteriormente. Bajo esta idea, se optó por incluir variables en su mayoría de tipo geográficas que indiquen la región en la que se encuentra cada municipio (*gcaribe*, *grinoquia*, *gamazonia*), la distancia de cada municipio a su capital (*discapital*) y la densidad poblacional (*densidad*) del mismo.

El fundamento para haber optado mayoritariamente por variables de tipo geográficas en la estimación de la probabilidad de participación está motivado principalmente por dos razones. La primera de ellas está respaldada justamente por el análisis que se presentó anteriormente sobre la geografía y la ubicación de los municipios petroleros en Colombia. Si se puede intuir que existe una correlación geográfica entre regiones y los municipios tratados según sus ingresos por regalías, entonces es lógico incorporar variables geográficas en la estimación del modelo Probit.

El segundo aspecto que válida la incorporación de variables geográficas para la estimación de este modelo es la literatura. Trabajos como el de Amador (2012) y Moreno (2018) han

optado por incluir variables de tipo geográfico en la estimación de modelos Probit o Logit para estudiar los determinantes que influyen en que un municipio sea petrolero (esto de acuerdo con los criterios que cada autor considere para definir a un municipio como “petrolero”) en Colombia.

Así las cosas, de acuerdo con la Tabla 4 tras probar con diversas especificaciones, este modelo Probit arroja resultados estadísticamente significativos al 5% y 1% para todas las variables seleccionadas, con un R cuadrado de 29% por ciento y un total de 1056 observaciones. La variable dependiente en este caso es una variable binaria que toma el valor de 1 si el municipio pertenece al grupo de tratamiento (es petrolero) y 0 si pertenece al grupo de control.

*Tabla 4 Modelo Probit para la determinación del Pscore.*

<b>VARIABLES</b>	<b>(1) T</b>
gcaribe	0.340*** (0.0396)
gorinoquia	0.631*** (0.0654)
discapital	-0.000352*** (0.000125)
densidad	-0.000152** (7.68e-05)
gamazonia	0.165** (0.0755)
Observations	1,056
R-squared	0.2921

Standard errors in parentheses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Fuente: elaboración propia. Errores estándar entre paréntesis.

En cuanto a los coeficientes, si bien todos ellos son estadísticamente significativos, sus magnitudes no son muy grandes a excepción de las variables que identifican a las regiones, las cuales sí cuentan con magnitudes grandes y positivas. Estos resultados reflejan que, si un municipio forma parte de estas regiones, su probabilidad de ser petrolero es muy superior a otro municipio que no forme parte de estas.

Es preciso mencionar que, si bien la base de datos con la que se trabajó incluía un gran número de variables que pudiesen haber resultado relevantes para la estimación de este modelo se priorizó trabajar bajo la estrategia de no sobre especificar el Probit<sup>24</sup> y que los resultados de este fuesen estadísticamente significativos.

### **9.3. Restricción de las probabilidades de participación vía soporte común.**

Una vez estimado el modelo Probit, y de acuerdo con lo propuesto previamente en la metodología, es preciso conocer la densidad de las probabilidades predichas para cada grupo y corroborar si estas son lo suficientemente similares como para garantizar que el posterior emparejamiento sea apropiado.

Siguiendo esta idea, la primera alternativa para realizar esta validación es a través del criterio del máximo y el mínimo. En vista de que la mera inspección visual sobre las densidades puede resultar engañosa, este criterio propone que se examine el límite inferior y superior para las probabilidades de cada grupo, y posteriormente se elimine de la muestra aquellas probabilidades del grupo de tratamiento que sean superiores a la máxima probabilidad predicha en el grupo de control, así como las probabilidades del grupo de control que sean inferiores a la mínima probabilidad predicha en el grupo de tratamiento.

De acuerdo con este criterio, la tabla 5 refleja que, una vez aplicado este recorte, se eliminaron 48 probabilidades predichas, de las cuales la mayoría correspondía al grupo de control. Esto no es un inconveniente ya que esta cantidad de observaciones no tiene un peso considerable sobre la muestra original sin recorte.

*Tabla 5 Tratados y controles por soporte común mediante el máximo y mínimo.*

<b>Tabulation of T</b>			
Tratados=1 Controles=0	Freq.	Percent	Cum.
0	893	88.59	88.59
1	115	11.41	100.00
Total	1008	100.00	

Fuente: elaboración propia.

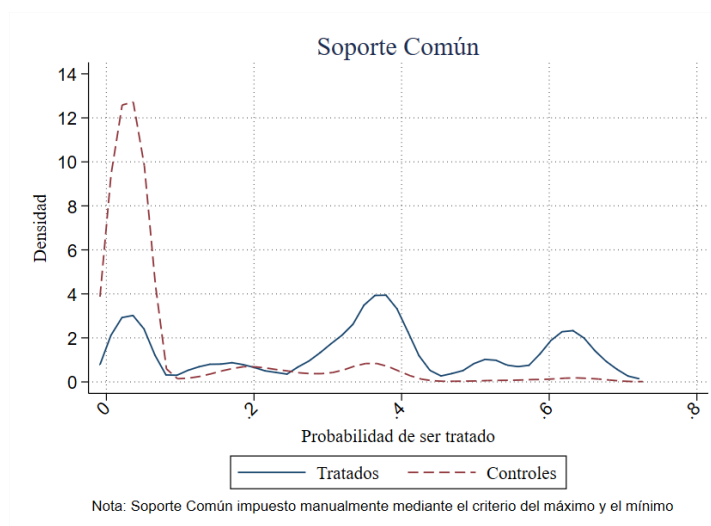
<sup>24</sup> Esta estimación se realizó tanto con un modelo Probit como con un modelo Logit. En los dos escenarios se llegó a resultados similares y por preferencias se presentan únicamente los resultados del Probit.

De hecho, luego de aplicar este criterio, la Tabla 5 evidencia que, de las 48 observaciones eliminadas, solo una de ellas pertenecía a un municipio al grupo de tratamiento, lo que resulta bastante adecuado ya que se alinea con la idea de no eliminar de la muestra a demasiados municipios tratados que pudiesen resultar relevantes para la estimación del impacto de la política.

La inspección visual posterior a la implementación de este criterio sí es de utilidad, ya que refleja ciertas características sobre la forma en que se comportan estas densidades<sup>25</sup> para los dos grupos. Lo que se espera en este caso es que las densidades para cada grupo estén restringidas en el intervalo  $[0,1]$  luego de imponer el soporte común<sup>26</sup>.

De acuerdo con la siguiente gráfica, se puede evidenciar que la densidad<sup>27</sup> para las probabilidades predichas en el grupo de municipios del grupo de control están en su mayoría cercanas a cero, mientras que la densidad de las probabilidades para el grupo de municipios en el grupo de tratamiento parece estar distribuida de una forma relativamente constante lo largo del eje x.

*Gráfica 2 Soporte común a través del criterio del máximo y el mínimo.*



Fuente: elaboración propia.

<sup>25</sup> Las densidades para estas probabilidades son de tipo Kernel Epanechnikov.

<sup>26</sup> Otra alternativa para imponer el soporte común es a través de Trimming. Esta herramienta se ensayó en este escenario, sin embargo, no arrojó buenos resultados ya que eliminaba muchas observaciones de la muestra y era un obstáculo para que los impactos estimados fuesen estadísticamente significativos.

<sup>27</sup> Estas densidades de probabilidad se ajustaron con un ancho de banda de 0.01.

La segunda alternativa para la restricción de las probabilidades predichas a través del soporte común se realiza mediante Stata a través de un comando llamado *pscore*<sup>28</sup> (Bernal & Peña, 2011). Básicamente este comando se encarga de realizar todos los pasos hechos previamente y con la garantía de que además permite restringir la muestra de acuerdo con el soporte común.

En la primera fase, este comando permite estimar las probabilidades de participación para cada municipio de la muestra usando el mismo modelo que se determinó para ello y luego divide el total de observaciones en un número de bloques que considera óptimo de acuerdo con que la probabilidad media predicha del grupo de control en cada bloque no sea estadísticamente distinta a la probabilidad predicha del grupo de tratamiento.

Llegado a este punto, en caso de que dentro de uno de estos bloques la probabilidad predicha entre grupos sea estadísticamente distinta, el programa rompe dicho bloque y vuelve a realizar la validación hasta que se llegue a un total óptimo de bloques donde las probabilidades entre grupos no sean distintas. Si en esta fase se ha tenido éxito, el programa procede a verificar si dentro de cada uno de estos bloques, no existen diferencias estadísticamente significativas sobre cada una de las variables que se emplearon para predecir la probabilidad de participación en el modelo Probit estimado.

Para finalizar, el programa impone el soporte común sobre estas nuevas probabilidades predichas. Si el proceso ha tenido éxito hasta esta fase, entonces se puede asegurar que se han predicho apropiadamente las probabilidades sujetas a un soporte común con un balance<sup>29</sup> apropiado.

Una vez que se ha verificado la condición de *Balancing Property* para la muestra de interés, se realiza de nuevo una revisión de las probabilidades predichas mediante una inspección visual graficando las densidades para los dos grupos de acuerdo con este nuevo criterio. Se puede evidenciar que las densidades para los dos grupos según el criterio del máximo y el

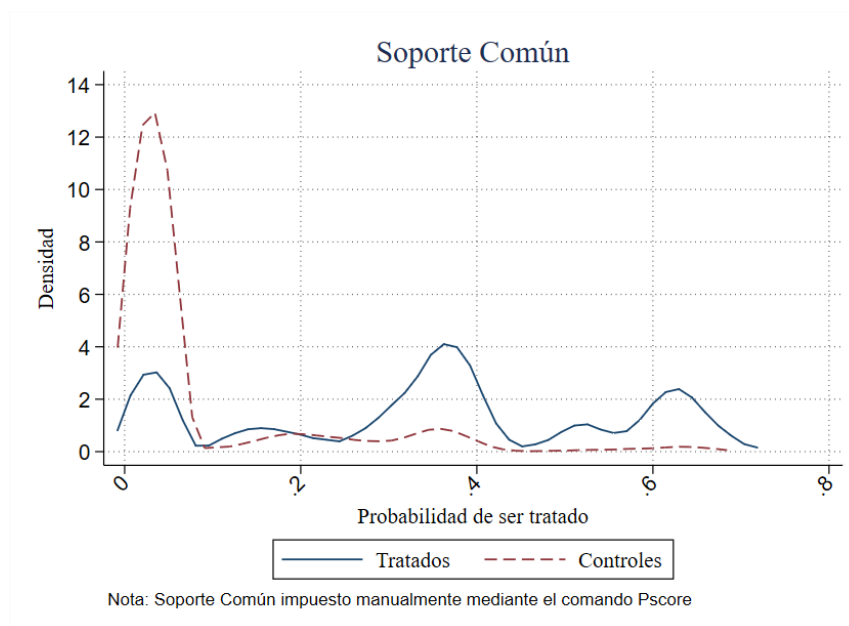
---

<sup>28</sup> Para más detalles sobre el cómo usar el comando *Pscore* en trabajos que involucren Propensity Score Matching, ver Bia y Mattei (2008).

<sup>29</sup> Esta condición de balanceo, comúnmente conocida como *Balancing Property*, pretende que exista una similitud entre las características observables para los dos grupos de acuerdo con las probabilidades de participación predichas.

mínimo son muy similares a las densidades estimadas mediante comando *pscore* (Gráfica 3).

Gráfica 3 Soporte común a través del comando *Pscore*.



Fuente: elaboración propia.

De hecho, este resultado es algo positivo, ya que lo que se pretende es que en los dos criterios las observaciones restantes luego de imponer el soporte común son las mismas. Esta condición es de gran interés, ya que refuerza la idea de que la especificación del modelo Probit no solo es resistente a las pruebas de balanceo sino también a los distintos criterios empleados para restringir al soporte común.

#### 9.4. Pruebas de falsificación.

Posterior a la restricción de la muestra vía soporte común, se optó por realizar una estrategia de falsificación para garantizar que la calidad del emparejamiento fuese óptima. Para ello, siguiendo la propuesta de Bernal y Peña (2011) y Caliendo y Kopeinig (2008), se estimó de nuevo el modelo Probit inicial, pero esta vez controlando por las probabilidades predichas<sup>30</sup> dentro de la especificación de este modelo.

<sup>30</sup> A partir de este punto, se optó por emplear las probabilidades predichas mediante el comando *Pscore* como las mejores probabilidades que se pueden predecir, ya que están sujetas a las pruebas de balanceo que realiza este comando por default.

Lo que se espera de este procedimiento es que, al incorporar las probabilidades predichas en la estimación, los coeficientes de las características observables de los municipios no sean estadísticamente significativos. La Tabla 6 representa este escenario:

*Tabla 6 Modelo Probit controlando por las probabilidades predichas.*

<b>VARIABLES</b>	<b>T</b>
pscore	0.4563451 (0.0396)
gcaribe	0.0608203 (0.16967)
gorinoquia	0.0205089 (0.25911)
discapital	-0.0000124 (0.00033)
densidad	2.59e-07 (0.00015)
gamazonia	0.0724983 (0.09096)
Observations	1,012
R-squared	0.2845

Standard errors in parentheses  
 \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Fuente: elaboración propia. Errores estándar entre paréntesis.

Bajo esta idea, como se puede evidenciar en la tabla anterior, los resultados para esta prueba de falsificación resultan exitosos, ya que todos los coeficientes para las variables incluidas no son estadísticamente significativos ni siquiera al 10% una vez que se ha incluido la variable *pscore*.

### **9.5. Estimación del impacto promedio sobre los tratados (ATT).**

Una vez que se establecieron las condiciones necesarias para que la muestra empleada cumpla el soporte común para las probabilidades predichas, y luego de que se testearon las pruebas para validar la calidad del emparejamiento, se procedió a estimar el impacto promedio de la política sobre los tratados en la variable de interés.



Para ello, en una primera instancia se estimó el ATT mediante los algoritmos propuestos haciendo uso únicamente de la variable de impacto (recaudo tributario) en el periodo establecido como post (año 2018).

*Tabla 7 Impacto promedio sobre los tratados (ATT).*

<b>ATT por matching</b>				
<b>Algoritmo seleccionado</b>	<b>Nearest Neighbor Matching (N=1)</b>	<b>Radius Matching (0.1)</b>	<b>Kernel Matching</b>	<b>Stratification Matching</b>
ATT	2,544 (1697)	4,185*** (1280)	3,421** (1359)	3,371** (1454)
Tratados	116	116	116	116
Controles	84	895	895	895

Standard errors in parentheses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Fuente: elaboración propia. Errores estándar calculados mediante Bootstrapping a 50 réplicas.

De acuerdo con la tabla anterior, para todos los algoritmos seleccionados se encontró un efecto positivo sobre el recaudo tributario<sup>31</sup>. Por lo tanto, los resultados anteriores permiten afirmar que, en promedio, los municipios petroleros tuvieron un impacto de entre 2,5 a 4,2 mil millones de pesos más en su recaudo tributario en el año 2018 en comparación con el grupo de municipios no petroleros como resultado de la implementación del sistema general de regalías en el año 2012.

En cuanto a la significancia estadística de estas estimaciones, todos los algoritmos empleados arrojan impactos significativos al 10% y al 5% en la variable de interés, a excepción del algoritmo de vecino más cercano.

Por último, es preciso mencionar que, para todos los algoritmos seleccionados, la muestra no se redujo en gran medida para estimar el ATT, salvo en el caso de la estimación por vecino más cercano, para la cual tan solo se hicieron uso de 116 municipios tratados y 84 municipios controles. Este caso en particular es común, ya que cuando se trata de este algoritmo, por lo general se emplea mediante reemplazo, ignorando una gran cantidad de observaciones que pueden ser relevantes.

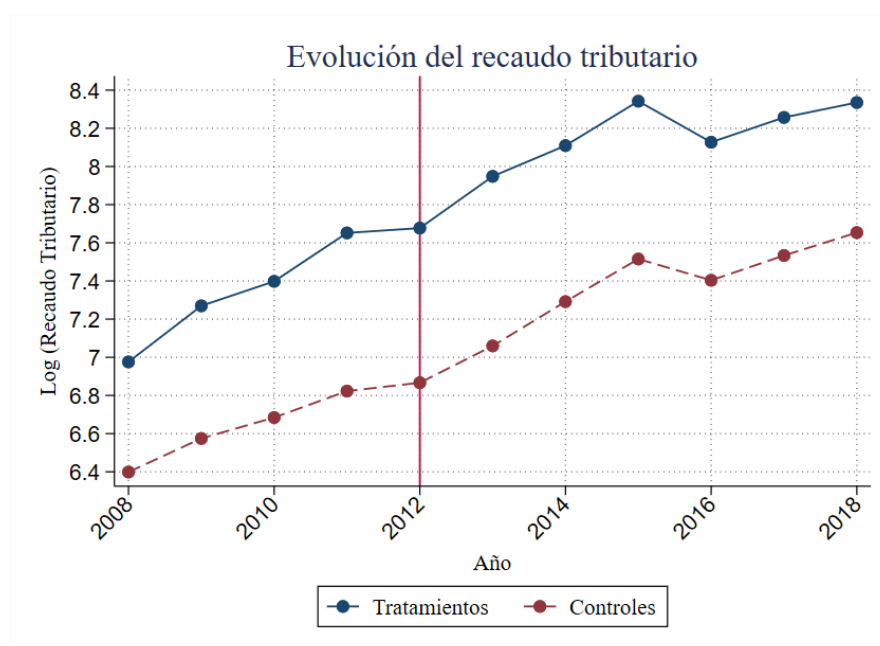
<sup>31</sup> Esta variable se presenta en miles de millones de pesos colombianos.

## 9.6. Estimación del impacto promedio sobre los tratados (ATT) mediante Dobles Diferencias Emparejadas (DDE).

Con el propósito de estimar un efecto más puro del impacto del SGR involucrando la diferencia temporal para la variable de interés, se procedió a emplear el método de diferencias en diferencias emparejadas para calcular de nuevo el ATT a través de los mismos algoritmos propuestos anterior y así poder hacer una comparación entre los resultados obtenidos en los dos métodos.

Bajo esta idea, teniendo en cuenta que en este método se involucra la variación temporal, inicialmente se procedió a testear el cumplimiento del supuesto de tendencias paralelas en la variable de interés previo<sup>32</sup> a la implementación de la política.

Gráfica 4 Tendencias en la variable de impacto según grupos.



Fuente: elaboración propia.

Como se puede evidenciar en la Gráfica 4, las tendencias sobre el logaritmo<sup>33</sup> del recaudo tributario para el periodo previo a la implementación de la política fueron muy similares entre

<sup>32</sup> En esta representación gráfica se extendió el análisis para el periodo previo 2008-2011 con el propósito de reflejar que esta relación de tendencias paralelas se mantiene a lo largo del tiempo.

<sup>33</sup> Se empleó el logaritmo del recaudo tributario para que el rango de valores de esta variable fuese más simple de representar gráficamente.

los dos grupos, lo cual indica que aplicar una técnica con variación temporal como el método de diferencias en diferencias emparejadas es razonable en este escenario.

Así las cosas, posterior a esta validación se procedió a estimar de nuevo el impacto del programa redefiniendo a la variable de interés como el cambio entre el periodo post y pre para el recaudo tributario de los municipios de la muestra:

$$\Delta Y_i = Y_{i2} - Y_{i1}$$

En este escenario, la variable regresada  $\Delta Y_i$  refleja la diferencia en el recaudo tributario para un municipio  $i$  entre el periodo post (año 2018) y el periodo pre (2010). Los resultados en este caso haciendo uso del mismo grupo de algoritmos para esta metodología son los siguiente:

*Tabla 8 Impacto promedio sobre los tratados (ATT) a través de Dobles Diferencias Emparejadas.*

<b>ATT por Dobles Diferencias Emparejadas</b>				
<b>Algoritmo seleccionado</b>	<b>Nearest Neighbor Matching (N=1)</b>	<b>Radius Matching (0.1)</b>	<b>Kernel Matching</b>	<b>Stratification Matching</b>
ATT	1,151 (760.4)	2,072*** (633.8)	1,663** (701.6)	1,629** (797.5)
Tratados	116	116	116	116
Controles	84	895	895	895

Standard errors in parentheses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Fuente: elaboración propia. Errores estándar calculados mediante Bootstrapping a 50 réplicas.

Como se puede evidenciar en la Tabla 8, los impactos estimados por este método también son positivos; sin embargo, estos oscilan entre los 1,100 y los 2,000 millones de pesos sobre los recaudos tributarios.

Es decir que, al incorporar la diferencia temporal en el análisis, se encuentra que el impacto promedio de la política se reduce aproximadamente en la mitad respecto al escenario donde el impacto se estimó tomando únicamente como referencia al periodo post.

De acuerdo con la teoría sobre esta metodología, los resultados obtenidos en este caso son coherentes, ya que bajo este criterio no se están sobreestimando<sup>34</sup> los efectos de la política porque se está controlando por el sesgo de selección en variables no observables bajo el supuesto de que ahora estas no varían en el tiempo.

Así las cosas, en este caso de nuevo el menor efecto promedio de la política se registra cuando se hace uso del algoritmo del vecino más cercano. De hecho, en este escenario este algoritmo es el único en el que se reducen las observaciones de la muestra para estimar el ATT. También se puede evidenciar que, de igual manera, en este caso el algoritmo de distancia máxima con un radio de 0.1 es el que estima el efecto promedio más alto sobre los tratados, con un total de 2 mil millones de pesos de incremento en los recaudos tributarios de los municipios petroleros por arriba de los municipios que no cumplen esta condición.

En cuanto a la significancia estadística<sup>35</sup> de los efectos estimados, la tabla anterior refleja que todos los ATT son estadísticamente significativos al 5% y 10% a excepción del impacto estimado mediante el algoritmo de vecino más cercano, el cual, tal como en el escenario de Matching, no es estadísticamente significativo a ningún nivel de confianza.

---

<sup>34</sup> Los impactos inferiores que se obtienen para el ATT por este método remarcan lo fuerte que es el supuesto de PSM.

<sup>35</sup> Como referencia para el cálculo de los errores estándar mediante Bootstrapping, se siguió al trabajo de Becker (2002)

## 10. Conclusiones y recomendaciones.

Inicialmente cabe resaltar que los resultados obtenidos en materia del impacto en los recaudos tributario para los municipios petroleros son positivos, significativos y sobre todo coherentes con la teoría de impacto que rodea al Sistema General de Regalías en Colombia. En este sentido, se puede afirmar que los resultados presentados en esta investigación no son atípicos y van de la mano con la evidencia presentada en trabajos como el de Amador (2012) y Bonet, Finol, Urrego y Villa (2014), donde los autores concluyen que, bajo ciertas condiciones, el desempeño fiscal y el recaudo tributario de los municipios petroleros se relaciona positivamente con la participación de sus regalías en los ingresos totales o corrientes, negando así la existencia de pereza fiscal provocada por la explotación de hidrocarburos.

Complementando el análisis de estos resultados, es preciso tener presente que la muestra utilizada en este caso para llegar a la conclusión de que el impacto fue positivo y significativo no cubre la totalidad de municipios en el país, en vista de que no se contaba con información para todos ellos y además se restringió la muestra de acuerdo con ciertas características observables entre grupos. Por lo tanto, es posible que los resultados obtenidos cambien si esta muestra es modificada en el futuro, ya que el número de municipios es un componente clave para la estimación del impacto de la política.

Sin embargo, esta aclaración sobre la muestra no pretende desconocer o subestimar la validez de los resultados aquí obtenidos, ya que - excluyendo al vecino más cercano - en todos los algoritmos se empleó un total de 1,011 municipios. Es decir, la muestra utilizada no es solo grande sino muy cercana a la totalidad<sup>36</sup> de municipios de Colombia para el periodo de interés.

Otro aspecto que se debe recalcar y concebir como un logro fuera de los resultados que se relacionan meramente con el uso de algoritmos para estimar el ATT, es el hecho de que descriptivamente se han encontrado características muy interesantes sobre el peso que tienen las regalías y su ubicación geográfica en el territorio colombiano. En este sentido, la utilidad de este tipo de análisis se arraiga en la posibilidad de estudiar este mismo fenómeno a través de herramientas distintas como lo puede ser la econometría espacial.

---

<sup>36</sup> Para 2018 había un total de 1,081 municipios en Colombia (DANE, 2018).

En cuanto a la metodología seleccionada, es preciso mencionar que los impactos estimados mediante Matching y diferencias emparejadas no tiene signos contrarios para ninguno de los algoritmos seleccionados. Esto es un resultado ideal, ya que lo que se espera al incluir una diferente gama de algoritmos de emparejamiento es precisamente que los impactos guarden cierta similitud, ya que en esencia se está haciendo lo mismo, solo que a través de métodos distintos.

Bajo esta idea, también es preciso recalcar que en todos los casos se puede evidenciar que los efectos estimados mediante el método de diferencias emparejadas reflejan una proporción del impacto total estimado cuando se emplea únicamente la técnica de Propensity Score Matching. Esta condición refuerza la estrategia de haber escogido el método de diferencias emparejadas no solo como una herramienta para comparar los efectos entre los dos métodos, sino como una herramienta para encontrar un efecto mucho más robusto sobre el verdadero impacto de esta política.

Finalmente, en lo que concierne a las posibles alternativas de mejora que se pueden implementar en esta investigación, es preciso resaltar tres aspectos que pueden ser cruciales para obtener resultados más robustos y actualizados<sup>37</sup>. El primero de ellos consiste en ampliar el periodo de estudio e incorporar un año post mucho más reciente para el análisis. De esta manera se podrá corroborar si los efectos positivos que se evidencian en este trabajo aún están presentes<sup>38</sup> en los municipios petroleros hoy en día.

En segundo lugar, si se contara con una base de datos longitudinal más completa en cuanto a las características socioeconómicas de los municipios, se podría evaluar el impacto de esta política en muchas otras variables de interés. De esta manera se podría abordar el análisis sobre los efectos que trajo el SGR desde una perspectiva multifacética, involucrando a la discusión otros sectores como la salud, la educación y la seguridad.

Como tercer aspecto, sería de suma relevancia direccionar el análisis del SGR sobre el impacto derivado de los recursos que llegan a los municipios a través de la participación de estos en proyectos. De esta manera, se podrían diferenciar entre aquellos efectos que se

---

<sup>37</sup> Los cuales hubiesen sido factibles si se tuviera la información pertinente.

<sup>38</sup> Incluso sería relevante incorporar al análisis las múltiples reformas que ha tenido el Sistema General de Regalías a través de los años.

producen por recursos que ya están destinados específicamente a los municipios y aquellos que son obtenidos mediante proyectos.

A modo de conclusión, en cuanto a la evidencia sobre la existencia de la maldición de los recursos naturales por hidrocarburos en Colombia, si bien es cierto que a lo largo de los años se han presentado múltiples casos de corrupción y malversación de recursos que han servido para polemizar el debate sobre las ventajas desaprovechadas con las que cuentan los municipios con abundancia de petróleo, los resultados estimados en este caso no presentan evidencia<sup>39</sup> para aseverar que esta maldición está presente en los municipios que se consideraron como petroleros.

---

<sup>39</sup> Por lo menos en cuanto al recaudo tributario.

## 11. Bibliografía

- Abadie, A., Drukker, D., Herr, J. L., & Imbens, G. W. (2004). Implementing Matching Estimators for Average Treatment Effects in STATA. *The Stata Journal*.
- Amador, L. J. (2012). Distribución regional de las regalías directas en Colombia y sus efectos sobre el desarrollo socioeconómico entre regiones receptoras y no receptoras de regalías. *Pontificia Universidad Javeriana. Repositorio Institucional.*, 74. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/9014>
- Andía, G. A., & Saravia, R. M. (2005). Las transferencias intergubernamentales, el esfuerzo fiscal y el nivel de actividad. *IEP Instituto de Estudios Peruanos*.
- Angrist, J. D., & Pischke, J.-S. (2015). *Mastering 'Metrics: The Path from Cause to Effect*. Princeton University Press.
- Angrist, J. D., J&Ouml, & Pischke, R.-S. (2008). *Mostly Harmless Econometrics*. Princeton University Press.
- Arezki, R., & Ploeg, F. (. (2007). Can the Natural Resource Curse Be Turned Into a Blessing? The Role of Trade Policies and Institutions. *C.E.P.R. Discussion Papers*.
- Becker, S. O. (2002). Estimation of average treatment effects based on propensity scores. *The Stata Journal*.
- Bernal, R., & Peña, X. (2011). *Guía Práctica para la Evaluación de Impacto*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Bia, M., & Mattei, A. (2008). A Stata Package for the Estimation of the Dose-response Function through Adjustment for the Generalized Propensity Score. *The Stata Journal*.
- Bonet, J., & Urrego, J. (2014). El Sistema General de Regalías ¿mejoró, empeoró o quedó igual? *Banco de la República*.
- Bonet, J., Finol, K. G., Urrego, J., & Villa, J. M. (2014). Efectos del nuevo Sistema General de Regalías sobre el desempeño fiscal municipal: un análisis dosis-respuesta. *Banco de la República*.
- Bonet-Morón, J., & Ayala-García, J. (2015). Transferencias intergubernamentales y disparidades fiscales horizontales en Colombia. *Banco de la República. Documentos de trabajo sobre economía regional*.
- Bonet-Morón, J., Valbuena, G. J., & Ricciulli-Marin, D. (2017). ¿Hay pereza fiscal territorial en Colombia? *Banco de la República* .
- Caliendo, M., & Kopeinig, S. (2008). Some Practical Guidance for the Implementation of Propensity Score Matching. *Journal of Economic Surveys*.



- Camargo, J. O. (2013). Evolución del régimen de regalías en Colombia a partir de la Constitución Política de 1991. *Equidad y Desarrollo*.
- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2005). *Microeconometrics Methods and Applications*. Cambridge University Press.
- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2022). *Microeconometrics Using Stata*. Stata Press.
- Campo R., J., & Sanabria P., W. A. (2013). Recursos Naturales y Crecimiento Económico en Colombia: ¿Maldición de los Recursos? *Perfil de Coyuntura Económica*.
- Carnicelli, L., & Postali, F. A. (2014). Oil windfalls and local fiscal effort: a propensity score analysis. *Working Papers, Department of Economics 2014\_03, University of São Paulo (FEA-USP)*.
- Chacón, M., & Sánchez, F. (2020). El efecto de las transferencias sobre el recaudo fiscal local en Colombia, 2000-2015. *Universidad de los Andes, Documentos CEDE*.
- Collier, P., & Goderis, B. (2007). Commodity Prices, Growth, and the Natural Resource Curse: Reconciling a Conundrum. *Centre for the Study of African Economies, University of Oxford*.
- DANE, D. A. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018*.
- Dehejia, R. H., & Wahba, S. (2002). Propensity Score-Matching Methods for Nonexperimental Causal Studies. *The Review of Economics and Statistics*.
- Echavarría, J. J. (2020). Efectos de la nueva normatividad del Sistema General de regalías (ley 1530 de 2012) sobre los indicadores de desigualdad en los departamentos. *Pontificia Universidad Javeriana*.
- Efron, B., & Tibshirani, R. J. (1993). *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman & Hall/Crc.
- Encina, J. (2013). Pension reform in Chile: A difference in difference matching estimation. *Estudios de Economía*.
- Glennerster, R., & Takavarasha, K. (2018). *Cómo implementar evaluaciones aleatorizadas*. Fondo de Cultura Económica.
- Greene, W. H. (2002). *Econometric Analysis*. Pearson Education .
- Heckman, J. J., & Ichimura, H. (1998). Matching as an Econometric Evaluation Estimator. *Review of Economic Studies*.
- Heckman, J. J., Ichimura, H., & Todd, P. (1988). Matching as an Econometric Evaluation Estimator. *Review of Economic Studies*.
- Heckman, J., Ichimura, H., Smith, J., & Todd, P. (1998). Characterizing Selection Bias Using Experimental Data. *The Econometric Society*.

- Heinrich, C., Maffioli, A., & Vázquez, G. (2010). A Primer for Applying Propensity-Score Matching. *Inter-American Development Bank (IDB)*.
- Hirano, K., & Imbens, G. W. (2004). The Propensity Score with Continuous Treatments. En *Applied Bayesian Modeling and Causal Inference from Incomplete-Data Perspectives* (págs. 73-84).
- Imbens, G. W. (2000). The Role of the Propensity Score in Estimating Dose-Response. *Oxford University Press*.
- Jalan, J., & Ravallion, M. (2003). Estimating the Benefit Incidence of an Antipoverty Program by Propensity-Score Matching. *Journal of Business & Economic Statistics*.
- Katina, G.-F. K., & Estrada, A. M. (2016). *Los gobiernos departamentales y la inversión de regalías en Colombia*. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana.
- Khandker, S. R., Koolwal, G. B., & Samad, H. A. (2010). *Handbook on Impact Evaluation*. The World Bank.
- Lee, W.-S. (2013). Propensity score matching and variations on the balancing test. *Empirical Economics*.
- Mehlum, H., & Moene, K. o. (2006). ¿Cursed by Resources or Institutions? *The World Economy*.
- Mercadillo, M. R., Malásquez, P. M., & Monge, R. G. (2010). Las Transferencias Condicionadas y El Efecto De Pereza Fiscal: El Caso Del Gobierno Municipal De Morelia, Michoacán, México. *INCEPTUM*.
- Moreno, J. A. (2018). *Estudios de Región: Crecimiento Urbano, Mercado Laboral e Instituciones*. Bogotá.
- Ospina, M. E., Quintero, J. M., Chitiva, D. E., & Guzmán, M. J. (2015). Regalías y desequilibrios territoriales en Colombia: una brecha que no se cierra. *Centro de Estudios Políticos e Internacionales de la Universidad del Rosario (CEPI)*.
- Paul J. Gertler, S. M., Premand, P., Rawlings, L. B., & Vermeersch, C. M. (2017). *La evaluación de impacto en la práctica*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Perry, G., & Olivera, M. (2009). El impacto del petróleo y la minería en el desarrollo regional y local en Colombia. *CAF Documento de trabajo*.
- Perry, G., & Olivera, M. (2010). El impacto del petróleo y la minería en el desarrollo regional y local en Colombia. *Fedesarrollo*.
- Rabe-Hesketh, S., & Everitt, B. (2004). *A Handbook of Statistical Analyses using Stata*. Chapman & Hall/Crc.
- Ramírez, J. M., & Bedoya, J. G. (2014). Regalías directas por hidrocarburos y esfuerzo fiscal municipal en Colombia. *Coyuntura Económica*, Fedesarrollo.

- Randolph, J. J., Falbe, K., Manuel, A. K., & Balloun, J. L. (2014). A Step-by-Step Guide to Propensity Score Matching in R. *Practical Assessment, Research & Evaluation*.
- Restrepo, D. B. (2017). Implementación en la asignación de proyectos con las regalías en Colombia: una aproximación teórica. *Revista Desarrollo y Sociedad*.
- Rosenbaum, P. R. (2002). *Observational Studies*. Springer Science & Business Media.
- Rosenbaum, P. R., & Rubin, D. B. (1983). The Central Role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects. *Oxford University Press*.
- Rubin, D. B. (1974). Estimating Causal Effects to Treatments in Randomised and Nonrandomised Studies. *Journal of Educational Psychology*.
- Sachs, J. D., & Warner, A. M. (1995). Natural resource abundance and economic Growth. *NBER Working paper, No. 5398, Cambridge, MA*.
- Sierra, H. E., Nieto, C. B., Caro, C. C., & Robledo, J. C. (2013). Precio del suelo y regalías en Colombia: un análisis espacial para los municipios productores de petróleo. *Desarrollo y Sociedad*.
- Stock, J. H., & Watson, M. W. (2012). *Introducción a la Econometría*. Pearson.
- SylvainChabé-Ferret. (2015). Analysis of the bias of Matching and Difference-in-Difference under alternative earnings and selection processes. *Journal of Econometrics*.

## 12. Anexos.

### Anexo 1. El vector de variables explicativas X.

En esta sección se presenta en detalle el grupo de variables explicativas con sus respectivas categorías, al igual que la variable de impacto en cuestión. Si bien algunas variables están disponibles para el periodo de interés, se excluyeron aquellas en las que no había información disponible para todos los municipios de la muestra.

#### Variable de Impacto:

Variable	Descripción	Años disponible	Origen
y_corr_tribut	Recaudo tributario. Los ingresos tributarios son la suma de los ingresos por concepto de impuestos del orden departamental y/o municipal.	2000 – 2019	CEDE

#### VARIABLES SOCIOECONÓMICAS:

Variable	Descripción	Años disponible	Origen
DF_desemp_fisc	Indicador de desempeño fiscal	2000 – 2019	DNP
SGP_Y	Recursos del SGP como porcentaje de los ingresos corrientes. SGP/ Ingreso total	2000 – 2019	DNP
SGP_total	Total de transferencias del Gobierno Central por Sistema General de Participación (SGP).	2000 – 2019	DNP
DI_desemp_int	Indicador de desempeño integral	2005 – 2017	DNP
DF_ing_propios	Porcentaje de ingresos propios	2000-2019	DNP

y_total	Ingresos totales corresponden a la suma de ingresos corrientes e ingresos de capital (y_corr+y_cap).	1984-2019	DNP
IGA_total	Índice de Gobierno Abierto15	2010 – 2016	Procuraduría General de la Nación
indrural	Índice de ruralidad = Población rural/población total. Relación entre la población rural y la población total. Índice de ruralidad = Población rural/población total.	1993-2019	CEDE
indesarrollo_mun	índice de Desarrollo Municipal	2000-2010	DNP

#### VARIABLES GEOGRÁFICAS:

Variable	Descripción	AÑOS DISPONIBLE	ORIGEN
gandina	Dummy de ubicación del municipio en la región Andina	1993-2019	DANE
gcaribe	Dummy de ubicación del municipio en la región Caribe	1993-2019	DANE
gpacifica	Dummy de ubicación del municipio en la región Pacífica	1993-2019	DANE
gorinoquia	Dummy de ubicación del municipio en la región Orinoquía	1993-2019	DANE
gamazonia	Dummy de ubicación del municipio en la región Amazonía	1993-2019	DANE
retro_pobl_tot	Población Total - Retroproyecciones de	1993-2017	DANE

---

areaoficialkm2	población con base en el censo nacional más reciente Área oficial municipio en km <sup>2</sup> (kilómetros cuadrados)	1993-2019	DANE
retro_pobl_urb	Población Urbana - Retroproyecciones de población con base en el censo nacional más reciente densidad por Km cuadrado	1993-2017	DANE
cont_arm	Total de contactos armados	2003-2017	Ministerio de Defensa
discapital	Distancia lineal a la capital del Departamento - km (Kilómetros)	1993-2019	
disbogota	Distancia lineal a Bogotá - km (Kilómetros)	1993-2019	CEDE

---

## **Anexo 2. Algoritmos de emparejamiento**

En este apéndice se presenta el detalle de los principales algoritmos de emparejamiento que se pretenden emplear para realizar el respectivo proceso de Matching a través de las probabilidades de participación predichas para cada municipio tanto en el grupo de tratamiento como en el grupo de control. Si bien cada algoritmo tiene criterios distintos para establecer al “clon” ideal en el grupo de control, se espera que los impactos estimados de la política sean similares entre algoritmos.

### **Algoritmo de vecino más cercano<sup>40</sup>**

La idea general detrás de este algoritmo (Heckman & Ichimura, Matching as an Econometric Evaluation Estimator, 1998) es simplemente hacer uso de las probabilidades de participación  $P(X)$  para buscar un individuo en el grupo de control que sirva como pareja para cada individuo en el grupo de tratamiento. Para ello, para cada individuo en el grupo de

---

<sup>40</sup> Este algoritmo también se suele encontrar en la literatura como Nearest Neighbor (NN).

tratamiento, se pretende buscar a un vecino  $C(i)$  en el grupo de control que sea lo más cercano posible en términos de  $P(X)$ .

Bajo el supuesto de que no hay empates, para cada individuo, o en este caso para cada municipio  $i$  en el grupo de tratamiento, su vecino  $C(i)$  en el grupo de control estará representado de la siguiente manera:

$$C(i) = \{ j \in D = 0 \mid \arg \min_j ||P_i(X) - P_j(X)|| \}$$

En términos prácticos, esta expresión refleja que el vecino  $C(i)$  más cercano para el individuo  $i$  será aquel con quien la distancia entre sus probabilidades predichas de ser tratados  $P(X)$  sea la menor posible. En este caso, el estimador del ATT por vecino más cercano se expresa de la siguiente manera:

$$\tau_{ATT}^{PSM-VC} = \left\{ \sum_{i=1}^I \text{Promedio} \left( (Y_i | D_i = 1) - (Y_{c(i)} | D_i = 0) \right) \right\}$$

En este caso  $I$  es el número de individuos en el grupo de tratamiento, mientras que  $(Y_i | D_i = 1)$  refleja la variable de impacto (en este caso el recaudo tributario) para el municipio  $i$ . Análogamente  $(Y_{c(i)} | D_i = 0)$  representa la variable de impacto para el vecino más cercano al municipio  $i$ , mientras que  $c(i)$  es el vecino o grupo de vecinos del individuo  $i$  que están presentes en el grupo de control.

De esta forma, el  $\tau_{ATT}^{PSM-VC}$  no es más que las diferencias promediadas de la variable resultado entre los municipios que son tratados y sus respectivos vecinos en el grupo de control.

También es preciso mencionar que este emparejamiento por vecino más cercano puede llevarse a cabo mediante la aplicación o no de reemplazo<sup>41</sup>. El cambio principal en caso de que se decida hacer uso mediante reemplazo será que el vecino más cercano para un individuo  $i$  del grupo de tratamiento también puede ser vecino de otros individuos del grupo de tratamiento.

---

<sup>41</sup> Sin embargo, el uso de este algoritmo mediante reemplazo debe ser llevado con cuidado, ya que en algunos casos se pueden tomar muy pocas observaciones de la muestra para calcular el impacto promedio de la política, lo que haría que el impacto estimado fuese muy local.

## **Emparejamiento por distancia máxima**

Una de las potenciales falencias de emparejar mediante vecinos más cercanos es que en el caso en que el vecino más próximo esté lejos en términos de probabilidades de participación, se estarían emparejando individuos que en realidad no son tan similares. Una forma de prevenir estos inconvenientes puede ser establecer un margen entre las probabilidades de participación de los grupos. De esta forma, se persiste en la idea de emparejar de acuerdo con minimizar las distancias entre las probabilidades de cada individuo, pero esta vez condicionado a un umbral (por ejemplo, menores o iguales al 5%) previamente definido, lo cual va a mejorar la calidad del emparejamiento.

En este caso el grupo de comparación se representa mediante:

$$C(i) = \{j \in D = 0 \mid ||P_i(X) - P_j(X)|| \leq k\}$$

Donde  $k$  es el umbral o distancia máxima establecida.

Nótese que de hecho esta forma de emparejar resulta muy similar al algoritmo de vecinos más cercanos, con la inclusión de que ahora se buscará emparejar condicional en un nivel de tolerancia  $k$ .

Es preciso mencionar que, en este caso, es factible emparejar a cada individuo del grupo de tratamiento con todos los individuos del grupo de control siempre y cuando se respete la distancia máxima preestablecida.

De esta forma, el *ATT* en este escenario será igual que en el caso en que se emparejaba por vecino más cercano, con la diferencia de que ahora se redefine el conjunto de control para los vecinos más cercanos  $C(i)$  de acuerdo con la expresión anterior<sup>42</sup>.

---

<sup>42</sup> En este caso también se debe tener en cuenta de que, si se llega a encontrar más de un control en la distancia máxima, se debe hacer un promedio ponderado de las diferencias para la variable de interés entre el tratamiento y cada uno de los controles (Bernal & Peña, 2011)



## Emparejamiento por Kernel

En este caso, lo que se pretende es hacer uso de un método no paramétrico para emparejar a los individuos del grupo tratado con un promedio ponderado de todos los individuos del grupo de control asignando pesos de acuerdo a la probabilidad de participación  $P(X)$ . Estos pesos serán mayores para las observaciones con probabilidades más altas y serán menores para probabilidades más bajas.

De esta forma, el emparejamiento por Kernel se puede interpretar como una regresión<sup>43</sup> de la variable de impacto para el grupo de control en el umbral de cada individuo del grupo tratado sobre el intercepto. El  $ATT$  en este caso se expresa como:

$$\tau_{ATT}^{PSM-KERNEL,RLL} = \frac{1}{I} \left\{ \sum_{i \in D=1} \left[ (Y_i) - \sum_{j \in D=0} w_{ij}(Y_j) \right] \right\}$$

De esta manera, el impacto promedio se puede calcular como la diferencia entre la variable de impacto para el individuo  $i$  del grupo de tratamiento y el promedio ponderado de esta variable para el grupo de control. Los pesos de las observaciones están ponderados de la siguiente forma:

$$w_{ij}^{KERNEL} = \frac{G\left(\frac{P_j(X) - P_i(X)}{h}\right)}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \in D=0}}^K G\left(\frac{P_k(X) - P_i(X)}{h}\right)}$$

---

<sup>43</sup> Conocida como Regresión Lineal Local (RLL)