

Análisis Cuantitativo
METODOLOGÍA PARA EL MODELO
ECONOMÉTRICO

Nota técnica de la metodología econométrica

El componente cuantitativo del Estudio Integral Sectorial de Impactos de la minería de oro, carbón y materiales de la construcción en Colombia, pretende identificar asociaciones entre la actividad minera y variables de resultado que representen el disfrute de derechos humanos a nivel municipal. De la misma forma, se espera identificar efectos heterogéneos de la actividad minera según la intensidad en la actividad productiva.

El enfoque propuesto para identificar las asociaciones se desarrolla en tres etapas: i) selección de municipios mineros y de control o comparación; ii) estimación por el método de emparejamiento; y iii) selección de variables. Estas etapas se describen en detalle a continuación.

i) Selección de municipios mineros y de comparación:

Municipios mineros:

Existen diversas formas de identificar los municipios con mayor actividad minera. En particular, se puede utilizar la información de producción reportada o la información de títulos expedidos. Ninguna de estas dos fuentes se encuentra exenta de errores. Por ejemplo, el reporte de producción puede tener distorsiones por el registro de material en municipios diferentes a donde se extrajo, o por fenómenos asociados al lavado de activos. Por otra parte, la titulación no implica explícitamente la producción, en tanto puede haber títulos inactivos por años. La minería informal, a su vez, puede introducir distorsiones adicionales porque no es capturada por los datos de títulos, y es presumible que gran parte de ella no se registre en la producción.

Frente a esta circunstancia, la regla de decisión para la selección de municipios mineros parte del cruce de ambas fuentes de información. Si bien este criterio no elimina por completo los posibles errores de medición, sí permite obtener una muestra depurada de municipios mineros. Ahora bien, no todos los municipios con reporte de producción o títulos pueden ser considerados municipios mineros, en tanto aquellos que reportan pequeños volúmenes o tienen títulos que cubren zonas pequeñas relativas al tamaño de los municipios, pueden considerarse con una actividad minera incipiente. Para depurar esta selección se recurrió a otra regla de decisión. Primero, los municipios que hubieran reportado cualquier volumen de producción a partir del año 2001 se dividieron por terciles. Esto es, se organizaron desde el que mayor producción reportó hasta el que lo hizo en menor volumen, y esta lista ordenada se dividió en grupos de igual tamaño. Por ejemplo, 328 municipios reportaron haber producido oro. Estos se dividieron en tres grupos: los 109 que más produjeron, los 109 siguientes y los 109 que menos produjeron. Segundo, los municipios que hubieran tenido títulos mineros expedidos sobre su territorio, se organizaron según la proporción del área municipal que se encontrara bajo un título para el cierre de 2012. Esta lista, ordenada desde los que tenían mayor proporción de su territorio con títulos hasta los que menos tenían, se dividió igualmente por terciles. Para el ejemplo de oro, 320 municipios reportaron títulos. Los grupos quedaron así: los 106 municipios con mayor proporción de su territorio con títulos mineros, los 107 que les seguían y los 107 municipios con títulos con menor proporción de su territorio titulado. Una vez hecha esta división, se determinó considerar a un municipio como minero, si éste

se encontraba en el tercil de mayor producción o en el tercil de mayor titulación. Los cuadros 1 y 2 presentan el resumen para oro y carbón.

Cuadro 1. Municipios mineros de oro. Terciles de producción y titulación.

Cubrimiento territorial de títulos	Producción reportada de oro					Total
	Nivel	No	Bajo	Medio	Alto	
No	671	65	43	23	802	
Bajo	53	16	20	18	107	
Medio	38	17	23	29	107	
Alto	32	12	23	39	106	
Total	794	110	109	109	1122	

Grupo de pseudo-tratamiento

Fuente: Construcción propia a partir de los datos del Catastro Minero Colombiano y SIMCO.

Cuadro 2. Municipios mineros de carbón. Terciles de producción y titulación.

Cubrimiento territorial de títulos	Producción reportada de carbón					Total
	Nivel	No	Bajo	Medio	Alto	
No	832	7	0	1	840	
Bajo	81	7	6	0	94	
Medio	66	13	9	6	94	
Alto	29	11	23	31	94	
Total	1008	38	38	38	1122	

Grupo de pseudo-tratamiento

Fuente: Construcción propia a partir de los datos del Catastro Minero Colombiano y SIMCO.

Para materiales de construcción, por diversas limitantes en los datos de producción, se utilizó como único criterio el nivel de titulación. Adicionalmente, como los municipios con títulos de materiales de construcción corresponden casi a la totalidad de municipios, la muestra se dividió en quintiles. Esto es, se organizaron desde el que más proporción de su territorio tenía título minero hasta el que menos tenía, y el resultado ordenado se partió en cinco grupos. Los municipios mineros de materiales de construcción corresponde al grupo de mayor nivel de titulación.

Municipios de control o comparación:

Por su parte, los municipios de comparación se pre-seleccionaron a partir de los vecinos de los municipios mineros. Esto es, aquellos municipios que compartieran una frontera con cualquier municipio minero y que a su vez, no hiciera parte del grupo de municipios mineros. Esta regla de decisión responde a la homogeneidad en variables de desarrollo para los municipios que hacen parte de territorios similares, y se fundamenta en trabajos previos (ver por ejemplo Ibáñez y Laverde, 2013). Luego, esta pre-selección se validó cualitativamente, para excluir aquellos municipios vecinos de municipios mineros que de manera notoria no compartieran características de desarrollo similares. Un ejemplo de ello corresponde a los municipios con minería de carbón en el departamento de La Guaiira, ubicados en la parte sur del departamento, y que entre otras, tienen

importantes volúmenes de producción agrícola. Sus vecinos, ubicados al norte, corresponden a zonas desérticas.

Validaciones finales:

Por último, la muestra de municipios mineros y sus vecinos validados se sometió a una última depuración. Nuevamente, con el fin de excluir municipios cuyas características particulares los hicieran sistemáticamente diferentes al resto de municipios mineros y vecinos de comparación, se excluyeron capitales de departamentos y ciudades con más de 200 mil habitantes.

Una vez depuradas las muestras, se obtiene un grupo de 546 municipios para el análisis de la producción de oro. De ellos, 220 corresponden a municipios mineros y 326 al grupo de control o comparación. La muestra final de carbón fue de 241 municipios. 83 de ellos hicieron parte del grupo de municipios mineros y los restantes 158 del grupo de comparación. La muestra de materiales de construcción contiene 481 municipios. 151 mineros y 330 de control.

Como se observa, los criterios de selección de municipios mineros y municipios de comparación corresponden a diversas reglas de decisión. Para evitar que dichas reglas orientaran los resultados, se realizaron pruebas de robustez haciendo ajustes a una o varias reglas. La selección definitiva correspondió a las reglas de decisión que garantizaran una muestra lo suficientemente depurada de municipios mineros y no mineros de comparación, y que menos distorsiones introdujeran a los resultados.

ii) Método de emparejamiento:

A partir de la división de municipios en dos grupos: el grupo de mineros y el grupo de comparación, se podrían utilizar diversas formas para identificar asociaciones entre la actividad minera y variables de resultado indicativas del disfrute de derechos humanos. Por ejemplo, si se quisiera saber diferencias en los niveles de pobreza, se podría tomar la diferencia entre el promedio de los mineros y el promedio de los no mineros para la incidencia de pobreza en el año 2000. No obstante, esta simplificación tendría diversas fuentes de sesgo, entre otras: i) como la actividad minera tuvo un incremento acelerado desde comienzos de la década del 2000, esta diferencia no estaría capturando el efecto de la minería; ii) si bien el grupo de municipios de comparación corresponde a vecinos de municipios mineros, la explotación de minerales no es aleatoria en la muestra y por tanto, los municipios no son perfectamente comparables. Para controlar por este tipo de situaciones, se restringe el análisis temporal a dos momentos del tiempo, y se utiliza el método de emparejamiento para la estimación de diferencias.

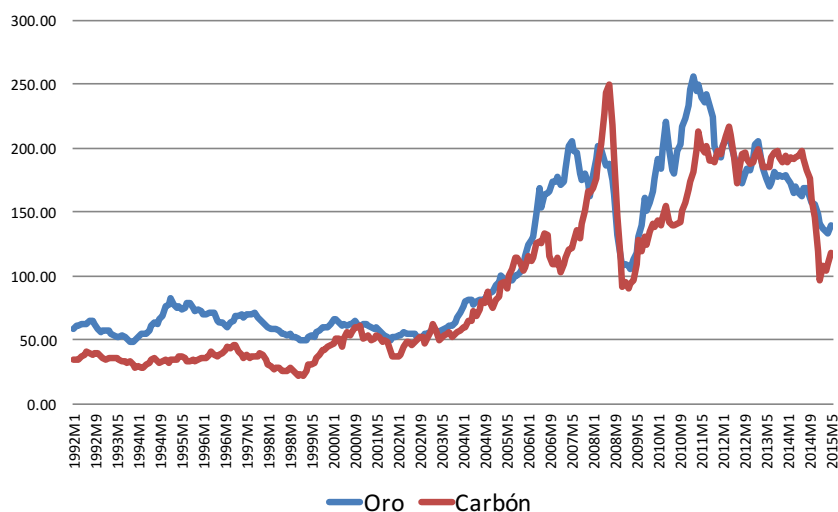
Restricción del análisis temporal:

La actividad minera en Colombia es, en algunos casos, centenaria. No obstante, fue desde comienzos de la década del 2000 que se presentó un incremento significativo en la actividad que correspondió a dos situaciones. Por una parte, los precios de los *commodities* crecieron de manera sostenida desde el año 2001, lo que llevó a un creciente interés en la producción a nivel mundial. Esta situación puede observarse para los precios de oro y carbón en la figura 1.

Adicionalmente, el gobierno de Colombia tuvo un interés mayor en otorgar títulos mineros, motivando la inversión extranjera. Este punto se hace evidente en las figuras 2 a 4, en las que se presenta el porcentaje del territorio que, en promedio, tenían los municipios colombianos cubiertos por títulos mineros. Como se observa, el crecimiento entre 2005 y 2010 es notorio.

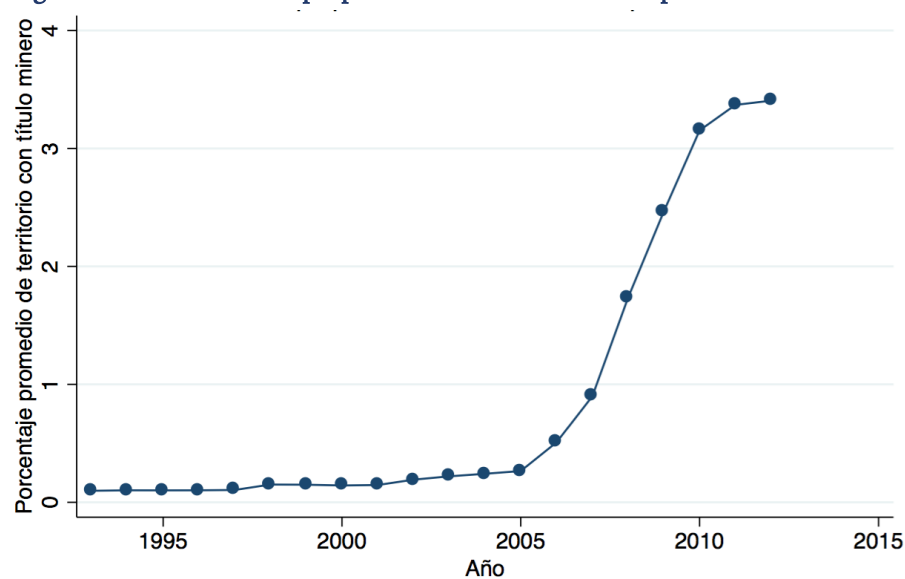
Con esta información, es presumible que una mejor estimación de los efectos de la minería corresponda a observar diferencias entre municipios no mineros y municipios de comparación en el período posterior al inicio de la actividad minera de mayor intensidad. En particular, las diferencias se toman para las variables de resultado desde el año 2005 en adelante.

Figura 1. Índice de precios del oro y el carbón (2005 = 100)



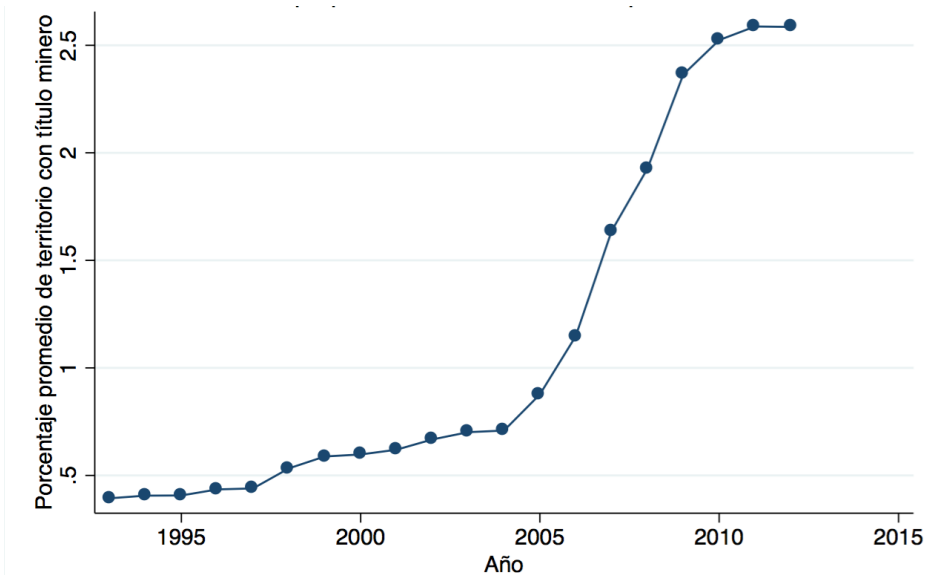
Fuente: Estadísticas Fondo Monetario Internacional

Figura 2. Evolución de la proporción de territorio municipal con título de oro



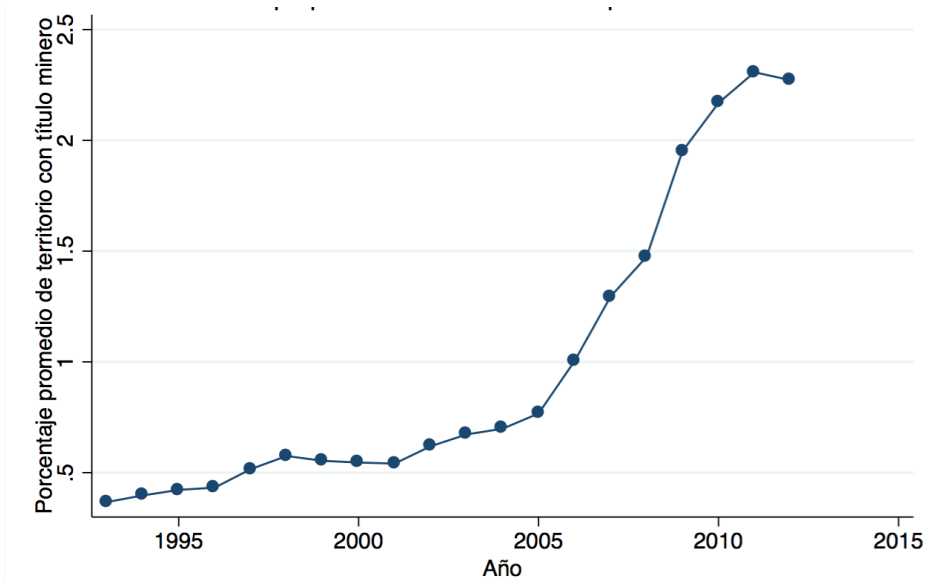
Fuente: Estadísticas Fondo Monetario Internacional

Figura 3. Evolución de la proporción de territorio municipal con título de carbón



Fuente: Estadísticas Fondo Monetario Internacional

Figura 4. Evolución de la proporción de territorio municipal con título de materiales de construcción



Fuente: Estadísticas Fondo Monetario Internacional

Método de emparejamiento:

Como se señaló antes, la simple diferencia de medias puede no estar capturando el efecto atribuible a la actividad minera, en tanto los municipios no son perfectamente comparables. Con el fin de mejorar esta estimación, se recurre al método de emparejamiento (para un mayor nivel de detalle, ver Bernal y Peña, 2011).

Este método parte del supuesto de independencia condicional, esto es, dadas unas variables observables no determinadas por la actividad minera, los resultados potenciales de los municipios mineros $Y_i(1)$ y los resultados potenciales de los municipios no mineros $Y_i(0)$, son independientes de haber sido sujetos de la actividad minera. En otras palabras, condicional en ciertas variables, la comparación entre el resultado de municipios mineros y no mineros, debería capturar el efecto específicamente atribuible a la minería.

Así, para mejorar la simple diferencia de promedios entre municipios mineros y no mineros, se emparejan los municipios mineros con algunos municipios de control de acuerdo con variables que, en principio, no deberían estar determinadas por la actividad minera. Para ello, se acude a utilizar variables del censo de 1993, es decir, cerca de una década antes del incremento en la intensidad de la minería. En particular, los municipios se emparejan de acuerdo con características socio-económicas como la pobreza, la población y la tasa de alfabetización; características físicas como la disponibilidad de agua y la aptitud de los suelos; y características geográficas como su ubicación y la distancia a la capital del país.¹ Si bien hay municipios mineros cuya actividad venía décadas antes a 1993, se presume que independiente de ello, hubo un incremento significativo en la década del 2000.

En estas condiciones, el método de emparejamiento, aunque no es perfecto, debería mejorar sustancialmente la estimación por diferencia de promedios entre municipios mineros y no mineros de comparación, y acercarse al verdadero efecto de la actividad minera sobre variables de resultado que sean indicativas del disfrute de derechos humanos.

Finalmente, el efecto de la actividad minera se obtiene mediante la estimación de τ :

$$\tau = \left[\sum_{i=1}^I \text{Promedio} \left((Y_i | D_i = 1) - (Y_{C(i)} | D_i = 0) \right) \right]$$

Donde Y_i es la variable de interés. i es cada municipio minero. I es el número de municipios mineros. D_i es una variable dicotómica que toma el valor de 1 si el municipio i es minero o 0 si se trata de un control para el municipio minero i . $C(i)$ corresponde a los controles del municipio i .

iii) Selección de variables y análisis de resultados:

Para estimar los efectos de la actividad minera sobre el disfrute de derechos humanos, se construye una base de datos con más de 1600 variables. Estas bases de datos se obtuvieron a partir de diversas fuentes. El punto de partida fue la información del Panel Municipal del Centro de Estudios sobre

¹ En estricto sentido, el emparejamiento se realiza mediante la estimación de una probabilidad de participación con las

Desarrollo Económico de la Universidad de los Andes, y a partir de allí se complementó con información del Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Salud y Protección Social, Ministerio del Trabajo, Ministerio de Educación, Ministerio del Interior, Ministerio de Defensa Nacional, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Consejo Superior de la Judicatura, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Fasecolda, entre otras.

Posteriormente, estas variables se agrupan en cinco categorías, con el fin de facilitar su asociación con el disfrute de derechos humano:

1. Pobreza y población
2. Educación
3. Salud
4. Desarrollo institucional local
5. Violencia y conflicto

Finalmente, para su análisis, los resultados se evalúan de acuerdo con el i) mineral; ii) la intensidad de la actividad minera con el fin de identificar efectos heterogéneos; y iii) las características de la producción para carbón, así:

- **Oro:** toda la muestra.
- **Oro:** la muestra de municipios que más produce.
- **Oro:** la muestra de municipios productores que menos produce.
- **Carbón en el interior:** toda la muestra.
- **Carbón en el interior:** la muestra de municipios que más produce.
- **Carbón en el interior:** la muestra de municipios productores que menos produce.
- **Carbón en Cesar y La Guajira**
- **Materiales de construcción:** toda la muestra.
- **Materiales de construcción:** la muestra de municipios que más produce.
- **Materiales de construcción:** la muestra de municipios productores que menos produce.

Referencias:

Bernal, R. Y Peña, X. (2011). Guía práctica para la evaluación de impacto. Universidad de los Andes, Facultad de Economía, Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico. Ediciones Uniandes. Bogotá.

Ibáñez, A.M. y Laverde M. (2013). Los municipios mineros en Colombia: características e impactos sobre el desarrollo. Reporte de consultoría para la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME.