

# Tres Ensayos en Economía Regional

Autor: Jhonny Moncada Mesa

---

Tesis doctoral UDC / Año 2023

Director: Dr. Jesús López Rodríguez

Programa de doctorado en *Análisis Económico y Estrategia Empresarial*



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



## TABLA DE CONTENIDOS

<b>TABLA DE CONTENIDOS .....</b>	<b>I</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>III</b>
<b>Lista de Tablas .....</b>	<b>IV</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>V</b>
<b>Lista de Abreviaturas .....</b>	<b>VI</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>1</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>5</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>11</b>
<b>Ubicación de la empresa, condiciones climáticas regionales y     estrategias de precio de oferta en el mercado eléctrico     mayorista colombiano .....</b>	<b>11</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>11</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	11
1.2 MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LITERATURA .....	15
1.3 MERCADO COLOMBIANO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA: ESTRUCTURA Y ALGUNOS HECHOS ESTILIZADOS .....	18
1.3.1 <i>Algunos hechos estilizados .....</i>	<i>18</i>
1.3.2 <i>El mecanismo de precios del mercado de energía mayorista.....</i>	<i>23</i>
1.4 ESPECIFICACIÓN ECONOMETRICA .....	25
1.4.1 <i>Una guía para la identificación causal de las especificaciones econométricas: El paradigma         “estructura-conducta-desempeño” de la Organización Industrial .....</i>	<i>25</i>
1.4.2 <i>Especificación canónica .....</i>	<i>26</i>
1.4.3 <i>Datos .....</i>	<i>27</i>
1.4.4 <i>Estadísticas descriptivas por Región Hidrológica .....</i>	<i>28</i>
1.5 RESULTADOS .....	30
1.5.1 <i>Estimación preferida: un modelo espacial de Durbin dinámico .....</i>	<i>32</i>
1.6 CONCLUSIONES Y PRINCIPALES IMPLICACIONES DE POLÍTICA .....	37
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>41</b>

<b>Potencial de mercado e industria manufacturera en Colombia, 1985-2015 .....</b>	<b>41</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>41</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	41
2.2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	44
2.3 ESPECIFICACIÓN ECONÓMETRICA .....	46
2.3.1 Especificación canónica.....	46
2.3.2 Datos .....	48
2.3.3 Dinámica de la industria manufacturera .....	48
2.4 RESULTADOS.....	51
2.4.1 Estimación preferida: un modelo espacial de Durbin.....	54
2.5 CONCLUSIONES.....	57
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>60</b>
<b>    Acceso al mercado y productividad agrícola en Antioquia,     Colombia.....</b>	<b>60</b>
<b>    Resumen.....</b>	<b>60</b>
3.1 INTRODUCCIÓN.....	60
3.2 MARCO TEÓRICO .....	63
3.2.1 El modelo von-Thünen-Alonso.....	63
3.3 ESPECIFICACIÓN ECONÓMETRICA.....	65
3.3.1 Especificación canónica.....	65
3.3.2 Datos .....	67
3.3.3 Estadísticas descriptivas por Subregión .....	68
3.4 RESULTADOS.....	70
3.4.1 Spillovers globales versus locales .....	72
3.5 CONCLUSIONES Y PRINCIPALES IMPLICACIONES DE POLÍTICA .....	77
<b>    Conclusiones.....</b>	<b>79</b>
<b>    Bibliografía .....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo A Sobre datos y modelos .....</b>	<b>92</b>
Epígrafe A.1 – Datos y variables capítulo 3.....	92

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi abuela Carolina, quien desde pequeño me enseñó lo que es importante en la vida. La mujer maravillosa que lo dio todo para que lograra ser la persona que soy ahora. Nunca olvidaré sus enseñanzas, su amor y su cariño. Siempre será mi guía y mi luz en el camino.

A mi familia y en especial a mis tíos Amparo y Samuel. Muchas gracias por acogerme en su hogar y brindarme las herramientas para crecer día a día. Su forma desinteresada de ayudar a los demás a plantado en mí una semilla para la vida.

A Paula, por su amor, apoyo y comprensión. Llegaste y cambiaste mi mundo. Eres una persona fundamental para el logro de este objetivo.

A mi tutor Jesus, que con su infinita paciencia y voluntad me ayudó a lograr este objetivo tan grande. Su apoyo, comprensión y guía siempre las guardaré como una muestra de todo lo bueno que puedo encontrar en el camino de la vida.

A Juan Esteban, que desde el pregrado despertó en mí la curiosidad por estos temas y el ánimo a continuar su aprendizaje.

Al John Jairo, quien desde la maestría me ha ayudado a crecer y fue un factor fundamental en la elaboración de esta tesis y en mi participación en el doctorado.

A mis amigos, quienes siempre han creído en mí y me han apoyado a lo largo de la vida.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 - Descripción de variables.....	28
Tabla 1.2 - Estadísticas descriptivas.....	29
Tabla 1.3 - Coeficiente de correlación de rangos de Spearman para los aportes de energía .....	30
Tabla 1.4 - Resultados del panel no espacial .....	31
Tabla 1.5 - Pruebas para la selección del modelo.....	32
Tabla 1.6 - Resultados de las especificaciones espaciales (SAR, SAR dinámico, SDM, SDM dinámico, SEM).....	35
Tabla 1.7 - Efectos marginales directos e indirectos (promedio) SDM dinámico ....	37
Tabla 2.1 - Descripción de variables.....	48
Tabla 2.2 – Partición de la producción bruta departamental respecto al total nacional .....	50
Tabla 2.3 - Estadísticas descriptivas.....	51
Tabla 2.4 - Resultados del panel no espacial .....	53
Tabla 2.5 - Pruebas para la selección del modelo.....	54
Tabla 2.6 - Resultados de las especificaciones espaciales (SAR, SEM y SDM) .....	56
Tabla 2.7 - Efectos marginales directos e indirectos (promedio) SDM .....	57
Tabla 3.1 – Resultados especificación no espacial .....	71
Tabla 3.2 – Pruebas para la selección del modelo .....	72
Tabla 3.3 - Resultados de la especificaciones espaciales, variables de acceso al mercado (SAR, SEM, SDM y SDEM) .....	75
Tabla A.1 – Descripción de variables - Capítulo 3.....	92
Tabla A.2 – Estadísticas descriptivas - Capítulo 3.....	95
Tabla A.3 - Resultados de la especificaciones espaciales, todas las variables (SAR, SEM, SDM y SDEM) .....	98

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1.1 – Precio marginal del sistema, precio de oferta y rangos MEI, Colombia .....	20
Figura 1.2 - Precio marginal del sistema y niveles hidrológicos, Colombia .....	21
Figura 1.3 - Índice de Oferta Residual (IOR), Colombia.....	22
Figura 1.4 - Ubicación de las plantas de generación de electricidad, Colombia .....	23
Figura 1.5 - Mecanismo de determinación del precio marginal del sistema .....	24
Figura 2.1 – Participación del trabajo manufacturero respecto a la población total	50
Figura 3.1 – División político-administrativa del departamento de Antioquia, Colombia .....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS

AGC	Control Automático de Generación
CHIP	Consolidador de Hacienda e Información Pública
COP	Pesos Colombianos
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DNP	Departamento Nacional de Planeación
EAM	Encuesta Anual Manufacturera
ENSO	El Niño-Oscilación del Sur
GWh	Gigavatio-hora
Ha	Hectáreas
IOR	Índice de Oferta Residual
IA	Inteligencia Artificial
ISI	Industrialización por Sustitución de Importaciones
kWh	Kilovatio-hora
MCO	Mínimos Cuadrados Ordinarios
MEI	Índice ENSO Multivariante
MEM	Mercado de Energía Mayorista
MW	Megavatio
NGE	Nueva Geografía Económica
NOAA	Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica
PIB	Producto Interno Bruto
PM	Potencial de Mercado
PMS	Precio Marginal del Sistema



LM	Multiplicadores de Lagrange
LME	Multiplicadores de Lagrange del Error
LME R	Multiplicadores de Lagrange del Error Robustos
LML	Multiplicadores de Lagrange de Rezago
LML R	Multiplicadores de Lagrange de Rezago Robustos
RRNC	Recursos Renovables No Convencionales
SAR	Modelo Espacial de Rezago
SDM	Modelo Espacial de Durbin
SDEM	Modelo Espacial de Error de Durbin
SEM	Modelo Espacial de Error
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SIN	Sistema Interconectado Nacional
Ton	Toneladas
UPA	Unidad Productora Agropecuaria
XM	Operador del Sistema Interconectado Nacional y Administrador del Mercado de Energía Mayorista



## **RESUMEN**

Esta tesis doctoral consta de tres ensayos donde el espacio es un elemento fundamental para el análisis, por lo que se enmarca en los campos de investigación de la economía geográfica y la economía regional. A diferencia de lo que tradicionalmente se estudia desde la teoría neoclásica, donde el espacio no se considera explícitamente en el análisis, esta tesis busca resaltar como este puede llegar a ser un factor fundamental en los estudios económicos y las consideraciones metodológicas que esto implica. Iniciando con los modelos de von-Thünen y Alonso, hasta las derivaciones presentadas por Krugman (1991) y Gallup et al. (1999), la literatura sobre economía geográfica y economía regional ha mostrado como la consideración de elementos geográficos y espaciales puede llevar a un mejor entendimiento de los fenómenos económicos.

Teniendo en cuenta esto, el primer ensayo (Capítulo 1), titulado "*Ubicación de la empresa, condiciones climáticas regionales y estrategias de precio de oferta en el mercado eléctrico mayorista colombiano*", considera varios de los conceptos derivados de la economía geográfica y la organización industrial para explicar como a partir de la geografía física (condiciones climáticas diferenciales entre las regiones), conjuntamente con una estructura tecnológica principalmente hidráulica y la ubicación de la planta de generación, se pueden generar comportamientos estratégicos para el establecimiento de los precios de oferta de las empresas generadoras de energía eléctrica en el mercado de energía mayorista colombiano. De esta forma, las condiciones climáticas pueden llegar a incentivar estrategias de precios vinculadas a la disponibilidad de los recursos hídricos (de la planta en relación con sus competidoras) y su posibilidad de almacenamiento.

El segundo ensayo (Capítulo 2) que lleva por nombre "*Potencial de mercado e industria manufacturera en Colombia, 1985-2015*", vincula explícitamente el concepto de potencial de mercado derivado de la literatura en economía geográfica, para explicar la distribución espacial de la industria manufacturera en los departamentos de Colombia. El caso de la industria colombiana es interesante por dos razones, opera bajo un contexto de altas disparidades regionales y un claro proceso de desindustrialización. A pesar

de estos elementos, el capítulo muestra la importancia del potencial de mercado, en su capacidad de explicar el comportamiento de la producción manufacturera en el territorio.

Por su parte, el tercer ensayo (Capítulo 3), titulado "Acceso al mercado y productividad agrícola en Antioquia, Colombia", se centra en explicar como la productividad agrícola en el departamento de Antioquia se ha visto afectada por la distancia que tienen las unidades productoras a los principales mercados regionales. Es aquí donde los conceptos de ubicación y acceso al mercado confieren una gran importancia, al tener la capacidad de afectar los incentivos que tienen los productores agrícolas; y por lo tanto, la productividad de sus actividades. El ensayo muestra como el efecto de la distancia se diferencia si se consideran mercados agrícolas regionales o mercados especializados en la industria. Es así como el espacio sigue siendo un elemento fundamental para explicar fenómenos económicos.

Un elemento común a todos estos ensayos es el uso de técnicas de econometría espacial, para hacer el testeó de las relaciones consideradas. Estas técnicas desde hace varios años se han convertido en una herramienta relevante para el desarrollo de estudios centrados en economía regional. Particularmente, esta tesis utiliza herramientas de econometría espacial para datos de panel y datos de corte transversal que permiten: 1) la consideración explícita del espacio en el análisis, mediante la inclusión de una matriz de pesos exógena que define el concepto de vecindad considerado en el estudio, 2) la oportunidad de diferenciar los efectos directos (estimados tradicionalmente en la econometría clásica) y los efectos indirectos (asociados principalmente al contexto espacial de la unidad geográfica) y 3) la posibilidad de tener en cuenta spillovers globales y locales, los cuales pueden llegar a tener implicaciones diferentes según el fenómeno analizado.

## RESUMO

Esta tese de doutoramento consta de tres ensaios onde o espazo é un elemento fundamental para a análise, polo que forma parte dos campos de investigación da economía xeográfica e da economía rexional. A diferenza do que se estuda tradicionalmente desde a teoría neoclásica, onde o espazo non se contempla de forma explícita na análise, esta tese trata de poñer de manifesto como pode converterse nun factor fundamental nos estudos económicos e as consideracións metodolóxicas que iso implica. Comezando polos modelos von-Thünen e Alonso, ata as derivacións presentadas por Krugman (1991) e Gallup et al. (1999), a literatura sobre economía xeográfica e economía rexional demostrou como a consideración de elementos xeográficos e espaciais pode levar a unha mellor comprensión dos fenómenos económicos.

Tendo isto en conta, o primeiro ensaio (capítulo 1), titulado "*Localización da empresa, condicións climáticas rexionais e estratexias de prezos de oferta no mercado maiorista de electricidade colombiano*", considera varios dos conceptos derivados da economía xeográfica e da industria organizativa para explicar como a partir da xeografía física (condicións climáticas diferenciais entre as rexións), xunto cunha estrutura tecnolóxica principalmente hidráulica e a localización da planta de xeración, poden xerarse comportamentos estratéxicos para o establecemento dos prezos de oferta das empresas xeradoras de electricidade no país colombiano. mercado maiorista de enerxía. Deste xeito, as condicións climáticas poden favorecer estratexias de tarificación vinculadas á dispoñibilidade de recursos hídricos (da planta en relación aos seus competidores) e ás súas posibilidades de almacenamento.

O segundo ensaio (capítulo 2) titulado "*Potencial de mercado e industria manufacturera en Colombia, 1985-2015*", vincula explícitamente o concepto de mercado potencial derivado da literatura sobre economía xeográfica, para explicar a distribución espacial da industria manufacturera nos departamentos. de Colombia. O caso da industria colombiana é interesante por dúas razóns, que opera nun contexto de altas disparidades rexionais e un claro proceso de desindustrialización. A pesar destes elementos, o capítulo

mostra a importancia do potencial de mercado, na súa capacidade para explicar o comportamento da produción fabril no territorio.

Pola súa banda, o terceiro ensaio (capítulo 3), titulado "*Acceso ao mercado e produtividade agraria en Antioquia, Colombia*", céntrase en explicar como a produtividade agraria do departamento de Antioquia se viu afectada pola distancia que teñen as unidades produtoras ao principais mercados rexionais. É aquí onde os conceptos de localización e acceso ao mercado outorgan gran importancia, xa que teñen capacidade para incidir nos incentivos que teñen os produtores agrarios; e polo tanto, a produtividade das súas actividades. O ensaio mostra como difire o efecto da distancia se se consideran mercados agrícolas rexionais ou mercados industriais especializados. Así é como o espazo segue a ser un elemento fundamental para explicar os fenómenos económicos.

Un elemento común a todas estas probas é o uso de técnicas de econometría espacial para comprobar as relacións consideradas. Estas técnicas convertéronse dende hai varios anos nunha ferramenta relevante para o desenvolvemento de estudos centrados na economía rexional. En particular, esta tese utiliza ferramentas de econometría espacial para datos de panel e datos transversais que permiten: 1) a consideración explícita do espazo na análise, mediante a inclusión dunha matriz de pesos esóxenos que defina o concepto de veciñanza considerado na análise. estudo, 2) a oportunidade de diferenciar entre os efectos directos (estimados tradicionalmente na econometría clásica) e os efectos indirectos (principalmente asociados ao contexto espacial da unidade xeográfica) e 3) a posibilidade de ter en conta os spillovers globais e locais, que poden teñen implicacións diferentes segundo o fenómeno analizado.

## **ABSTRACT**

This dissertation consists of three essays where space is a fundamental component of analysis. As such, it is framed within the research fields of geographical economics and regional economics. Unlike what it has been traditionally studied in Neoclassical theory, where space is not explicitly considered in the analysis, this dissertation aims to highlight how space can become a fundamental factor in economic studies and the methodological considerations this implies. Starting with the models of von-Thünen and Alonso, up to the derivations presented by Krugman (1991) and Gallup et al. (1999), the literature on geographical economics and regional economics has shown how the consideration of geographic and spatial elements can lead to a better understanding of economic phenomena.

With this considerations in mind, the first essay (Chapter 1), entitled "*Firm location, regional weather conditions and bid pricing strategies in the Colombian wholesale electricity market*", considers several of the concepts derived from geographical economics and industrial organization to explain how physical geography (differential weather conditions between regions) along with a mainly hydraulic technological structure and the location of the generation plant, can generate strategic behaviors for the establishment of bid prices of electricity-generating plants in the Colombian wholesale electricity market. Hence, weather conditions may influence pricing strategies based on the availability of water resources (of the plant in comparison to its competitors) and its capacity to store it.

The second essay (Chapter 2) entitled "*Market potential and manufacturing industry in Colombia, 1985-2015*", explicitly links the concept of market potential derived from the literature in geographical economics, to explain the spatial distribution of the manufacturing industry in the departments of Colombia. The case of Colombian industry is interesting for two reasons: It operates under a context of (i) high regional disparities and (ii) a clear process of deindustrialization. Despite these elements, the chapter shows the importance of market potential to explain the behavior of manufacturing production in the territory.

The third essay (Chapter 3), entitled "*Market access and agricultural productivity in Antioquia, Colombia*", focuses on explaining how agricultural productivity in the department of Antioquia has been affected by the distance of production units from the main regional markets. In this essay, the concepts of location and market access are of critical importance, as they have the capacity to affect the incentives that agriculture producers have; and therefore, the productivity of their activities. The essay shows how the effect of distance differs if regional agriculture markets or specialized industry markets are considered. Thus, space remains a fundamental element in explaining economic phenomena.

Notably, a common element in the three essays is the use of spatial econometric techniques to test the relationships considered. These techniques have become a relevant tool for the development of studies focused on regional economics over the past years. In particular, this dissertation uses spatial econometric techniques for panel data and cross-sectional data that allow to: 1) consider space in the analysis through the inclusion of an exogenous weight matrix, which defines the concept of neighborhood considered in the study; 2) differentiate direct effects (traditionally estimated in classical econometrics) and indirect effects (mainly associated with the geographical context of the geographical unit); and 3) the possibility of taking into account global and local spillovers, which may have different implications depending on the analyzed phenomenon.



## **INTRODUCCIÓN**

El análisis de los fenómenos económicos, considerando explícitamente el espacio, ha tomado cada vez más importancia en la literatura internacional. Así, los campos de la economía geográfica y la economía regional han tomado un papel relevante a la hora de elaborar estudios económicos. Esta relevancia puede atribuirse principalmente a dos elementos: primero, el desarrollo de modelos formalizados de lo que anteriormente solo eran presentaciones *ad hoc* de ideas que, si bien poseían una lógica interna, no tenían la estructura adoptada por la corriente principal de la economía. Algunos de los trabajos que han aportado a esta formalización son Krugman (1991), Redding y Venables (2004a, 2004b) y Fujita et al. (1999). Segundo, el desarrollo tecnológico, especialmente el asociado con la disponibilidad de computadores con mayor capacidad de procesamiento y almacenamiento, ha permitido la democratización del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de econometría espacial que antes no estaban presentes. En este aspecto se destacan autores como Anselin, Rey, LeSage y Pace.

Teniendo en cuenta los anteriores elementos, este trabajo busca hacer uso de este tipo de análisis para estudiar tres fenómenos económicos teniendo al espacio como un factor fundamental que media o explica las relaciones consideradas. El primero trata sobre el estudio del Mercado de Energía Mayorista (MEM) colombiano en el periodo de enero de 2005 a agosto de 2015. En este trabajo, se hace uso de la economía geográfica en conjunto con el paradigma estructura-conducta-desempeño de la organización industrial, para analizar la toma de decisiones estratégicas de las plantas de generación de energía eléctrica en la determinación del precio de oferta. Los resultados indican que la toma de decisiones está vinculada directamente con las condiciones climáticas regionales, la ubicación de las plantas en relación con sus rivales y la estructura tecnológica principalmente hidráulica del mercado colombiano. De esta forma, una empresa podrá considerar la disponibilidad relativa de recursos, en comparación con sus rivales, y ofertar un precio más alto al sistema si tiene conocimiento de escasez de recursos en otras ubicaciones del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Así, este trabajo concluye con la presentación de posibles recomendaciones de política,

como la implementación de mercados de balance<sup>1</sup>, para señalar de manera eficiente las estrategias de fijación de precios en el mercado.

El segundo tiene que ver con el uso del concepto de potencial de mercado, propuesto inicialmente por Harris (1954) e integrado completamente en la actualidad en los estudios de economía geográfica gracias a la formalización propuesta por Krugman (1991). En este caso, se estudia el efecto del potencial de mercado sobre la distribución geográfica de la industria manufacturera en Colombia, a nivel departamental para el periodo 1985-2015. Si bien este tipo de trabajos son tradicionales en la literatura de economía geográfica y economía regional, el caso de estudio es interesante por dos razones: 1) se realiza en el contexto de un país con disparidades regionales del ingreso, reseñadas por varios autores (Bonilla-Mejía, L. 2008; Galvis & Meisel, 2010; Loaiza-Quintero & Moncada-Mesa, 2013), en paralelo con una alta concentración de la manufactura en unas pocas regiones y, 2) un proceso de desindustrialización creciente, con la industria relegada por el aumento de la participación del sector terciario en la generación de valor agregado y una canasta exportadora concentrada principalmente en bienes de extracción. Bajo este contexto, los resultados indican que el potencial de mercado es una variable relevante para explicar la distribución espacial de la industria manufacturera. Adicionalmente, también resalta la importancia de las economías de urbanización, locales y vecinales, en el crecimiento de la industria.

Finalmente, el tercero hace énfasis en el uso del concepto de acceso a los mercados para evaluar su efecto sobre la productividad agrícola en el departamento de Antioquia (Colombia) con datos del 2014 a nivel de veredas<sup>2</sup>. De este modo, el concepto de distancia a los principales mercados toma relevancia para explicar, con base en el modelo de von-Thünen-Alonso, como la distancia a los mercados agrícolas puede generar incentivos en el uso de la tierra y, por tanto, en el rendimiento de la producción. En consecuencia, se encuentra una relación negativa entre la distancia de las veredas productoras de bienes agrícolas a los mercados subregionales y la

---

<sup>1</sup> Conocido en la literatura en inglés como "*Balancing Market*".

<sup>2</sup> División político-administrativa menor a municipios en el caso colombiano.

productividad agrícola. Este resultado resalta la importancia de la configuración de una estructura de transporte lo suficientemente eficiente, con el objetivo de mejorar los niveles de productividad en las zonas rurales en el departamento.

El desarrollo de cada uno de estos estudios tiene como elemento transversal el uso de técnicas de econometría espacial, la cual permite considerar las relaciones entre las variables, condicionando respecto al espacio. Ya sea mediante el uso de datos de panel (ensayo 1 y 2), o datos de corte transversal (ensayo 3), el uso de la econometría espacial permite evaluar la posible influencia del espacio, y de esta forma corregir las estimaciones econométricas a la presencia de posibles problemas de especificación, que de otra forma invalidarían la inferencia estadística y afectarían la calidad de las estimaciones. Como afirma LeSage (2014), frecuentemente los datos espaciales violan el supuesto de que cada observación es independiente de otras observaciones realizado por métodos de regresión tradicionales. Por tanto, el uso de la econometría espacial como una herramienta metodológica para el estudio de fenómenos asociados al espacio se considera un enfoque adecuado.

En general, el uso de estas técnicas permite: primero, la inclusión de una matriz de pesos o ponderación exógena, lo cual admite considerar explícitamente las relaciones entre variables a lo largo del espacio, reflejando el concepto de vecindad considerado por el investigador. Segundo, la diferenciación entre efectos directos, calculados por los métodos de regresión tradicionales, y los efectos indirectos o de desbordamiento (spillovers), que vinculan la relaciones entre las variables, pero condicionado a la ubicación espacial y el contexto de vecindario. Y tercero, la posibilidad de adoptar dos enfoques diferentes de estos spillovers, locales y/o globales, los cuales encuentran su diferencia en si el fenómeno tiene implicaciones solo en el vecindario o en todo el territorio de forma acumulada, respectivamente.

La presente tesis doctoral se encuentra organizada de la siguiente manera. Luego de esta introducción, el contenido del trabajo se estructura en tres capítulos, cada uno con su introducción, revisión de literatura y/o marco teórico, metodología y fuente de los datos utilizados, resultados y

conclusiones. Se finaliza con la inclusión de las principales conclusiones derivadas de cada uno de los trabajos y la mención de futuras líneas de investigación. El listado de las referencias bibliográficas de los tres capítulos se reúne en el epígrafe "Bibliografía".

Finalmente, por medio de la inclusión de un anexo, se muestra la descripción de las variables, las estadísticas descriptivas y las estimaciones del capítulo 3, en el epígrafe "Datos y variables capítulo 3", ya que debido a su extensión se consideró pertinente no incluirlas directamente en el capítulo.

## **Capítulo 1**

### **UBICACIÓN DE LA EMPRESA, CONDICIONES CLIMÁTICAS REGIONALES Y ESTRATEGIAS DE PRECIO DE OFERTA EN EL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA COLOMBIANO<sup>3</sup>**

#### **RESUMEN**

En este capítulo se plantea un modelo espacial de Durbin dinámico para tener en cuenta los efectos que las condiciones climáticas regionales tienen en el precio de oferta.

Las condiciones climáticas en Colombia varían mucho a lo largo del territorio. Este hecho, en el contexto del mercado de energía mayorista colombiano juega un papel clave en las estrategias de precios de oferta y en la intensidad del comportamiento estratégico entre plantas.

Los resultados muestran cómo los aportes energéticos se vuelven críticos para la fijación de precios de oferta, hecho que se ve reforzado por el predominio de las tecnologías de generación hidráulica.

Una posible recomendación de política es la necesidad de implementar mercados de balance<sup>4</sup> para señalar de manera eficiente las estrategias de fijación de precios en estos mercados.

#### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Los factores locales y regionales pueden considerarse componentes clave que ayudan a comprender muchos fenómenos económicos. Por nombrar algunos, los incentivos fiscales locales son importantes en el crecimiento económico y los procesos de desarrollo económico (Jofre-Monseny & Solé-Ollé, 2010), los atributos locales de la "policy amenable" son factores importantes para explicar el crecimiento del empleo en Canadá (Shearmur & Polése, 2007) y las diferencias en las condiciones climáticas entre las ciudades de Europa han determinado las tasas de crecimiento de la población a lo largo del tiempo

---

<sup>3</sup> Este capítulo está publicado en la revista *Regional Studies*. Garcia Rendon, J. J., López-Rodríguez, J., & Moncada-Mesa, J. (2021). Firm location, regional weather conditions and bid pricing strategies in the Colombian wholesale electricity market. *Regional Studies*, 56(9), 1554-1570. doi: 10.1080/00343404.2021.1994136.

<sup>4</sup> Como se mencionó anteriormente, estos mercados con conocidos internacionalmente como balancing markets.

(Cheshire & Magrini 2006). Siguiendo esta amplia literatura, este artículo trata de explicar cómo la variación en las condiciones climáticas regionales en Colombia determina el comportamiento de fijación de precios de las plantas generadoras de electricidad.

La geografía física de Colombia da lugar a todo tipo de condiciones climáticas que hacen que los períodos de sequía y/o lluvia no sean homogéneos en todo el país. Fenómenos como "El Niño", a diferencia de su entendimiento general, no tienen los mismos efectos en las distintas regiones de Colombia. Por ejemplo, podría suceder que los territorios del norte del país sufran un período de sequía, mientras que en el centro se presenten lluvias regulares. Esta situación afectaría negativamente los niveles de reservas de agua de las unidades generadoras de electricidad ubicadas en el Norte y beneficiaría a las ubicadas en las partes centrales ya que podrían almacenar agua y jugar estratégicamente con sus suministros de energía eléctrica para afectar los precios de oferta. Estrategias de este tipo son factibles en Colombia ya que el mercado eléctrico mayorista depende en gran medida de la generación hidráulica (entre el 65%-80% de la generación eléctrica total depende de esta tecnología) y la geografía física colombiana tiene un impacto considerable en las condiciones climáticas en las diferentes partes del territorio. Todos estos hechos hacen que la ubicación de las plantas de los generadores de electricidad dentro del territorio colombiano juegue un papel clave en sus estrategias de precios de oferta y en la intensidad de su comportamiento estratégico. Comprender y estimar el nexo entre la ubicación de la planta, las condiciones climáticas y su impacto en los precios de oferta del mercado mayorista de electricidad es el corazón de este ensayo.

En un sentido más amplio, las plantas generadoras de electricidad no solo tienen que conocer variables como la generación de electricidad, los aportes de energía y los pagos por reconciliación positiva para fijar sus precios de oferta. También deben incorporar la ubicación geográfica de sus competidores para capturar el impacto diferencial de las condiciones climáticas en las regiones colombianas sobre las variables anteriores. Las variables clave en las estrategias exitosas de fijación de precios de oferta, como la generación de electricidad y los aportes de energía, dependen de qué

tan bien ubicada esté una planta con respecto a sus rivales. Por lo tanto, la ubicación específica de las centrales de generación hidráulica se convierte en una fuente de comportamiento estratégico para sus estrategias de precios de oferta.

El uso de variables de la geografía física ha sido muy común en el marco de las teorías tradicionales del desarrollo económico y en la literatura de economía geográfica (o Nueva Geografía Económica - NGE) para explicar las diferencias en los niveles de desarrollo entre países, las diferencias en las tasas de crecimiento y la existencia de gradientes espaciales en términos de ingresos y capital humano (Bruna et al., 2016; Gallup et al., 1999; Hall & Jones, 1999; Krugman, 1993; Lopez-Rodriguez et al., 2007; Lopez-Rodriguez et al., 2011). Sin embargo, el uso de variables geográficas es bastante escaso en el análisis de las estrategias de precios de oferta en los mercados de generación eléctrica. Por ejemplo, Burnett y Zhao (2015), estiman un modelo de econometría espacial para explicar los precios mayoristas de electricidad en el mercado de Pensilvania-Jersey-Maryland (PJM). Los autores concluyen que la naturaleza geográfica del sistema de transmisión influye en el pronóstico de los precios spot zonales. Popova (2004), estudiando el mismo mercado concluye que la topología de la red y la estructura del mercado de PJM, es responsable de la correlación espacial que se presenta entre los precios spot de la electricidad.

En este capítulo, se modela la fijación del precio de oferta de las plantas de generación eléctrica colombianas considerando la ubicación geográfica de los rivales y, por lo tanto, se tiene en cuenta los efectos que la geografía física (condiciones climáticas) tiene en estas decisiones. Para incorporar este aspecto se estima un modelo espacial de Durbin dinámico donde las condiciones climáticas se pueden inferir a partir de la forma en que se construye la matriz de ponderación espacial (generalmente etiquetada como  $W$ ) del modelo (basado en la ubicación geográfica de las plantas generadoras de electricidad). Con la información geográfica relacionada con la longitud y latitud de cada central de generación hidráulica, se calculan los elementos fuera de la diagonal de la matriz considerando la inversa de la distancia

euclidiana entre cada central. El modelo se estima con datos diarios durante el período de enero de 2005 a agosto de 2015.

El capítulo presenta tres resultados principales: primero, los aportes de energía se vuelven críticos para establecer los precios de oferta. La principal razón es que los aportes energéticos son muy sensibles a las diferentes condiciones climáticas que enfrentan las regiones colombianas, hecho que se ve reforzado por el predominio de las tecnologías hidráulicas de generación eléctrica. En segundo lugar, la información en tiempo real sobre la generación de electricidad de la planta y la información pasada de los rivales se vuelve relevante para fijar los precios de oferta. En tercer lugar, los pagos de reconciliación positiva a la planta son relativamente más importantes que los pagos de reconciliación positiva para los rivales a la hora de fijar los precios de oferta. Estos resultados informan sobre la existencia de comportamientos estratégicos en este mercado vinculados a la ubicación geográfica de las plantas. Por lo tanto, este capítulo llena el vacío de los estudios sobre las estrategias de precios de oferta de los mercados mayoristas de electricidad al tener en cuenta explícitamente la importancia de la geografía física (condiciones climáticas) y la ubicación de las plantas en sus estrategias de fijación de precios de oferta.

Los resultados respaldan el uso de fuentes alternativas de generación eléctrica en el mercado energético colombiano, las cuales deben basarse en la inclusión de energías renovables no convencionales y nuevos sistemas de almacenamiento de energía. El diseño de las nuevas políticas colombianas dirigidas al sector energético necesita profundizar en aspectos relacionados con los recursos de generación distribuida y el rol de los prosumidores para lograr mayores niveles de sostenibilidad ambiental. Esto se puede hacer, por un lado, impulsando plantas de energía solar fotovoltaica de autogeneración de pequeña y mediana escala. Por otro, a través del rol de los prosumidores al permitirles inyectar excedentes de energía a la red para aumentar la competencia entre los agentes del mercado eléctrico colombiano y disminuir los comportamientos estratégicos de las empresas.

Las reformas en los aspectos antes mencionados tendrían efectos positivos en los objetivos de sostenibilidad ambiental. Estas políticas fomentarían una



sustitución paulatina de las plantas de generación eléctrica basadas en combustibles fósiles, por plantas de energía solar fotovoltaica. Esta transición hacia un nuevo sistema de generación eléctrica aliviaría por un lado la alta dependencia que tiene el actual sistema al fenómeno de “El Niño” y, por otro, el fenómeno “El Niño” jugaría a favor de la transición al nuevo sistema. Cuando ocurre “El Niño” es cuando más electricidad se podría generar a través de plantas solares fotovoltaicas. Asimismo, se debe implementar una política complementaria para optimizar los servicios que se pueden obtener de los sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías. A partir de 2021, de acuerdo con la resolución 098 de 2019 de la Comisión Reguladora de Electricidad y Gas (CREG), estos sistemas de almacenamiento están previstos únicamente para satisfacer servicios derivados de restricciones de red.

La parte restante del capítulo se estructura de la siguiente manera. En la segunda sección se hace una breve revisión de la literatura. En la tercera sección se explica la estructura del mercado mayorista de generación eléctrica en Colombia y se presentan los hechos estilizados de este mercado. La cuarta sección contiene una explicación detallada de la metodología, la descripción de las variables incluidas en el análisis y la presentación y discusión de los resultados econométricos. Finalmente, en la última sección, se extraen las principales conclusiones e implicaciones políticas del análisis.

## **1.2 MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LITERATURA**

La literatura sobre organización industrial establece las pautas para explicar diferentes estructuras de mercado (Tirole, 1988). Una de las variables clave que permite analizar el comportamiento de los mercados mayoristas de electricidad y, al mismo tiempo, tener en cuenta los comportamientos estratégicos de las empresas, es el precio de oferta ofrecido por las mismas (Hortaçsu & Puller, 2008; Reguan, 2014; Wolak, 2000). Estos precios dependen no solo de la estructura oligopólica de este mercado, sino también de las tecnologías de generación y de los comportamientos específicos de las empresas que operan en él. Además, en este tipo de mercados la ubicación

de las plantas de generación juega un papel clave en su comportamiento de fijación de precios (Belleflamme & Peitz, 2015; Green, 1996; Grether, 1970; Hotelling, 1929; Klemperer & Meyer, 1989; Lipczynski et al. 2017; Wolfram, 1998).

Así, una variable estructural que puede explicar el comportamiento estratégico de las empresas al fijar su precio de oferta en el mercado spot de electricidad es la cantidad demandada, que en este caso equivale al precio de generación de electricidad, es decir, de la cantidad ofertada (Defeuilley, 2009; Joskow y Kahn, 2002). Dada la importancia del componente hidráulico de este mercado para Colombia, y, al mismo tiempo, la alta dependencia de esta tecnología a las condiciones climáticas, variables como los aportes energéticos (hasta un 85% en horas pico) y fenómenos como El Niño, son relevantes en las estrategias de precio de oferta de las plantas de generación eléctrica colombianas (Pérez & García, 2021). Otras variables que juegan un papel clave en la fijación del precio de oferta son el precio marginal del sistema del mercado eléctrico mayorista y el índice de empleo industrial, que pueden tomarse como un proxy del desempeño de la economía.

Además de las condiciones físicas para explicar el comportamiento estratégico de las plantas en sus estrategias de fijación de precios de oferta, la literatura de economía geográfica también considera la importancia de la geografía en la distribución de la actividad económica en el espacio. Las empresas pueden almacenar agua y ofertar a un precio más alto cuando aumenta la demanda. En este caso, se pueden tomar en consideración dos aspectos principales y complementarios: la geografía de primera naturaleza, que explica los efectos de las diferencias exógenas en las dotaciones de factores (Gallup, Sachs & Mellinger, 1999; Sachs, 2003) y la geografía de segunda naturaleza, que expone la localización de las empresas como un fenómeno endógeno de la toma de decisiones de los agentes que, a su vez, puede conducir a la aglomeración de la actividad económica (Ellison & Glaeser, 1997; Krugman, 1991).

La literatura internacional sobre la fijación de precios en mercados mayoristas de electricidad ha recurrido al uso de diferentes modelos; modelos de oferta (Green, 1996; Green & Newberry, 1991), modelos de subasta (Brunekreeft,

2001; von der Fehr & Harbord, 1993), modelos de oligopolio tipo Cournot (Fabra & Toro, 2005) y modelos econométricos (Wolfram, 1998). En todos estos modelos la característica común es que los generadores de electricidad comúnmente tienen poder de mercado, el cual es utilizado estratégicamente para planificar ofertas que eleven los precios spot y aumenten las ganancias. Otros estudios que emplean técnicas menos convencionales son los de Hurtado et al. (2014) que recurren al uso de un modelo de inteligencia artificial, o Geman y Roncoroni (2006) y García et al. (2013) quienes utilizan un modelo de reversión a la media y un modelo estocástico, respectivamente. El poder de mercado de los generadores de electricidad y su posterior manifestación en los precios spot se ve afectado no sólo por el carácter oligopólico de esta industria, sino también por la ubicación estratégica de las plantas desde el punto de vista geográfico. La geografía física influye en las condiciones climáticas y, por lo tanto, también afecta la distribución geográfica de la generación hidráulica (Joskow & Kahn, 2002; Laitinen et al., 2000; Mathiesen et al., 2013; Rangel, 2008; Schill & Kemfert, 2011). Por ejemplo, Laitinen et al. (2000) y Mathiesen et al. (2013), argumentan que las precipitaciones tienen un efecto significativo en los precios spot, que difiere para verano e invierno. Esto provoca que los consumidores tengan diferentes elasticidades precio de la demanda para cada estación y, por tanto, los productores adopten diferentes comportamientos estratégicos dependiendo de la temporada. De manera similar, Joskow y Kahn (2002), utilizando una estimación contrafactual de los precios de la electricidad de California en el año 2000, han mostrado cómo una reducción en las importaciones de electricidad debido a la sequía ha aumentado sustancialmente su precio, en comparación con los dos años anteriores donde las sequías estaban ausentes.

Recientemente, varios estudios han analizado el comportamiento estratégico de los generadores hidráulicos con respecto a la fijación de precios spot pero vinculados a la ubicación (Burnett & Zhao, 2015; Mathiesen et al., 2013; Rangel 2008; Schill & Kemfert, 2011). Estos autores encontraron que la ubicación de los generadores y su gestión de las reservas de agua a lo largo del tiempo juegan un papel importante en sus estrategias de fijación de

precios spot. Sin embargo, hasta donde sabemos, no existe ninguna investigación que muestre el papel que juega la ubicación geográfica de los generadores de electricidad en sus estrategias de fijación de precios de oferta. Este trabajo es un primer intento de hacerlo, para el caso de Colombia.

## **1.3 MERCADO COLOMBIANO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA: ESTRUCTURA Y ALGUNOS HECHOS ESTILIZADOS**

### **1.3.1 ALGUNOS HECHOS ESTILIZADOS**

La actividad de generación eléctrica en Colombia está dominada en gran medida por la tecnología hidráulica, suministrando aproximadamente entre el 65% y el 80% de la energía, dependiendo si la demanda<sup>5</sup> es en hora pico o en hora valle. Esta tecnología que es muy dependiente de las condiciones climáticas hace que la ubicación de las plantas generadoras de electricidad sea crucial para tener un desarrollo confiable del sistema.

La demanda de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) de Colombia en 2014 fue de 63 GWh-año, con incrementos sostenidos en los últimos dos años de alrededor del 3% (XM, 2015). El sistema eléctrico en Colombia consta de cuatro actividades: generación, transmisión, distribución y comercialización. Este trabajo se enfoca en el primer tipo de actividades, en las cuales la electricidad es producida por los generadores. Los generadores se diferencian entre sí por el tipo de plantas que poseen, las cuales se clasifican en cuatro categorías: a) plantas con capacidad instalada superior a 20 MW (en la terminología colombiana, estas plantas se conocen como Plantas Despachadas Centralmente), b) plantas con capacidad instalada inferior a 20 MW (Plantas no Despachadas Centralmente) c) cogeneradores y d) autogeneradores. Solo los generadores con plantas en la clasificación a) y b) cumplen con los requisitos para participar en el mercado eléctrico mayorista colombiano.

La actividad de generación de electricidad se caracteriza por economías de escala con altos costos fijos de producción y barreras de entrada. Esto

---

<sup>5</sup> Grandes proyectos basados en tecnología hidráulica, actualmente en construcción, como Pescadero-Ituango entre otros, hace pensar que esta situación no cambiará sustancialmente en los próximos años.

conduce a la existencia de una estructura de mercado oligopólica, donde los actores involucrados en esta industria ejercen su poder de mercado (Belleflamme & Peitz, 2015; Botero et al, 2013; Carlton & Perloff, 2004; Hurtado et al, 2014) mediante la fijación de precios de oferta por encima de los costos operativos promedio totales.

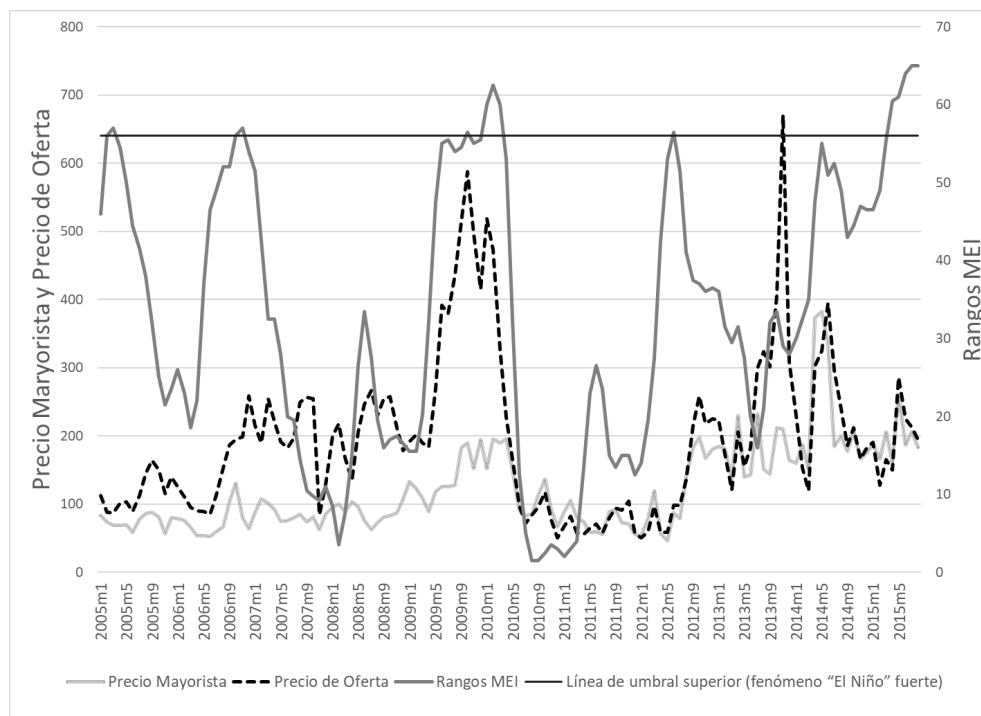
En Colombia en 2014, aproximadamente el 61% de la generación eléctrica correspondió a los tres mayores actores de la industria, mientras que el 82% está cubierto por los seis mayores actores de la industria. Además, en 2014, la capacidad instalada fue principalmente hidráulica (65,5%) y térmica (28,6%). La capacidad instalada restante está compuesta por plantas más pequeñas y cogeneradores (5%) (XM, 2015).

La electricidad es un bien homogéneo con una baja elasticidad precio de la demanda en períodos de corto plazo. Gutiérrez (2011) y Zapata (2011) encontraron que, para el caso de Colombia, la elasticidad varía entre -0,067 y -0,12. Las grandes asimetrías de información, donde los usuarios conocen sus niveles de consumo dos meses después de ocurrido el consumo, son el corazón de estos bajos valores. Además, se requiere un gran esfuerzo en términos de coordinación para hacer coincidir las ofertas de las plantas con la demanda prevista para satisfacer la demanda en tiempo real.

Dado el alto porcentaje de generación con tecnología hidráulica, el desempeño del mercado eléctrico mayorista depende en gran medida de las condiciones climáticas del país, las cuales están fuertemente ligadas al fenómeno de "El Niño". La fuerza de "El Niño" y consecuentemente su impacto en el desempeño del mercado es proporcionada por el Índice ENSO Multivariante (MEI) (Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica - NOAA, 2015). Cuando este índice toma valores entre 44 y 56, representa un fenómeno de "El Niño" intermedio, y cuando el índice toma valores entre 56 y 61, representa un fenómeno de "El Niño" fuerte.

Luego del lanzamiento del mercado eléctrico mayorista en 1995, el período más seco se presentó con el fenómeno de "El Niño" de 1997. Otros periodos en los que estuvo activo el fenómeno de "El Niño" correspondieron al primer mes de 2005, los últimos cuatro meses de 2006 y principios de 2007, los

últimos seis meses de 2009 y los primeros cuatro meses de 2010 y los últimos tres meses de 2014 y los tres primeros meses de 2015 (Figura 1.1).



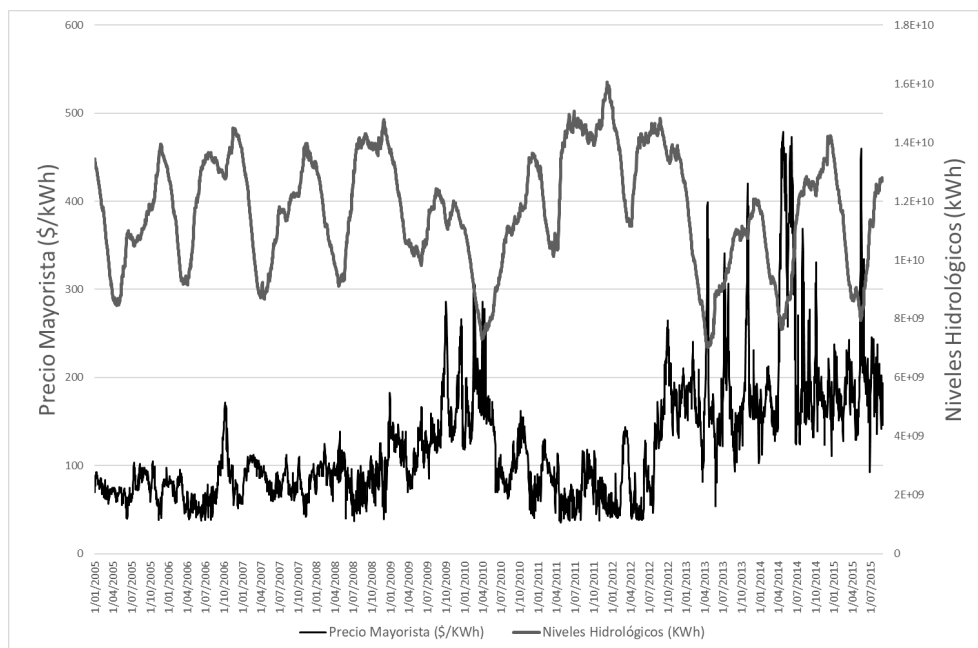
**FIGURA 1.1 – PRECIO MARGINAL DEL SISTEMA, PRECIO DE OFERTA Y RANGOS MEI, COLOMBIA**

Elaboración propia; fuente: XM y NOAA (2015)

Nota: Los valores de MEI por encima de la línea del umbral superior representan un fuerte fenómeno de "El Niño".

La alta dependencia de la tecnología hidráulica en la generación de electricidad en Colombia y el impacto de las condiciones climáticas en su desempeño conduce a una correlación positiva entre "El Niño" y el precio marginal del sistema (aproximadamente 30%). Sin embargo, también es importante tener en cuenta el efecto que pueden tener sobre el precio marginal del sistema otras variables relacionadas con los fundamentos económicos del mercado eléctrico mayorista colombiano como las normas regulatorias establecidas por la comisión de energía y gas, temas de aversión al riesgo respecto a la regulación, etc. En suma, el mercado eléctrico mayorista es un mercado con un nivel de complejidad bastante alto, donde existen muchas variables que influyen en el precio marginal del sistema y los

precios de oferta (Botero et al., 2013; García et al., 2013; Hurtado et al., 2014; Santa María et al., 2009).

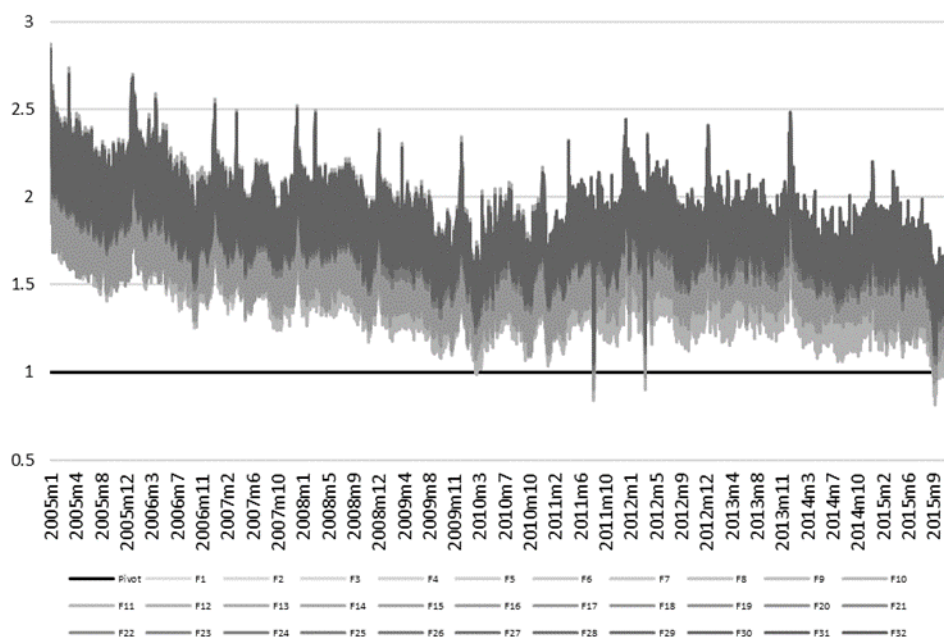


**FIGURA 1.2 - PRECIO MARGINAL DEL SISTEMA Y NIVELES HIDROLÓGICOS, COLOMBIA**

Elaboración propia; fuente: XM (2015)

La Figura 1.2 muestra la relación entre el precio marginal promedio del sistema de la electricidad y los niveles hidrológicos. La medida de los niveles hidrológicos incluye principalmente los embalses de agua y los aportes energéticos (agua proveniente de los ríos a los embalses) que representa la oferta total disponible a nivel nacional para la generación hidráulica. Se puede encontrar una correlación negativa de alrededor del 32% entre los niveles hidrológicos y el precio marginal del sistema. Debido a que los niveles hidrológicos representan el suministro total disponible en un período de tiempo determinado, no se puede observar una correlación positiva. Sin embargo, se puede observar en algunos períodos, por ejemplo, a principios de 2010, una fuerte caída en los niveles hidrológicos y como consecuencia un aumento en los precios marginales del sistema eléctrico. Asimismo, entre 2013 y 2014, el gráfico muestra un incremento en la volatilidad de los precios de la electricidad provocado por importantes variaciones en los niveles hidrológicos.

La Figura 1.3 muestra que en dos periodos donde el fenómeno de “El Niño” se caracterizó como fuerte, dos de las mayores empresas del mercado eléctrico mayorista han sido pivotes. Esto puede ser justificado por los cambios introducidos en el marco regulatorio, llevando a estas empresas a almacenar la fuente hídrica y consecuentemente prestar el servicio con tecnología térmica, principalmente con combustible líquido.



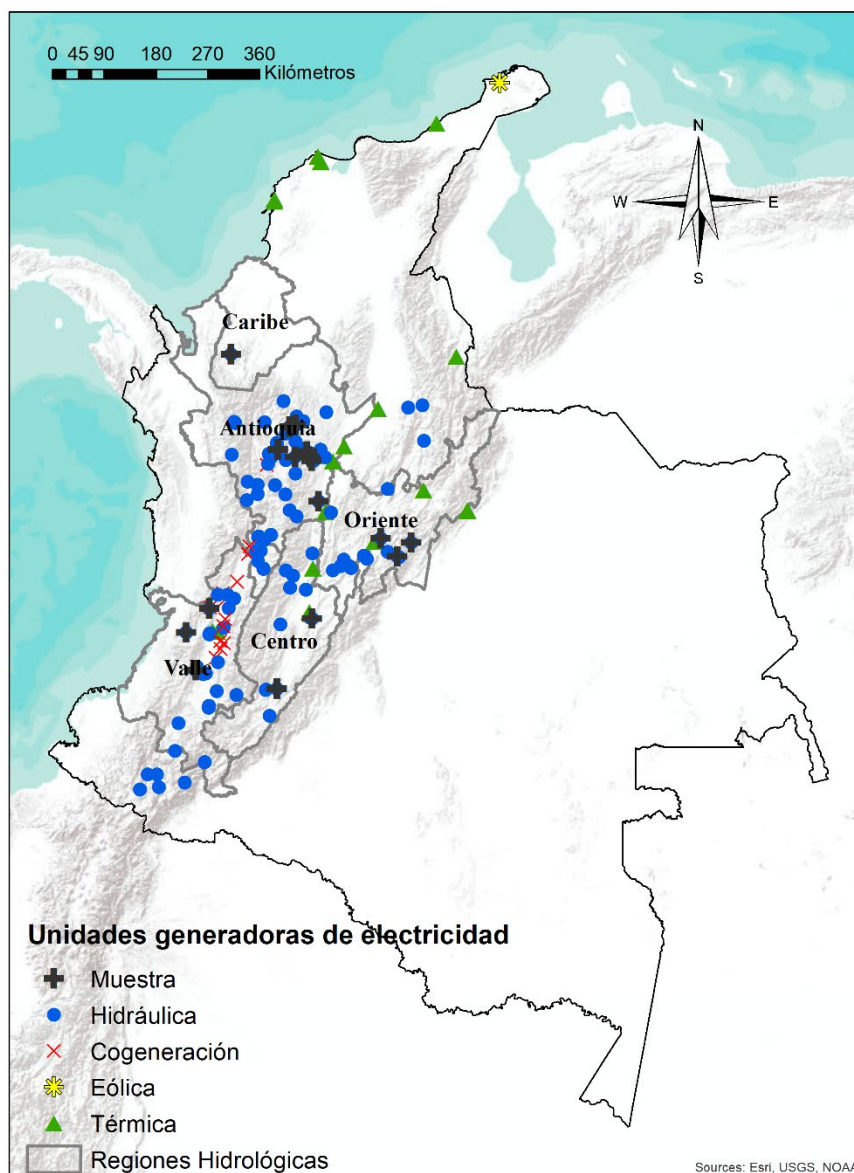
**FIGURA 1.3 - ÍNDICE DE OFERTA RESIDUAL (IOR), COLOMBIA**

Elaboración propia; fuente: XM (2015)

Nota: Un valor por debajo de 1 indica que la empresa es pivote.

La mayoría de las plantas generadoras de electricidad pertenecen al Sistema Interconectado Nacional (SIN), pero la tecnología de generación de electricidad varía a lo largo del sistema. Mientras que la Región Andina y la Costa Atlántica Central son regiones basadas principalmente en la generación hidráulica, la Costa Atlántica es principalmente una región de generación térmica (ver Figura 1.4). Este hecho no es ajeno a la ubicación geográfica estratégica de las plantas de generación eléctrica. Por lo tanto, el tipo de recurso utilizado para generar energía es específica de la región.





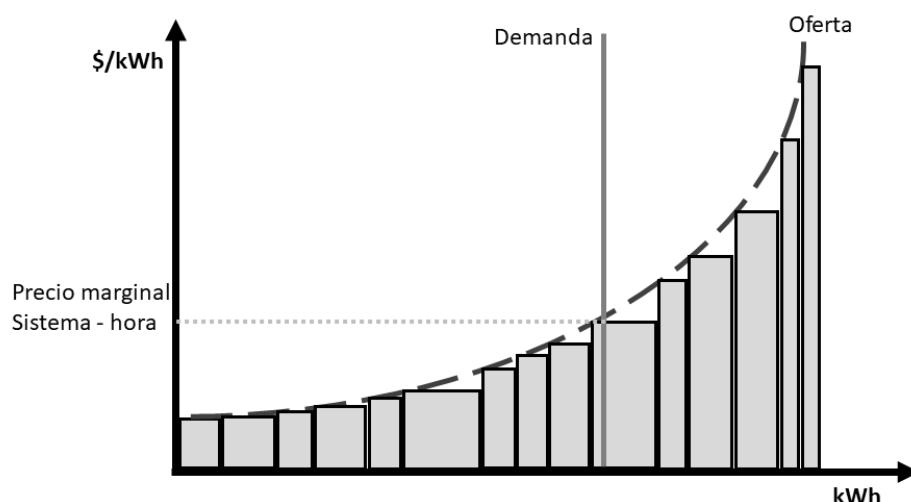
**FIGURA 1.4 - UBICACIÓN DE LAS PLANTAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD, COLOMBIA**

Elaboración propia; fuente: XM y sitio web de cada empresa generadora

### 1.3.2 EL MECANISMO DE PRECIOS DEL MERCADO DE ENERGÍA MAYORISTA

El mercado eléctrico mayorista colombiano es coordinado por el administrador, una empresa llamada XM. Opera como un mercado “diario”: cada día se divide en períodos de 24 horas y un precio único cubre todas las compras y ventas en ese período de hora. Los precios del pool se basan en los cronogramas de ofertas presentados diariamente por cada generador que

detallan los precios a los que estarían dispuestos a suministrar energía desde cada una de las plantas que poseen obteniendo una curva de oferta de pendiente positiva. El Precio Marginal del Sistema (PMS) se determina en el mercado cruzando la información de los pronósticos de demanda para el día siguiente y la planta con el precio de oferta más alto para cumplir con estos pronósticos (ver Figura 1.5). El PMS está configurado para tramos de una hora y el administrador del sistema (XM) opera el mecanismo de licitación. PMS es un precio nodal que, a diferencia de los precios multinodales, que son comunes en otros mercados (EE. UU.), se basa en un precio único para el mercado eléctrico mayorista colombiano.



**FIGURA 1.5 - MECANISMO DE DETERMINACIÓN DEL PRECIO MARGINAL DEL SISTEMA**

Elaboración propia

Además, teniendo en cuenta que la previsión de demanda no necesariamente coincide con la demanda en tiempo real, el administrador, de conformidad con las reglas establecidas por el regulador del mercado eléctrico (conocido en Colombia como Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG), fija sobre el precio marginal del sistema un pago extra que se destina a compensar a los generadores por poner a disposición sus capacidades de generación. Estos pagos extra en el mercado eléctrico colombiano se conocen

como reconciliación positiva<sup>6</sup>. Los extrapagos, que en este caso se refieren a los pagos que se dan a los generadores por el desajuste entre la demanda prevista y la demanda en tiempo real, también pueden darse para garantizar la calidad del servicio (electricidad) prestado por los generadores, técnicamente conocido como Control Automático de Generación (AGC). La razón para incorporar la reconciliación positiva como una variable clave que afecta la fijación del precio de oferta se justifica con base al hecho de que las empresas, desde un punto de vista de comportamiento estratégico, se enfrentan a una disyuntiva que consiste en suministrar su electricidad en el mercado mayorista o, alternativamente, ofrecerse al regulador del sistema para cubrir el desajuste entre la demanda prevista y la demanda en tiempo real dependiendo de cuál de estas dos alternativas ofrezca a las empresas mayores pagos (mayores ingresos).

Es importante tener en cuenta que la gran mayoría de las empresas generadoras de electricidad están integradas verticalmente. Por lo tanto, maximizan su cartera de servicios y esto justifica la inclusión de restricciones de red en el estudio. Sin embargo, en el mercado eléctrico mayorista en Colombia no existe un mercado de balance que remunere estas restricciones. Se realiza mediante una norma reglamentaria establecida por el regulador.

## **1.4 ESPECIFICACIÓN ECONOMETRICA**

### **1.4.1 UNA GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN CAUSAL DE LAS ESPECIFICACIONES ECONOMETRICAS: EL PARADIGMA "ESTRUCTURA-CONDUCTA-DESEMPEÑO" DE LA ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL**

Uno de los principales enfoques seguidos por la literatura sobre organización industrial para estudiar el comportamiento estratégico de las empresas es el paradigma "estructura-conducta-desempeño" (Lipczynski et al., 2017; Tirole, 1988). Este enfoque adoptado para este estudio de caso particular brinda una vía natural para interpretar cómo la estructura del mercado eléctrico colombiano (aproximación por variables relevantes como el precio marginal

---

<sup>6</sup> En la literatura estándar sobre mercados de electricidad, estos pagos extras se realizan en los llamados mercados de balance.

del sistema, los aportes de energía, la reconciliación positiva, las características de ubicación de las empresas para inferir problemas climáticos, etc.) determina el comportamiento estratégico de las empresas, basado en información relevante presente y pasada de sus competidores, para establecer sus precios de oferta (desempeño). La evidencia empírica para estimar los principales factores que influyen en el precio de oferta fijado por una unidad generadora de electricidad en el mercado eléctrico mayorista siguiendo el paradigma estructura-conducta-desempeño se puede encontrar en Hortaçsu y Puller (2008), Reguan (2014) y Wolak (2000).

#### 1.4.2 ESPECIFICACIÓN CANÓNICA

En este capítulo se estiman los principales factores que influyen en los precios de oferta en el mercado mayorista de electricidad colombiano mediante la regresión de los precios de oferta establecidos por las unidades generadoras de electricidad ( $BP_{it}$ ) en función del precio marginal del sistema rezagado uno y dos días ( $SMP_{t-1}$ ,  $SMP_{t-2}$ ), la generación de electricidad ( $GEN_{it}$ ), los aportes de energía en el período corriente y rezagados un día ( $IN_{it}$ ,  $IN_{t-1}$ ), los pagos por reconciliación positiva rezagados un día ( $PR_{it-1}$ ) y el empleo industrial ( $IE_t$ ). Los subíndices  $i$  y  $t$  se refieren a plantas de generación de electricidad y periodo de tiempo (días) respectivamente y  $\varepsilon_{it}$  es un ruido blanco (para más detalles ver Tabla 1.1).

La especificación econométrica estimada viene dada por la ecuación (1.1):

$$\ln BP_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln GEN_{it} + \beta_2 IE_t + \beta_3 IN_{it} + \beta_4 IN_{it-1} + \beta_5 \ln PR_{it-1} + \beta_6 \ln SMP_{t-1} + \beta_7 \ln SMP_{t-2} + \varepsilon_{it} \quad (1.1)$$

La estructura actual de la generación hidráulica en Colombia se caracteriza por reservas muy pequeñas que pueden vaciarse muy pronto si el clima es malo<sup>7</sup>. Esto justifica, desde el comportamiento estratégico de una empresa, considerar los aportes energéticos actuales y rezagados un día. El SMP tiene un retraso de uno y dos días. Es de tener en cuenta que las empresas

<sup>7</sup> Los embalses sólo pueden almacenar una cantidad de agua equivalente aproximadamente al 15% de la capacidad total de generación del sistema.

consideran la información previa de esta variable para fijar los precios de oferta del período actual. Siguiendo la misma línea de razonamiento también se ha rezagado un día la variable PR.

La ecuación (1) se estimará por efectos fijos y aleatorios utilizando una muestra de 66.181 observaciones que corresponden a las 17 plantas generadoras de energía eléctrica más grandes con datos diarios desde enero de 2005 hasta agosto de 2015.

### **1.4.3 DATOS**

Este estudio combina el uso de dos conjuntos de datos principales. El primero lo brinda el Operador del Mercado, XM, en su sitio web ([www.xm.com.co](http://www.xm.com.co)) en el "Portal BI". El segundo lo proporciona el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE ([www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)). El "Portal BI" brinda información para cada central generadora de electricidad sobre las siguientes variables: Precio de Oferta (BP), Reconciliación Positiva (PR), Generación de Electricidad (GEN), Aportes de Energía (IN) y Precio Marginal del Sistema (SMP). El Índice de Empleo Industrial (IE) se obtiene del DANE (ver Tabla 1.1).

**TABLA 1.1 - DESCRIPCIÓN DE VARIABLES**

<b>Variable</b>	<b>Unidades de medida</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Dato construido</b>	<b>Descripción</b>
Precio de Oferta (BD)	COP/kWh	diaria		Precio de la electricidad que ofrece cada central generadora de electricidad en el mercado mayorista
Reconciliación Positiva (PR)	kWh	horaria	acumulado diario	Pagos extras a cada planta generadora de electricidad establecidos por el Regulador del mercado por desajuste entre la demanda prevista y la demanda en tiempo real
Precio Marginal del Sistema (SMP)	COP/kWh	horaria	promedio día	Precio de oferta de la planta de generación eléctrica más costosa para atender la demanda de energía eléctrica
Generación Eléctrica (GEN)	kWh	horaria	acumulado diario	Generación de electricidad de cada planta
Aportes de Energía (IN)	kWh	diaria		Caudales de agua que salen de los ríos para abastecer las reservas del Sistema Interconectado Nacional (SIN)
Índice de Empleo Industrial (EI)		mensual	diaria	Índice de empleados ocupados en el sector manufacturero (año base 2014)

Elaboración propia; fuente: Portal BI, XM y Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE

#### **1.4.4 ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS POR REGIÓN HIDROLÓGICA**

Una primera aproximación a la influencia de la ubicación geográfica de las plantas de generación<sup>8</sup> en los precios de oferta de la electricidad se puede observar en la Tabla 1.2. Esta tabla recoge información sobre BP, GEN, PR e IN de cada una de las regiones hidrológicas determinadas por el operador del mercado, XM. Cabe destacar que la ubicación espacial de las plantas generadoras de electricidad tiene un efecto importante sobre la variable aportes energéticos, los cuales presentan diferencias significativas según la región hidrológica. Estas diferencias en los valores promedio observados

<sup>8</sup> Corresponde a la generación de energía que realizan las centrales hidráulicas más grandes del mercado. Representan aproximadamente el 65% de la generación eléctrica que no incluye la generación con tecnología térmica.

pueden deberse a diferencias en las capacidades físicas de las regiones para generar electricidad, diferencias en las condiciones climáticas causadas por la geografía física de las regiones o ambas. En el caso colombiano, la heterogeneidad espacial juega un papel importante en los insumos energéticos.

**TABLA 1.2 - ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS**

Variable	Unidades	Región Hidrológica	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
BP	COP/kWh	Antioquia	103,87	102,01	27,77	1.258,55
		Caribe	166,91	191,01	27,77	946,28
		Centro	262,91	502,09	27,77	3.000
		Oriente	94,93	125,32	16,00	2.100
		Valle	497,72	696,53	27,77	6.000
GEN	kWh	Antioquia	6.664.849,50	6.086.422,00	0,00	34.496.384
		Caribe	3.568.484,00	1.792.586,63	0,00	16.994.070
		Centro	3.184.449,50	3.677.881,25	0,00	25.030.654
		Oriente	12.228.074,00	7.068.429,00	0,00	60.980.592
		Valle	2.798.419,75	2.680.326,00	0,00	19.594.640
IN	kWh	Antioquia	8.825.577,00	7.644.913	62.500,00	110.000.000
		Caribe	3.697.769,00	2.284.843	138.400,00	28.600.000
		Centro	3.657.884,00	4.014.217	0,00	34.400.000
		Oriente	16.000.000,00	15.300.000	0,00	144.000.000
		Valle	2.956.976,00	2.728.793	0,00	32.000.000
PR	kWh	Antioquia	249.853,28	704.539,75	0,00	13.192.033
		Caribe	158.300,19	527.009,44	0,00	6.436.520
		Centro	347.419,16	792.397,00	0,00	6.762.238
		Oriente	828.332,94	1.592.104,50	0,00	15.249.006
		Valle	150.534,11	417.876,47	0,00	5.721.688,5

Elaboración propia; fuente: Portal BI, XM y Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE

Utilizando el coeficiente de correlación de Spearman<sup>9</sup> de los aportes energéticos de cada región hidrológica<sup>10</sup> (Tabla 1.3) se encuentra que dos correlaciones, Valle-Caribe y Valle-Oriente resultan ser no estadísticamente significativas. Esto podría implicar que las plantas de generación eléctrica ubicadas en estas regiones se comportan estratégicamente en cuanto a sus estrategias de fijación de precios de oferta. En esta decisión es importante

<sup>9</sup> Esta correlación es similar a la correlación de Pearson, pero es menos vulnerable a los valores extremos que pueden surgir en la serie.

<sup>10</sup> Para el desarrollo del coeficiente de correlación de rangos de Spearman, véase Conover (1999).

considerar el comportamiento de la demanda. Este análisis preliminar da algunas pistas sobre los efectos potenciales de la ubicación de la planta en las estrategias de fijación de precios de oferta. Estas características de ubicación se convertirán en un elemento clave para explicar las estrategias de fijación de precios de oferta de las plantas generadoras de electricidad en Colombia.

**TABLA 1.3 - COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE RANGOS DE SPEARMAN PARA LOS APORTES DE ENERGÍA**

	Aportes de energía				
	Antioquia	Caribe	Centro	Oriente	Valle
Antioquia	1,000				
Caribe	0,475 0,000	1,000			
Centro	0,330 0,000	0,268 0,000	1,000		
Oriente	0,440 0,000	0,603 0,000	0,570 0,000	1,000	
Valle	0,394 0,000	0,010 0,561	0,410 0,000	0,021 0,691	1,000

Elaboración propia; fuente: Portal BI, XM

## 1.5 RESULTADOS

Las estimaciones de la ecuación (1.1) se muestran en la Tabla 1.4. La prueba de Hausman (1974) señala que el modelo de efectos aleatorios es el que se debe estimar, dado que no se rechaza la hipótesis nula (5,19; p-valor 0,3936). Utilizando la prueba I de Moran y una batería de pruebas de Multiplicadores de Lagrange, se encontró dependencia espacial entre los residuales. Igualmente, la prueba de Pesaran rechaza la hipótesis nula de no dependencia entre plantas en los modelos de efectos fijos y aleatorios. Todas estas pruebas indican que se requiere una especificación espacial del modelo. El modelo de econometría espacial adecuado ha sido identificado siguiendo la metodología propuesta por Florax et al. (2003) y Belotti et al. (2017) (ver Tabla 1.5). Los resultados de las pruebas LR aplicadas para confrontar diferentes especificaciones espaciales apuntan claramente a un modelo espacial de Durbin dinámico.



**TABLA 1.4 - RESULTADOS DEL PANEL NO ESPACIAL**

Variable dependiente: Log BP		
VARIABLES	(1) Efectos Fijos	(2) Efectos Aleatorios
Log GEN	-0,108*** (0,000928)	-0,108*** (0,000928)
IE	0,0133*** (0,000799)	0,0133*** (0,000799)
IN	-1,62e-09*** (5,76e-10)	-1,62e-09*** (5,76e-10)
IN (-1)	-5,44e-09*** (5,76e-10)	-5,44e-09*** (5,76e-10)
Log PR (-1)	0,0246*** (0,000555)	0,0246*** (0,000555)
Log SMP (-1)	0,491*** (0,0225)	0,491*** (0,0225)
Log SMP (-2)	0,269*** (0,0225)	0,269*** (0,0225)
Constante	1,013*** (0,0998)	1,013*** (0,143)
Observaciones	66.181	66.181
Número de plantas	17	17
R <sup>2</sup> : intra	0,3523	0,3523
R <sup>2</sup> : entre	0,5159	0,5160
R <sup>2</sup> : total	0,3846	0,3846
Prueba de Hausman	5,19	5,19
Valor-p Hausman	0,3936	0,3936
Prueba de independencia transversal de Pesaran	12,7105	12,7075
Valor-p Pesaran	0,0000	0,0000
I de Moran	87,60	
LM de Error Espacial	7.615,47	
LM de Error Espacial Robusto	1.176,25	
LM de Rezago Espacial	6.597,83	
LM de Rezago Espacial Robusto	158,61	

Errores estándar entre paréntesis. \*\*\* p<0,01, \*\* p<0,05, \* p<0,1

Elaboración propia; fuente: Portal BI, XM y Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE  
 Nota: I de Moran y pruebas LM: Pruebas diagnósticas de dependencia espacial en regresión MCO. Todas las pruebas rechazan la hipótesis nula de ausencia de dependencia espacial residual al 1%. Debido a los altos costos computacionales, los resultados se refieren al año 2005. Se obtienen resultados similares para el resto de los años de la muestra. Los resultados se pueden proporcionar en caso de ser requeridos.

**TABLA 1.5 - PRUEBAS PARA LA SELECCIÓN DEL MODELO**

Contraste	$\chi^2$	Valor-p
SAR versus SAR dinámico	40.756,01	0,000
SDM versus SDM dinámico	40.580,53	0,000
SAR dinámico versus SDM dinámico	170,77	0,000
SEM versus SDM dinámico	40.958,89	0,000

Elaboración propia; fuente: Portal BI, XM y Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE

### 1.5.1 ESTIMACIÓN PREFERIDA: UN MODELO ESPACIAL DE DURBIN DINÁMICO

El modelo espacial que se estima en este capítulo se conoce como modelo espacial de Durbin dinámico que permite, por un lado, tener en cuenta el comportamiento estratégico de las empresas rivales mediante la incorporación de rezagos espaciales en nuestras variables clave (BP, GEN, PR, IN) y en el otro, considerar los precios de oferta pasados establecidos por la planta “i” y sus rivales.

Esta especificación espacial implica que las plantas conocen (de forma contemporánea) y utilizan la información sobre sus rivales para cambiar sus estrategias de precio de oferta. Las plantas tienen información sobre los precios de oferta de sus rivales, las cantidades generadas y las reconciliaciones positivas antes y mientras establecen sus propios precios de oferta. Contar con esta información es útil para las plantas que operan en este mercado, para reforzar sus comportamientos estratégicos; de esta forma, pueden tener acceso o capacidad para ejecutar algoritmos o usar inteligencia artificial para pronosticar mejor tanto los precios como la demanda.

La especificación econométrica toma la siguiente forma (1.2):

$$\ln BP_{it} = \beta_0 + \tau \ln BP_{it-1} + \psi W_i \ln BP_{it-1} + \rho W_i \ln BP_{it} + \beta_1 \ln GEN_{it} + \beta_2 IE_t + \beta_3 IN_{it} + \beta_4 \ln PR_{it} + \beta_5 \ln SMP_{t-1} + \beta_6 \ln SMP_{t-2} + \theta_1 W_i \ln GEN_{it} + \theta_2 W_i \ln GEN_{it-1} + \theta_3 W_i \ln IN_{it} + \theta_4 W_i \ln IN_{it-1} + \theta_5 W_i \ln PR_{it-1} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1.2)$$

donde los subíndices *i* y *t* representan las plantas generadoras de electricidad y el período de tiempo (días), respectivamente, y las definiciones de las variables son las mismas que en la ecuación (1). Además, el modelo tiene en

cuenta los rezagos espaciales de  $\ln BP$  ( $W\ln BP$ ),  $\ln GEN$  ( $W\ln GEN$ ),  $IN$  ( $WIN$ ) e  $\ln PR$  ( $W\ln PR$ ). Los elementos ( $w_{ij}, i \neq j$ ) de la matriz de ponderación,  $W$ , representan la inversa de la distancia euclidiana entre las plantas " $i$ " y " $j$ ". Los valores de distancia ( $d_{ij}$ ) se han calculado utilizando datos sobre la longitud y latitud de cada unidad generadora de electricidad. La diagonal principal toma valores "0". Finalmente,  $W$  ha sido estandarizado por filas a suma 1 para facilitar la interpretación<sup>11</sup>.

El esquema de ponderación propuesto pretende capturar las diferentes condiciones climáticas que se presentan en la geografía física colombiana asumiendo que la probabilidad de tener diferentes condiciones climáticas aumenta con la distancia entre las plantas; de esta forma, esto implica dos cosas: a) el grado de similitud entre las estrategias de precios de las plantas aumentan cuanto más cerca están unas de otras (las condiciones climáticas son muy similares y, por lo tanto, los recursos para suministrar energía son bastante iguales), y b) la intensidad del comportamiento estratégico entre las plantas aumenta cuanto más alejadas están una de la otra (las condiciones climáticas son bastante diferentes y, consecuentemente, surge un espacio para el comportamiento estratégico entre las empresas). Finalmente,  $\varepsilon_{it}$  es el término de error.

La ecuación (1.2) se estima por máxima verosimilitud utilizando datos diarios desde enero de 2005 hasta agosto de 2015 para las 17 unidades generadoras de electricidad más grandes. El panel está compuesto por 66.181 observaciones y se encuentra completamente equilibrado. La Tabla 1.6 presenta los resultados de la estimación. Las estimaciones de los coeficientes se presentan a la par con sus errores estándar robustos. Se puede observar que todos los coeficientes - a excepción de los correspondientes a las variables  $IN$ , el rezago espacial y temporal de  $\ln BP$  ( $W\ln BP(t-1)$ ) y el rezago espacial de  $\ln GEN$  ( $W\ln GEN$ ) - son estadísticamente significativos y los signos

---

<sup>11</sup> Como ejemplo, la variable " $W\ln BP$ " captura la idea de que el precio de oferta de la planta " $i$ " depende del precio de oferta de todas las demás plantas " $j$ " distintas de " $i$ ".  $W$  es una matriz de vecindad diagonal en bloques  $W_{NT} = I_T \otimes W$  cuya dimensión es  $nt \times nt$ , contiene "0" en la diagonal principal y "el inverso de la distancia euclidiana entre la ubicación de las plantas " $i$ " y " $j$ " en los elementos fuera de la diagonal de cada bloque. El vector " $\ln BP$ " tiene una dimensión  $nt \times 1$ . Por lo tanto, cuando se premultiplica  $\ln BP$  por la matriz de pesos espaciales  $W$  ( $W\ln BP$ ), dado que  $W$  contiene "0" en la diagonal principal, automáticamente se está agregando de  $j = 1$  a  $j = N$  todos los precios de oferta " $j$ " ( $BP$ ) para todas las plantas menos la planta " $i$ ". La misma regla se aplica a las demás variables espacialmente rezagadas del modelo.

están en línea con las expectativas teóricas. Vale la pena comentar la falta de significancia de la variable IN frente a la significancia de sus contrapartes espaciales y temporales en  $t$  y  $t-1$  ( $WIN(t)$ ,  $WIN(t-1)$ ). Los resultados indican que, en las estrategias de fijación del precio de oferta de cada unidad generadora de electricidad, lo que más importa es el nivel relativo de aportes energéticos de los rivales. El signo negativo del rezago espacial en los periodos  $t$  y  $t-1$  para IN implica que cuanto mayor sea el nivel de aportes energéticos de los rivales, menor deberá ser el precio de oferta fijado por la unidad generadora de electricidad "i" en el periodo  $t$ .

Finalmente, en cuanto al rezago espacial y temporal de  $lnGEN$  ( $WlnGEN(t-1)$ ), su coeficiente es negativo, lo que significa que una disminución en el periodo  $t-1$  en los niveles de generación eléctrica de los rivales está relacionada con un aumento del precio de oferta fijado por la unidad generadora de energía eléctrica "i" en el periodo  $t$ . La razón de esta relación negativa obedece principalmente a dos factores, uno ligado a la naturaleza de este mercado y el otro ligado a las características geográficas particulares de Colombia. Con respecto al primer factor, el mercado mayorista de electricidad en Colombia es altamente inelástico, por lo que una escasez de generación implica automáticamente un incremento en el precio de oferta fijado por la empresa. Respecto al segundo factor, la diferente ubicación de las plantas de generación eléctrica, que implica también diferentes condiciones climáticas, hace que los niveles de generación varíen de forma bastante sustancial entre ellas. Por ejemplo, si las plantas de generación eléctrica ubicadas en la región Valle están pasando por una temporada de lluvias en el período  $t$ , mientras que las ubicadas en la región Caribe han experimentado una sequía en  $t-1$ , las primeras, sabiendo que hay escasez de generación en la región Caribe, tendrá incentivos para fijar precios de oferta más altos. Este segundo factor, que está en el corazón del objetivo de este capítulo, sería insignificante si las características geográficas de Colombia fueran homogéneas en todo el país.

**TABLA 1.6 - RESULTADOS DE LAS ESPECIFICACIONES ESPACIALES (SAR, SAR DINÁMICO, SDM, SDM DINÁMICO, SEM)**

Variable dependiente:		Log BP					
Ecuación	Variables	(1) SAR	(2) SAR dinámico	(3) SDM	(4) SDM dinámico	(5) SEM	
Principal	Log GEN	-0,125*** (0,0112)	-0,0748*** (0,00772)	-0,125*** (0,0112)	-0,0750*** (0,00766)	-0,125*** (0,0112)	
	IE	0,0126 (0,00796)	0,00490* (0,00287)	0,0134* (0,00803)	0,00555* (0,00287)	0,0135 (0,00866)	
	IN	-5,28e-09* (2,69e-09)	-2,16e-09** (9,70e-10)	-3,18e-09 (2,69e-09)	-1,08e-09 (9,20e-10)	-5,17e-09* (2,72e-09)	
	Log PR	0,0573*** (0,00609)	0,0389*** (0,00491)	0,0577*** (0,00610)	0,0391*** (0,00489)	0,0572*** (0,00607)	
	Log SMP (t-1)	0,436*** (0,0454)	0,144*** (0,0422)	0,427*** (0,0389)	0,138*** (0,0397)	0,468*** (0,0481)	
	Log SMP (t-2)	0,230*** (0,0305)	0,0732** (0,0324)	0,236*** (0,0245)	0,0802** (0,0313)	0,257*** (0,0388)	
	Log BP (t-1)		0,608*** (0,0495)		0,607*** (0,0491)		
	W* Log BP (t-1)			0,0229 (0,0219)		0,000491 (0,0236)	
	Espacial	rho	0,0705** (0,0295)	0,0216** (0,00970)	0,0438** (0,0223)	0,0193** (0,00973)	
		lambda					0,0689** (0,0285)
Rezago espacial	Log GEN			0,000402 (0,00596)	0,00182 (0,00335)		
	Log GEN (t-1)			-0,0142* (0,00789)	-0,00791*** (0,00300)		
	IN			-4,54e-09* (2,71e-09)	-2,08e-09** (9,78e-10)		
	IN (t-1)			-8,79e-09*** (2,66e-09)	-5,37e-09*** (1,45e-09)		
	Log PR (t-1)			-0,00201 (0,00399)	0,00424** (0,00203)		
	Observaciones	66.181	66.164	66.181	66.164	66.181	
	Número de plantas	17	17	17	17	17	
	Método de estimación	de Efectos fijos	Efectos fijos	Efectos fijos	Efectos fijos	Efectos fijos	
	R <sup>2</sup> : intra	0,4327	0,6938	0,4361	0,6946	0,4323	
	R <sup>2</sup> : inter	0,5652	0,9473	0,5582	0,9485	0,5632	
	R <sup>2</sup> : total	0,4570	0,7634	0,4549	0,7637	0,4566	

Errores estándar robustos entre paréntesis. \*\*\* p<0,01, \*\* p<0,05, \* p<0,1

Elaboración propia; fuente: Portal BI, XM y Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE

Siguiendo la metodología de Belotti et al. (2017) y Elhorst (2014), los resultados econométricos de la Tabla 1.6 se complementan con el cálculo de los efectos marginales de corto y largo plazo (Tabla 1.7) que se desglosan en efectos directos, indirectos y totales. Las columnas 1 a 3 muestran los efectos de corto plazo mientras que las columnas 4 a 6 los de largo plazo.

La Tabla 1.7 muestra que para el periodo  $t$  los efectos indirectos asociados a IN son estadísticamente significativos y negativos, mientras que el efecto

directo no es estadísticamente significativo. Esto está en línea con los resultados obtenidos en la Tabla 1.6. Muestra que el efecto de IN de los rivales (efectos de desbordamiento) son más importante que el propio IN (efectos propios) lo que indica que la ubicación de una planta de generación eléctrica vis-à-vis con la ubicación de sus rivales importa para fijar precios de oferta. Es decir, las plantas de generación eléctrica se comportan estratégicamente, no solo considerando su propia ubicación, sino también la ubicación de los rivales. Al analizar los efectos de esta variable en el período  $t - 1$ , vale la pena enfatizar dos comentarios: primero, los efectos de inercia están presentes y, segundo, la importancia de los efectos marginales, tanto directos como indirectos, permite corroborar una mayor importancia relativa de los IN de los rivales que del IN propio.

En relación con la GEN, los resultados coinciden con los obtenidos en la Tabla 1.6. En el periodo  $t$  los efectos que importan a la hora de fijar los precios de oferta son los relacionados con la planta propia (efectos directos) mientras que en el periodo  $t - 1$  emerge como variable importante la GEN relacionados con los rivales (efectos indirectos). Esto explica cuán importante es tener en cuenta las estrategias de los rivales con respecto a GEN al establecer precios de oferta. En cuanto a PR, los efectos indirectos en el período  $t$  son muy pequeños incorporando solo entre el 2% y el 5% de los efectos totales. Esto confirma la necesidad de establecer un mercado de balance (que actualmente no existe en Colombia) para igualar la oferta y la demanda de electricidad en tiempo real.

**TABLA 1.7 - EFECTOS MARGINALES DIRECTOS E INDIRECTOS (PROMEDIO) SDM DINÁMICO**

Variable dependiente: Log BP						
Variables	Corto plazo			Largo plazo		
	Directos	Indirectos	Totales	Directos	Indirectos	Totales
Log GEN	-0,0746*** (0,00743)	0,000330 (0,00331)	-0,0742*** (0,00720)	-0,190*** (0,0189)	-0,00555 (0,00912)	-0,195*** (0,0201)
Log GEN (t-1)	-2,08e-05 (1,44e-05)	-0,00798*** (0,00305)	-0,00800*** (0,00306)	-0,000141 (9,69e-05)	-0,0209*** (0,00808)	-0,0211*** (0,00816)
IE	0,00550** (0,00270)	0,000119 (9,35e-05)	0,00562** (0,00278)	0,0140** (0,00689)	0,000816 (0,000645)	0,0148** (0,00740)
IN	-1,09e-09 (9,16e-10)	-2,18e-09** (9,73e-10)	-3,28e-09*** (8,74e-10)	-2,81e-09 (2,33e-09)	-5,83e-09** (2,50e-09)	-8,64e-09*** (2,38e-09)
IN (t-1)	-1,33e-11* (7,23e-12)	-5,46e-09*** (1,46e-09)	-5,47e-09*** (1,46e-09)	-8,99e-11* (4,84e-11)	-1,43e-08*** (3,81e-09)	-1,44e-08*** (3,83e-09)
Log PR	0,0390*** (0,00467)	0,000795* (0,000428)	0,0398*** (0,00490)	0,0993*** (0,0119)	0,00547* (0,00294)	0,105*** (0,0136)
Log PR (t-1)	1,13e-05 (8,68e-06)	0,00430** (0,00211)	0,00431** (0,00212)	7,65e-05 (5,84e-05)	0,0113** (0,00558)	0,0114** (0,00563)
Log SMP (t-1)	0,138*** (0,0410)	0,00265* (0,00146)	0,140*** (0,0415)	0,350*** (0,104)	0,0182* (0,00999)	0,369*** (0,108)
Log SMP (t-2)	0,0796** (0,0323)	0,00175 (0,00127)	0,0814** (0,0333)	0,203** (0,0823)	0,0121 (0,00877)	0,215** (0,0895)

Errores estándar robustos entre paréntesis. \*\*\* p<0,01, \*\* p<0,05, \* p<0,1

Elaboración propia; fuente: Portal BI, XM y Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE

## 1.6 CONCLUSIONES Y PRINCIPALES IMPLICACIONES DE POLÍTICA

Tradicionalmente, el análisis de las estrategias de fijación de precios de oferta en los mercados de energía eléctrica mayorista, donde la tecnología de generación predominante es la hidráulica, se realiza sin considerar el impacto que la geografía física de un país tiene sobre sus condiciones climáticas y por ende en los insumos relevantes para producir electricidad. La geografía física de Colombia varía mucho a lo largo de sus regiones, lo que genera un impacto considerable en las condiciones climáticas en todo el país. El mercado mayorista de electricidad en Colombia depende fuertemente de las condiciones climáticas. Utilizando datos diarios del período enero 2005 - agosto 2015 sobre precios de oferta, generación, aportes de energía y reconciliación positiva, para las 17 mayores centrales hidráulicas de

generación eléctrica, juntamente con datos de precios marginales del sistema, índice de empleo industrial y datos de ubicación específica de plantas y la distancia entre ellas, este trabajo estima como especificación preferente un modelo espacial de Durbin dinámico para explicar los precios de oferta de las plantas de generación eléctrica. Esta especificación, en pocas palabras, permite controlar por la ubicación geográfica de las plantas y el comportamiento estratégico de los rivales con base a información relevante presente y pasada.

El documento reporta tres resultados principales: primero, dada la importante variación en las condiciones climáticas en Colombia, las tecnologías predominantes de generación de electricidad hidráulica y la limitada capacidad de los embalses, los aportes energéticos que abastecen a los embalses se vuelven críticos para fijar los precios de oferta. Por lo tanto, la ubicación de la planta es un componente estratégico para el comportamiento de fijación del precio de oferta. Los resultados de este capítulo confirman estos aspectos al mostrar que las estimaciones de aportes de energía actuales y pasadas de los rivales son estadísticamente significativas. En segundo lugar, la información en tiempo real sobre la generación de electricidad de la planta y la información pasada de los rivales se vuelve relevante para fijar los precios de oferta. Esto puede explicarse, por un lado, por la naturaleza inelástica de la demanda de electricidad y, por otro, por el hecho de que las diferencias en la generación de electricidad entre plantas varían en gran medida con las condiciones climáticas que dependen de la ubicación de la planta. Este segundo factor, que está en el corazón de los objetivos de este capítulo, sería insignificante si las características geográficas de Colombia fueran homogéneas en todo el país. En tercer lugar, los pagos por reconciliación positiva a las plantas son relativamente mucho más importantes que los de los rivales al establecer los precios de oferta. Este resultado se puede justificar considerando dos características importantes del mercado eléctrico mayorista colombiano: primero, las plantas, dada la existencia de restricciones de red, se comportan como monopolios naturales locales y segundo, en Colombia no existen mercados de balance y, por lo



tanto, se establecen pagos por reconciliación positiva directamente por el regulador (CREG).

La principal recomendación de política derivada de los resultados es establecer mercados de balance e intradiarios para establecer compromisos vinculantes que permitan actualizar las posiciones de negociación en un horizonte de tiempo corto. La implementación de estos mecanismos de ajuste que capturan mejor los costos reales de generación de electricidad en las plantas permitiría establecer precios minoristas de electricidad de manera más eficiente al evitar intervenciones arbitrarias por parte del regulador en estos mercados. Además, la inexistencia de contratos forward, en el mercado eléctrico mayorista colombiano, conduce a la existencia de estrategias especulativas por parte de los agentes que comercian en este mercado. Estas estrategias se ven reforzadas por la inelasticidad de la demanda que caracteriza al mercado eléctrico. Así operan la mayoría de los mercados eléctricos internacionales, como California, PJM (Pennsylvania-Jersey-Maryland), Nord Pool y Reino Unido, entre otros. Otra razón para adoptar mercados de balance se basa en la reciente incorporación al sistema de generación eléctrica colombiano de fuentes alternativas de generación como la eólica y la solar que no brindan un suministro regular de energía. Por lo tanto, equilibrar los mercados podría ofrecer una gestión más eficiente del servicio en tiempo real. Debe buscarse una optimización conjunta (co-optimización) de las fuentes entre el mercado eléctrico mayorista y los mercados de balance.

Es importante agregar que los cambios disruptivos que enfrentan los mercados eléctricos a nivel mundial, como las tecnologías de nueva generación con recursos renovables no convencionales - RRNC, y el uso simultáneo de redes inteligentes (incluyendo infraestructura de medición avanzada, recurso de energía distribuida, sistemas de almacenamiento de energía y vehículos eléctricos) jugarán un papel clave en el funcionamiento futuro de los mercados eléctricos. Además, la respuesta de la demanda y los prosumidores serán fundamentales en la prestación del servicio, para asegurarse de que a) el sistema sea confiable; b) hay un uso eficiente de los recursos, y; c) el servicio cumple con los objetivos de sostenibilidad

económica, ambiental y social. Al mismo tiempo, el diseño de mecanismos y el establecimiento de principios regulatorios claros serán importantes para asegurar una buena calidad en la prestación del servicio. Dentro de este marco, la dicotomía entre “liberalización” y “regulación” probablemente perderá importancia para explicar cómo operan los mercados.

El crecimiento de los recursos energéticos distribuidos empieza a jugar un papel clave en la prestación de los servicios eléctricos y ha puesto en duda la organización clásica de los sistemas eléctricos para asegurar la eficiencia energética. Estos se basan en sistemas centralizados, que plantean importantes interrogantes a nivel mundial sobre la naturaleza de los futuros sistemas energéticos, donde las RRNC como fuentes de generación de electricidad están cobrando mayor importancia, a la luz de los problemas ambientales, el calentamiento global y los compromisos alcanzados en la Cumbre de París presentados en 2016 (Pillot et al., 2019).

La presencia de nuevos agentes en estos mercados, como es el caso de los prosumidores, junto con la inteligencia artificial (IA) hace que la respuesta de la demanda sea más elástica (altamente inelástica en el contexto colombiano actual) y, por lo tanto, una respuesta en tiempo real más rápida por parte de los consumidores. Estos hechos disminuyen el comportamiento estratégico de las empresas (Kakran & Chanana, 2018).

Merecerán la pena emprender otras tres vías de investigación: en primer lugar, ampliar el análisis considerando una matriz de generación diversificada, que incluya tecnología térmica y energías renovables no convencionales como la eólica y la solar fotovoltaica, lo que puede dar lugar a la exploración de otro tipo de interacciones estratégicas entre empresas. En segundo lugar, una vez que se incorporen los mercados de equilibrio al mercado eléctrico colombiano, se deben realizar nuevas estimaciones para estudiar los efectos sobre las interacciones estratégicas de las empresas en estos mercados. En tercer lugar, a pesar de que la elección de la matriz de pesos espaciales elegida encuentra su justificación en el funcionamiento actual del mercado, podría examinarse la inclusión de otro tipo de matrices que consideren elementos alternativos que expliquen el comportamiento estratégico de los agentes.

## Capítulo 2

### POTENCIAL DE MERCADO E INDUSTRIA MANUFACTURERA EN COLOMBIA, 1985-2015

#### RESUMEN

En este capítulo se plantea un modelo espacial de Durbin que permite tener en cuenta explícitamente el contexto espacial para evaluar la influencia que tiene el potencial de mercado sobre la distribución geográfica de la industria manufacturera en Colombia.

El país se caracteriza por altas disparidades regionales y un proceso de desindustrialización, esta situación puede llegar a afectar la influencia del potencial de mercado sobre la manufactura.

Los resultados indican que, a pesar del contexto, el potencial de mercado continúa siendo una variable relevante a la hora de explicar la distribución espacial de la industria manufacturera.

Adicionalmente, se encuentra que las economías de urbanización y la importancia relativa del sector terciario afectan de forma positiva y negativa, respectivamente, el desarrollo de las actividades asociadas a la manufactura.

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

El estudio de la influencia de la economía geográfica sobre la distribución de la industria manufacturera ha sido abordado por varios autores a nivel internacional. Por ejemplo, Amiti y Venables (2002), estudian la relación entre la distancia a los mercados y su efecto sobre el comercio intraindustrial a nivel internacional; Daniele et al. (2018) analizan la distribución espacial de la industria para el caso de Italia. En línea con estos trabajos, este capítulo intenta evaluar los efectos de la economía geográfica, específicamente el potencial de mercado, sobre la distribución espacial de la industria manufacturera para el caso colombiano, bajo un contexto de altas disparidades regionales y un proceso de desindustrialización.

A través de su historia, Colombia ha adoptado varias políticas con miras a la industrialización del país. Por ejemplo, a principios de los años 50 del siglo

XX el país adoptó explícitamente una política conocida como la industrialización por sustitución de importaciones (ISI), la cual se enfocaba principalmente en la adopción de políticas comerciales que protegieran la industria nacional con el fin de que creciera y en un futuro tuviera la capacidad de competir a nivel internacional. Sin embargo, estas medidas no tuvieron los resultados esperados y fueron desmontadas, presentando el cambio más importante en la década del 90, con lo llamado "La Apertura", la cual consistió en el desmonte de una gran cantidad de políticas comerciales restrictivas, en favor de la apertura del mercado. Este cambio llevó a la desaparición y fusión de empresas, lo que concentró en cierta medida la actividad manufacturera en las principales ciudades del país, tomando el liderazgo la capital, Bogotá.

Dado este contexto histórico, es natural relacionar la distribución espacial de la industria manufacturera con el potencial de mercado presente en el país al que se enfrentan las empresas. Ya sea bajo el periodo de protección o de apertura, la industria colombiana no ha sido especialmente competitiva en los mercados internacionales. Al revisar la canasta exportadora, se constata que alrededor del 50% de las exportaciones colombianas se concentran principalmente en productos de extracción, como el petróleo y el carbón, sin mayor valor agregado. Así, la industria colombiana se ha concentrado principalmente en suministrar bienes para el mercado nacional, generándose una especie de centros económicos regionales teniendo como epicentros a los departamentos de Bogotá<sup>12</sup>, Antioquia, Valle del Cauca y Atlántico en menor medida. Esto implica que las empresas manufactureras colombianas le dan importancia al consumidor local y regional, lo que está vinculado directamente con el concepto de potencial de mercado.

En la actualidad este contexto ha venido siendo influenciado por dos elementos clave, las disparidades en la distribución de la industria y el proceso de desindustrialización. Entre los años 1985 y 2015, aproximadamente el 74% de la producción nacional se concentró en 5 de los 33 departamentos del país<sup>13</sup> (Bogotá, Antioquia, Valle del Cauca, Santander

---

<sup>12</sup> Bogotá no es propiamente un departamento, pero en este trabajo se le da este tratamiento en la medida que su participación en la economía nacional es altamente relevante.

<sup>13</sup> En realidad, son 32 departamentos, pero en este trabajo se toma a Bogotá como una más.

y Cundinamarca). Adicionalmente, la participación de mano de obra en la manufactura ha disminuido considerablemente en estos departamentos, a excepción de Santander. Lo anterior permite plantear la pregunta. ¿Bajo la consideración de disparidades regionales y desindustrialización, continúa siendo el potencial de mercado una variable relevante para explicar la distribución espacial de la industria manufacturera en Colombia?

El uso del potencial de mercado como una variable relevante para explicar la distribución geográfica de la industria manufacturera es común en el marco de las teorías tradicionales de desarrollo económico y la literatura de economía geográfica (también conocida como Nueva Geografía Económica - NGE). Así, los estudios se han centrado principalmente en dos enfoques: el análisis de la distribución de la industria a nivel internacional, teniendo en cuenta los flujos de comercio y el acceso a los mercados (Amiti & Venables, 2002; Breinlich & Cuñat, 2013; Baldwin et al., 2001) y los estudios al interior de los países, donde se analizan las disparidades en la distribución de la industria entre las regiones y sus relaciones con el desarrollo de los territorios (Wolf, 2007; Majeed et al., 2022; Daniele et al., 2018). Sin embargo, el uso de este tipo de estudios bajo un contexto conjunto de disparidades regionales y procesos de desindustrialización, hasta donde conocemos, no ha sido ampliamente explorado.

En este capítulo se modela la distribución espacial de la industria manufacturera teniendo en consideración el potencial de mercado de los departamentos, el nivel de urbanización de las unidades espaciales y sus vecinos, los ingresos tributarios per cápita de los departamentos y la importancia relativa del sector terciario en el valor agregado departamental y vecinal, bajo un enfoque espacial. Para incluir este enfoque se hace uso de un modelo espacial de Durbin que permite modelar el comportamiento espacial a través de la inclusión de una matriz de pesos,  $W$ , calculada a partir de los 5 departamentos más cercanos. El modelo se estima para datos anuales de los 21 departamentos con mayor presencia de producción de manufactura en el periodo 1985-2015.

El capítulo presenta tres resultados principales: en primer lugar, el potencial de mercado es una variable clave para explicar la distribución espacial de la

industria manufacturera, aún en un contexto de disparidades regionales y desindustrialización. Es decir, a pesar de que la participación de la industria ha venido disminuyendo, su actividad está activamente ligada al potencial de mercado del propio departamento y del contexto vecinal. En segundo lugar, las economías de urbanización locales y regionales son factores con influencia positiva en la distribución de la manufactura, fenómeno relacionado directamente con los incentivos que se generan en la industria, al encontrarse cerca de territorios con altos niveles de aglomeración de la población, lo que genera demanda por los productos. En tercer lugar, la competencia por recursos de inversión ha llevado a que el aumento de la participación del sector terciario tenga un efecto negativo sobre el desarrollo de actividades de manufactura. Por tanto, se hace necesario una revisión de las políticas industriales del país, con el fin de buscar diversificar su canasta exportadora y aumentar su presencia en los mercados internacionales.

Luego de esta introducción el capítulo se encuentra estructurado de la siguiente forma. En la segunda sección se hace una breve revisión de la literatura que vincula el potencial de mercado con la distribución espacial de la industria manufacturera. En la tercera sección se expone de forma detallada la metodología, la descripción de las variables utilizadas en el análisis y la dinámica de la industria manufacturera para el periodo de estudio. La cuarta sección contiene la discusión de los resultados econométricos. Para terminar, en la última sección se presentan las principales conclusiones del estudio.

## **2.2 REVISIÓN DE LITERATURA**

Como se mencionó anteriormente, la literatura en el campo de la economía geográfica ha encontrado una relación persistente, independientemente de la época de estudio o de la unidad geográfica, entre el potencial de mercado y la distribución geográfica de la industria. La idea de potencial de mercado, la cual tiene su origen en la física newtoniana (Lopez & Vasquez, 2022), se ha caracterizado por ser una herramienta relevante para el estudio en economía regional, aplicada en diferentes contextos, especialmente centrado en la

distribución del ingreso (Lopez & Faiña, 2006; Lopez-Rodriguez et al., 2007; Karahasan et al., 2016; Karahasan & Bilgel, 2020).

Desde el trabajo empírico realizado por Harris (1954), hasta la formalización de la idea de potencial de mercado por parte de Krugman (1991), el concepto de potencial de mercado ha tomado vigencia para explicar varios fenómenos económicos desde el campo de la economía geográfica (o Nueva Geografía Económica). En el caso particular de este trabajo, se busca testear el potencial de mercado, como una variable relevante para explicar la distribución espacial de la industria manufacturera en Colombia. A nivel internacional se pueden encontrar dos contextos, en los cuales se evalúa esta relación, ya sea mediante el uso del potencial de mercado o por medio de medidas alternativas.

En el primero, se hace uso de los conceptos de la economía geográfica para evaluar la distribución de la industria a nivel internacional. En este caso se pueden encontrar los trabajos de Amity y Venables (2002), Breinlich y Cuñat (2013) y Baldwin et al. (2001). Estos trabajos tienen en común el uso de medidas de acceso al mercado para analizar la distribución de la industria, teniendo en cuenta los flujos de comercio a nivel internacional. Es así como la proximidad a los grandes mercados se convierte en un factor fundamental para explicar la distribución geográfica de la industria. Por consiguiente, la disminución de los costos puede llevar a una expansión del comercio internacional.

En el segundo, la economía geográfica entra a explicar la distribución de la industria al interior de los países. Ejemplos de este caso se presentan en los trabajos de Wolf (2007), Majeed et al. (2022) y Daniele et al. (2018). Así, surge de forma relevante el concepto de disparidades regionales a lo largo del territorio. Estos trabajos muestran como en algunos casos se puede dar una brecha entre regiones altamente industrializadas, en comparación con regiones atrasadas. De esta forma, el potencial de mercado y su dinámica a lo largo del tiempo puede ser un factor fundamental que explique la dinámica industrial. Con base en estas discusiones, este trabajo busca estudiar el efecto del potencial de mercado sobre la distribución espacial de la industria

manufacturera en Colombia, que además de partir de disparidades regionales, también se encuentra en un proceso de desindustrialización.

## 2.3 ESPECIFICACIÓN ECONOMETRICA

### 2.3.1 ESPECIFICACIÓN CANÓNICA

En este capítulo se examina la relación entre el potencial de mercado sobre la distribución geográfica de la industria manufacturera para el caso de los departamentos de Colombia. Así, se estima esta relación mediante la regresión de la producción bruta por trabajador ( $PBT_{it}$ ) en función del potencial de mercado de cada uno de los departamentos ( $PM1_{it}$  y  $PM2_{it}$ ), el porcentaje de urbanización ( $URB_{it}$ ), los ingresos tributarios departamentales per cápita ( $ITP_{it}$ ) y la participación del valor agregado del sector terciario en el total ( $PST_{it}$ ). Se tienen en cuenta dos medidas de potencial de mercado con base en el trabajo de Lopez y Vasquez (2022)<sup>14</sup>, los cuales argumentan que estas medidas se han utilizado con frecuencia en la literatura y permiten diferenciar la distancia de una unidad espacial partiendo de la idea de una ubicación circular, bajo el supuesto de que la producción se lleva a cabo en el centro y los consumidores se distribuyen de forma uniforme en el territorio. Los subíndices  $i$  y  $t$  indican a los departamentos considerados en la muestra y el periodo de tiempo (años), respectivamente. Además,  $\varepsilon_{it}$  y  $\epsilon_{it}$  son dos ruido blanco (Tabla 2.1).

Las especificaciones econométricas estimadas se presentan en las ecuaciones (2.1) y (2.2):

$$\ln PBT_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln PM1_{it} + \beta_2 URB_{it} + \beta_3 ITP_{it} + \beta_4 PST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2.1)$$

$$\ln PBT_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln PM2_{it} + \alpha_2 URB_{it} + \alpha_3 ITP_{it} + \alpha_4 PST_{it} + \epsilon_{it} \quad (2.2)$$

El punto de partida para el cálculo del potencial de mercado se toma del trabajo de Harris (1954), el cual indica que el potencial de mercado se puede medir a partir de la siguiente fórmula:

---

<sup>14</sup> A su vez estos autores se basan en los trabajos de Keeble et al. (1982), Crozet (2004) Head y Mayer (2000) y Nitsch (2000).



$$PM(K)_{it} = \sum_{j=1}^n \frac{M_{ij}}{d_{ij}} = \frac{M_{it}}{d_{ii}} + \sum_{j \neq i}^{n-1} \frac{M_{jt}}{d_{ij}} \quad (2.3)$$

donde  $M$  representa la medida de actividad económica considerada y  $d$  la distancia entre las unidades espaciales  $i$  y  $j$ . Estas unidades espaciales pueden ser diferentes ( $i \neq j$ ), o la misma unidad espacial ( $i = j$ ). En el caso de la distancia interna (Lopez & Vasquez, 2022), la metodología estándar asume que las localizaciones son circulares y su distancia se puede aproximar por una función que es proporcional al radio de la ubicación, el cual es considerado de dos formas distintas en este trabajo, por tanto  $K$  indica la fórmula considerada (para más detalles ver Tabla 2.1).

Al considerarse dos especificaciones del potencial de mercado, se tiene la capacidad de contrastar el efecto del cambio de la medida de potencial de mercado en la medición del fenómeno analizado. Así, las dos especificaciones permiten considerar la importancia del potencial de mercado interno de forma relativamente diferente en cada caso, siendo más importante el potencial interno en la especificación  $PM1$  en relación con  $PM2$ .

La inclusión del porcentaje de urbanización se encuentra basada en el trabajo de Daniele et al. (2016). Esta variable se puede considerar indirectamente como una medida de economías de urbanización, las cuales tienen una relación directa con la distribución espacial de la industria manufacturera. Los ingresos tributarios per cápita permiten capturar en cierta medida el tamaño del estado, el cual tiene influencia en la actividad industrial, mediante los incentivos que se generan a la actividad privada. Por su parte, la consideración de la participación del valor agregado del sector terciario en el total obedece principalmente a la dinámica actual presentada en la economía colombiana. En particular, se considera que la economía se encuentra en un proceso de desindustrialización, aumentando la importancia relativa de las actividades asociadas al sector terciario. Esto implica que de alguna forma la industria y los servicios están compitiendo para atraer inversión y generar crecimiento.

Las ecuaciones (2.1) y (2.2) se estimarán por los métodos Pool, efectos fijos y efectos aleatorios, utilizando una muestra de los 21 departamentos con mayor presencia de producción manufacturera en el país, datos anuales desde el año 1985 al 2015.

### **2.3.2 DATOS**

Este trabajo hace uso de dos fuentes de información principales. La primera corresponde al Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, el cual suministra la información para la construcción de las medidas de potencial de mercado, el porcentaje de urbanización, la participación del valor agregado del sector terciario y la producción bruta por trabajador en la manufactura; está última a través de la Encuesta Anual Manufacturera – EAM ([www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)). La segunda fuente corresponde al Departamento Nacional de Planeación – DNP ([www.dnp.gov.co](http://www.dnp.gov.co)), el cual brinda información de los ingresos tributarios a nivel departamental (ver Tabla 2.1).

### **2.3.3 DINÁMICA DE LA INDUSTRIA MANUFACTURERA**

Colombia constituye un caso de estudio interesante para analizar la dinámica industrial por dos razones. En primer lugar, se puede constatar que existe una alta disparidad en la distribución espacial de la industria manufacturera, la cual presenta un patrón centro-periferia, que, si bien ha venido disminuyendo aún es persistente, concentrando la producción en los principales centros regionales: Bogotá, Antioquia, Valle del Cauca, Santander y Cundinamarca, quienes en promedio concentran para el periodo de estudio aproximadamente el 74% de la producción manufacturera del país (Tabla 2.2). En segundo lugar, el país está atravesando un fenómeno cada vez más marcado de desindustrialización, tomando el liderato del crecimiento el sector terciario. Como se puede observar en la Figura 2.1, desde 1985 a 2015, la participación del trabajo manufacturero respecto a la población total ha venido disminuyendo, especialmente en los principales centros económicos del país, a excepción de Cundinamarca, donde viene aumentando.

### **TABLA 2.1 - DESCRIPCIÓN DE VARIABLES**

Variable	Unidades de medida	Frecuencia	Descripción
Producción bruta en constantes de 2005 por trabajador en la manufactura (PBT)	COP/trabajador	anual	Producción bruta en miles generada en el sector manufacturero por personal ocupado total en el departamento.
Potencial de mercado total - PIB 2005 - minutos (PM1)	COP/distancia	anual	<p>Potencial de mercado calculado a la Harris (1954). PIB departamental en constantes de 2005, dividido por la distancia entre cada uno de los departamentos (ecuación 2.3). La distancia se calcula según lo presentado en el trabajo de Rodríguez y Vasquez (2022):</p> $d_{ij} = \text{dist. en km entre los departamentos}$ $d_{ii} = \frac{1}{3} * r_i = \frac{1}{3} * \sqrt{\frac{\text{area}_i}{\pi}} = 0,376 * \sqrt{\text{area}_i}$ <p>donde <math>\text{area}_i</math> es el área del departamento <math>i</math>.</p>
Potencial de mercado total - PIB 2005 - minutos (PM2)	COP/distancia	anual	<p>Potencial de mercado calculado a la Harris (1954). PIB departamental en constantes de 2005, dividido por la distancia entre cada uno de los departamentos (ecuación 2.3). La distancia se calcula según lo presentado en el trabajo de Rodríguez y Vasquez (2022):</p> $d_{ij} = \text{dist. en km entre los departamentos}$ $d_{ii} = \frac{2}{3} * r_i = \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{\text{area}_i}{\pi}} = 0,188 * \sqrt{\text{area}_i}$ <p>donde <math>\text{area}_i</math> es el área del departamento <math>i</math>.</p>
Porcentaje de urbanización (URB)	proporción	anual	Variable calculada con base en el trabajo de Daniele et al. (2016). Proporción de personas que viven en ciudades con más de 82.800 <sup>15</sup> habitantes sobre la población departamental total.
Ingresos tributarios per cápita en constantes de 2005 (Millones) (ITP)	COP/población	anual	Ingresos tributarios en constantes de 2005 de los departamentos, por número de población en el departamento.
Participación del valor agregado sector terciario en el total (PST)	proporción	anual	Participación del valor agregado del sector terciario en el departamento, en relación con el valor agregado total del departamento.

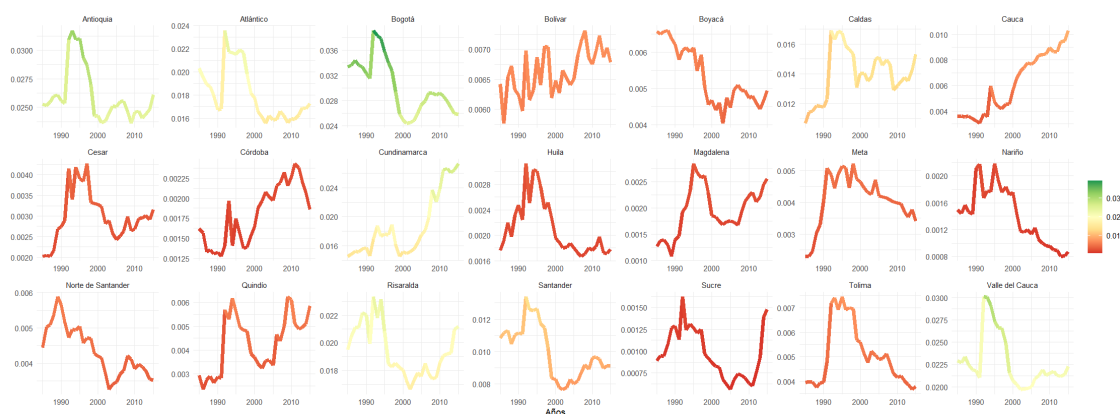
Elaboración propia; fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE y Departamento Nacional de Planeación - DNP

<sup>15</sup> Se toma como referencia la población ubicada en el municipio de Tunja, del departamento de Boyacá (Colombia), dado que tiene un comportamiento promedio, con relación al resto de ciudades en el país.

**TABLA 2.2 – PARTICIÓN DE LA PRODUCCIÓN BRUTA DEPARTAMENTAL RESPECTO AL TOTAL NACIONAL**

<b>Departamento</b>	<b>1985 - 2004</b>	<b>2005 - 2015</b>
Bogotá	25,2%	20,2%
Antioquia	18,8%	17,2%
Valle del Cauca	17,7%	14,3%
Santander	6,4%	11,5%
Cundinamarca	6,6%	10,0%
Bolívar	5,2%	7,3%
Atlántico	6,7%	5,7%
Cauca	1,4%	2,4%
Caldas	1,8%	1,7%
Risaralda	2,2%	1,7%
Tolima	1,7%	1,5%
Boyacá	1,6%	1,5%
Córdoba	0,9%	1,5%
Meta	0,7%	0,8%
Huila	0,7%	0,6%
Cesar	0,5%	0,5%
Magdalena	0,4%	0,5%
Norte de Santander	0,6%	0,4%
Quindío	0,5%	0,4%
Nariño	0,3%	0,2%
Sucre	0,1%	0,1%

Elaboración propia; fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE



**FIGURA 2.1 – PARTICIPACIÓN DEL TRABAJO MANUFACTURERO RESPECTO A LA POBLACIÓN TOTAL**

Elaboración propia; fuente: DANE – Encuesta Anual Manufacturera

Por su parte, en la Tabla 2.3 se presentan las estadísticas descriptivas de las variables consideradas en las estimaciones. Se puede constatar que uno de los departamentos considerados en la muestra solo presenta un 8% de urbanización, mientras que otro el 100%<sup>16</sup>. Esto revela como la distribución de la población en el territorio puede llegar a ser altamente desigual. Lo mismo ocurre con la participación del valor agregado del sector terciario en el total, donde se tienen valores mínimos y máximos de 25% y 85%, respectivamente. Todo lo anterior, refuerza la idea de que la actividad económica se encuentra concentrada principalmente en algunos territorios.

**TABLA 2.3 - ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS**

Variable	Unidades	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Producción bruta por trabajador en la manufactura (constantes 2005)	COP/trabajador	246.480,47	155.110,19	85.955,32	1.114.468,38
Potencial de mercado total - PIB 2005 - minutos (PM1)	COP/distancia	1.413.834,25	2.399.687,50	62.906,51	19.205.378
Potencial de mercado total - PIB 2005 - minutos (PM2)	COP/distancia	968.423,88	1.295.722,38	38.424,29	10.257.875
Porcentaje de urbanización	proporción	0,49	0,19	0,08	1,00
Ingresos tributarios per cápita en constantes de 2005 (Millones)	COP/población	0,09	0,07	0,02	0,61
Participación del valor agregado sector terciario en el total	proporción	0,60	0,09	0,25	0,85

Elaboración propia; fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE y Departamento Nacional de Planeación – DNP

## 2.4 RESULTADOS

Las estimaciones de las ecuaciones (2.1) y (2.2) se exponen en la Tabla 2.4. Según la prueba de Hausman (1974), se rechaza la hipótesis nula en ambas especificaciones (*PM1* y *PM2*); por tanto, se deben estimar modelos de efectos fijos. Para evaluar la presencia de dependencia espacial en los residuales de los modelos Pooled, efectos fijos y efectos aleatorios se hace uso de un conjunto de pruebas: I de Moran, pruebas LM y la prueba de Pesaran. Según las pruebas I de Moran, LM de Error Espacial y LM de Rezago Espacial, no es

<sup>16</sup> El 100% de urbanización corresponde a Bogotá, que es la capital de la República. Sin embargo, al excluirla, el valor máximo alcanza el 83%, lo que es consecuente con lo argumentado anteriormente.

posible rechazar la hipótesis nula de ausencia de dependencia espacial. Sin embargo, la versión robusta de las pruebas LM y la prueba de Pesaran rechazan la hipótesis nula, en favor de considerar la presencia de dependencia espacial en los residuales. Dado que las pruebas LM pueden ser sensibles a diferentes tipos de errores de especificación, Anselin et al. (1996) propone las pruebas LM robustas a los errores de especificación. Con base en lo anterior se concluye que existen problemas de dependencia espacial en los residuales, por lo que se requiere una especificación espacial de los modelos. Ahora, con base en la metodología propuesta por Florax et al. (2003) y Belotti et al. (2017), las pruebas de contraste indican que las mejores especificaciones de los modelos anteriormente propuestos corresponden a un modelo espacial de Durbin (ver Tabla 2.5).

TABLA 2.4 - RESULTADOS DEL PANEL NO ESPACIAL

Variable dependiente: Log Producción bruta por trabajador en la manufactura						
VARIABLES	(1) Pooled MCO - PM1	(2) Pooled MCO - PM2	(3) Efectos Fijos - PM1	(4) Efectos Fijos - PM2	(5) Efectos Aleatorios - PM1	(6) Efectos Aleatorios - PM1
Log Potencial de mercado total - PIB 2005 - minutos (PM1)	0,167***		0,0961***		0,110***	
	(0,0271)		(0,0195)		(0,0189)	
Log Potencial de mercado total - PIB 2005 - minutos (PM2)		0,138***		0,0753***		0,0882***
		(0,0222)		(0,0166)		(0,0159)
Porcentaje de urbanización	-0,220*	-0,121	0,641***	0,675***	0,392*	0,416*
	(0,131)	(0,124)	(0,248)	(0,253)	(0,228)	(0,230)
Ingresos tributarios per cápita en constantes de 2005	-1,401***	-1,141***	0,511*	0,607**	0,399	0,498*
	(0,327)	(0,304)	(0,296)	(0,293)	(0,294)	(0,290)
Participación del valor agregado Sector terciario en el total	-2,550***	-2,568***	-1,081***	-1,125***	-1,142***	-1,197***
	(0,241)	(0,241)	(0,202)	(0,206)	(0,202)	(0,204)
Constante	11,76***	12,13***	11,26***	11,57***	11,24***	11,58***
	(0,330)	(0,272)	(0,197)	(0,159)	(0,216)	(0,183)
Observaciones	651	651	651	651	651	651
Número de departamentos			21	21	21	21
R2	0,211	0,212				
R2: intra			0,1640	0,1593	0,1624	0,1575
R2: entre			0,0130	0,0090	0,0007	0,0004
R2: total			0,0006	0,0019	0,0114	0,0201
Prueba de Hausman			19,6522	13,9523	19,6522	13,9523
valor-p Hausman			0,0006	0,0074	0,0006	0,0074
Prueba de independencia transversal de Pesaran			12,3720	12,4984	12,5904	12,8236
valor-p Pesaran			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
I de Moran	1,0351	0,7259				
valor-p Moran	0,3006	0,4679				
LM de Error Espacial	0,8450	0,3654				
valor-p LME	0,3580	0,5455				
LM de Error Espacial Robusto	21,1616	17,5644				
valor-p LME R	0,0000	0,0000				
LM de Rezago Espacial	0,2020	0,4061				
valor-p LML	0,6531	0,5240				
LM de Rezago Espacial Robusto	20,5185	17,6050				
valor-p LML R	0,0000	0,0000				

Errores estándar entre paréntesis \*\*\* p&lt;0,01, \*\* p&lt;0,05, \* p&lt;0,1

Elaboración propia; fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE y Departamento Nacional de Planeación - DNP

**TABLA 2.5 - PRUEBAS PARA LA SELECCIÓN DEL MODELO**

Modelo	Contraste	$\chi^2$	Valor-p
PM1	SAR versus SDM	13,846	0,001
	SEM versus SDM	17,540	0,000
PM2	SAR versus SDM	14,177	0,001
	SEM versus SDM	17,979	0,000

Elaboración propia; fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE y Departamento Nacional de Planeación - DNP

#### 2.4.1 ESTIMACIÓN PREFERIDA: UN MODELO ESPACIAL DE DURBIN

La especificación espacial estimada en este capítulo permite considerar explícitamente la influencia del contexto espacial sobre la producción bruta por trabajador en la manufactura mediante la inclusión de rezagos espaciales de las variables clave (PBT, URB y PST). Así, se tienen en cuenta varios elementos relevantes que permiten explicar la distribución espacial de la industria manufacturera: 1) el efecto del rezago espacial de la producción bruta por trabajador de los departamentos vecinos, indicando si el departamento se encuentra bajo un contexto de alta o baja industrialización, 2) el rezago espacial del porcentaje de urbanización como una medida de economías de urbanización, que puede incentivar la producción de los departamentos al ser implícitamente una proxy de mercado bajo este contexto y 3) el rezago espacial de la participación del valor agregado del sector terciario, el cual indica si el departamento  $i$  se encuentra bajo un contexto de especialización en el sector de servicios.

Las especificaciones econométricas definidas son las siguientes:

$$\ln PBT_{it} = \beta_0 + \rho W_i \ln PBT_{it} + \beta_1 \ln PM1_{it} + \beta_2 URB_{it} + \beta_3 ITP_{it} + \beta_4 PST_{it} + \theta_1 W_i URB_{it} + \theta_2 W_i PST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2.4)$$

$$\ln PBT_{it} = \alpha_0 + \rho W_i \ln PBT_{it} + \alpha_1 \ln PM2_{it} + \alpha_2 URB_{it} + \alpha_3 ITP_{it} + \alpha_4 PST_{it} + \delta_1 W_i URB_{it} + \delta_2 W_i PST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2.5)$$

donde los subíndices  $i$  y  $t$  representan los departamentos y el período de tiempo (años), respectivamente. Las definiciones de las variables son las mismas que en las ecuaciones (2.1) y (2.2). El modelo incluye explícitamente el rezago espacial de las variables  $\ln PBT$  ( $W \ln PBT$ ),  $URB$  ( $WURB$ ) y  $PST$



(WPST). Adicionalmente, los elementos  $(w_{ij}, i \neq j)$  de la matriz de ponderación,  $W$ , indican los 5 departamentos más cercanos a la unidad espacial. La diagonal principal de la matriz  $W$  toma valores de "0", y ha sido estandarizada por filas con suma igual a 1 para facilitar la interpretación.

Este esquema de ponderación permite tener en cuenta la interacción más próxima de cada uno de los departamentos. Si bien la producción manufacturera de Bogotá al ser la capital del país puede tener presencia en todo el territorio nacional, dada su alta concentración en relación con los departamentos, para el resto el alcance es menor. La infraestructura vial en Colombia, a pesar de los grandes esfuerzos realizados en las últimas administraciones como las vías de cuarta generación, aún son insuficientes para una verdadera integración nacional que permita a la producción de un departamento llegar a todos los demás sin tener problemas de competitividad asociados a los costos de transporte.

Las ecuaciones (2.4) y (2.5) se estiman por máxima verosimilitud usando datos anuales desde 1985 hasta 2015 para los 21 departamentos con mayor nivel de producción bruta en la manufactura. El panel está compuesto por 651 observaciones distribuidas en 31 años. Los resultados de las estimaciones se presentan en la Tabla 2.6. A excepción del coeficiente asociado a ITP, todos los demás coeficientes resultan ser estadísticamente significativos. En general, los resultados indican que el potencial de mercado es una variable clave para explicar la distribución espacial de la industria manufacturera en el caso colombiano. Adicionalmente, se encuentra que el nivel de urbanización y la importancia relativa del sector terciario, de forma directa e indirecta, son elementos relevantes a la hora de explicar esta misma distribución.

**TABLA 2.6 - RESULTADOS DE LAS ESPECIFICACIONES ESPACIALES (SAR, SEM Y SDM)**

Variable dependiente:		Log Producción bruta por trabajador en la manufactura					
Ecuación	Variables	(1) SAR - PM1	(2) SAR - PM2	(3) SEM - PM1	(4) SEM - PM2	(5) SDM - PM1	(6) SDM - PM2
Principal	Log Potencial de mercado total - PIB 2005 - minutos (PM1)	0,0834*** (0,0187)		0,116*** (0,0211)		0,0763** (0,0320)	
	Log Potencial de mercado total - PIB 2005 - minutos (PM2)		0,0656***		0,0935***		0,0510*
	Porcentaje de urbanización	0,474** (0,238)	(0,0159) 0,496** (0,243)	0,359 (0,243)	(0,0180) 0,369 (0,248)	0,449* (0,247)	(0,0282) 0,452* (0,248)
	Ingresos tributarios per cápita en constantes de 2005	0,257 (0,286)	0,333 (0,283)	0,343 (0,286)	0,426 (0,284)	-0,278 (0,319)	-0,225 (0,318)
	Participación del valor agregado Sector terciario en el total	-0,960*** (0,194)	-0,997*** (0,197)	-0,882*** (0,203)	-0,941*** (0,204)	-0,774*** (0,206)	-0,818*** (0,205)
		0,275*** (0,0488)	0,279*** (0,0487)			0,214*** (0,0524)	0,219*** (0,0523)
Espacial	rho						
	lambda			0,296*** (0,0517)	0,297*** (0,0515)		
Rezago espacial	Porcentaje de urbanización					1,595*** (0,575)	1,755*** (0,588)
	Participación del valor agregado Sector terciario en el total					-1,542*** (0,538)	-1,426*** (0,547)
	Observaciones	651	651	651	651	651	651
	Número de departamentos	21	21	21	21	21	21
	Método de estimación	Efectos fijos	Efectos fijos	Efectos fijos	Efectos fijos	Efectos fijos	Efectos fijos
	R <sup>2</sup> : intra	0,1685	0,1646	0,1605	0,1555	0,2005	0,1977
	R <sup>2</sup> : entre	0,0082	0,0041	0,0093	0,0023	0,0137	0,0016
	R <sup>2</sup> : total	0,0049	0,0085	0,0034	0,0101	0,0058	0,0154

Errores estándar entre paréntesis. \*\*\* p<0,01, \*\* p<0,05, \* p<0,1

Elaboración propia; fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE y Departamento Nacional de Planeación - DNP

Con base en la metodología de Belotti et al. (2017) y Elhorst (2014), los resultados econométricos de la Tabla 2.6 se complementan con el cálculo de los efectos marginales (Tabla 2.7), los cuales se pueden descomponer en efectos directos, indirectos y totales. Los resultados indican que el potencial de mercado tiene una influencia directa sobre la producción bruta por trabajador en la manufactura. Sin embargo, este resultado no se mantiene para el caso de los efectos indirectos cuando se considera el PM2, el cual le da un menor peso al potencial de mercado interno. Lo anterior podría estar indicando que relativamente para un departamento es más importante su

mercado que el de sus vecinos. Según la especificación de SDM (PM1), la influencia directa del potencial de mercado es 3.8 veces la influencia indirecta, lo que resalta la importancia del contexto propio en relación con el vecinal.

**TABLA 2.7 - EFECTOS MARGINALES DIRECTOS E INDIRECTOS (PROMEDIO) SDM**

VARIABLES	SDM (PM1)			SDM (PM2)		
	Directos	Indirectos	Totales	Directos	Indirectos	Totales
Log Potencial de mercado total - PIB 2005 - minutos (PM1)	0,0781**	0,0207*	0,0988**			
	(0,0331)	(0,0111)	(0,0422)			
Log Potencial de mercado total - PIB 2005 - minutos (PM2)				0,0525*	0,0143	0,0668*
				(0,0292)	(0,00938)	(0,0374)
Porcentaje de urbanización	0,501**	2,051***	2,552***	0,511**	2,263***	2,774***
	(0,238)	(0,635)	(0,679)	(0,240)	(0,655)	(0,706)
Ingresos tributarios per cápita en constantes de 2005	-0,250	-0,0663	-0,316	-0,196	-0,0533	-0,249
	(0,308)	(0,0880)	(0,391)	(0,307)	(0,0888)	(0,392)
Participación del valor agregado Sector terciario en el total	-0,843***	-2,082***	-2,924***	-0,884***	-1,965***	-2,850***
	(0,194)	(0,633)	(0,635)	(0,196)	(0,652)	(0,665)

Errores estándar robustos entre paréntesis. \*\*\* p<0,01, \*\* p<0,05, \* p<0,1

Elaboración propia; fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE y Departamento Nacional de Planeación - DNP

Respecto al porcentaje de urbanización, los resultados muestran que las economías de urbanización propias y vecinales (directas e indirectas, respectivamente) tienen un efecto positivo sobre el nivel de la manufactura. Este resultado va en línea con lo esperado en la medida que, a mayor concentración en ambientes urbanos, derivada del suministro de infraestructura, se generan presiones por la demanda de bienes de manufactura que incentiven la producción departamental. Finalmente, se observa que el aumento de la importancia relativa del sector terciario, ya sea en el departamento o en su contexto vecinal próximo tiene un efecto negativo sobre la manufactura. Este resultado está relacionado con la idea que la manufactura y los servicios compiten por los recursos de inversión. Así, tanto de forma directa como indirecta esta competencia por los recursos puede llevar a una disminución de la industria manufacturera, en la medida que los departamentos migren de una producción enfocada en bienes de manufactura, hacia el desarrollo de actividades del sector terciario.

## 2.5 CONCLUSIONES

En la literatura es tradicional encontrar trabajos que vinculen el efecto del potencial de mercado sobre la distribución geográfica de la industria manufacturera. No obstante, el caso colombiano es relevante por dos razones particulares: primero, en el país existen disparidades en la distribución espacial de la riqueza y particularmente de la manufactura, donde solo 5 regiones albergan alrededor del 74% de la producción, concentración que no ha cambiado mucho a través de los años. Segundo, el territorio ha venido atravesando un proceso de desindustrialización, con un aumento relativo de las actividades pertenecientes al sector terciario. Sin embargo, los resultados indican que aún bajo estas condiciones, el potencial de mercado es una variable clave para explicar la distribución espacial de la manufactura en el caso colombiano. Utilizando datos de los 21 departamentos más grandes en términos de presencia de producción de manufactura para los años 1985 a 2015, se evalúa mediante la especificación de un modelo espacial de Durbin el efecto del potencial de mercado, el nivel de urbanización, la dinámica de los ingresos tributarios de los departamentos y la importancia relativa del sector terciario sobre la distribución espacial de la industria manufacturera. Esta especificación permite controlar por la ubicación espacial de la manufactura y tener en cuenta el contexto vecinal de los departamentos.

El capítulo presenta tres resultados principales: primero, aún bajo el contexto de disparidades regionales y desindustrialización, el potencial de mercado continúa siendo una medida relevante para explicar la distribución espacial de la industria manufacturera. Segundo, las economías de urbanización propias y vecinales constituyen un elemento positivo clave para explicar la dinámica de la manufactura en el territorio, vinculado principalmente por las presiones de demanda que generan incentivos para el aumento de la producción. Tercero, el aumento relativo del valor agregado de las actividades del sector terciario tiene un efecto negativo sobre el desarrollo de actividades de manufactura, dada la competencia de recursos entre ambos sectores, ya sea de forma directa (departamento) o indirecta (su vecindario). Por tanto, se hace necesario un replanteamiento de las políticas industriales, con el fin de aumentar la diversificación de la canasta exportadora y disminuir la

dependencia del potencial de mercado interno en la búsqueda de competitividad a nivel internacional.

Si bien este trabajo hace una revisión del efecto del potencial de mercado sobre la distribución espacial de la industria manufacturera, sería importante emprender otras dos vías de investigación. La primera puede ser el uso de microdatos que permitan desagregar a nivel de empresa los incentivos que se generan en el desarrollo de actividades de manufactura, bajo un contexto de disparidades regionales y desindustrialización. La segunda, incluir más años en el periodo de análisis que permitan capturar la dinámica temporal del fenómeno bajo diferentes contextos históricos, con la inclusión de modelos de corte dinámico. A través de los años Colombia ha adoptado diferentes políticas para el desarrollo, que van desde la industrialización por sustitución de importaciones hasta la apertura económica, por lo que este enfoque puede ser interesante en la medida que tiene en cuenta las políticas adoptadas en el país a lo largo de los años.

## **Capítulo 3**

### **ACCESO AL MERCADO Y PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA EN ANTIOQUIA, COLOMBIA**

#### **RESUMEN**

En el presente capítulo se plantean dos modelos espaciales que permiten considerar efectos desbordamiento (spillovers) locales y globales de la relación entre el acceso al mercado y la productividad agrícola en el departamento de Antioquia (Colombia): el modelo espacial de Durbin y el modelo espacial de error de Durbin, respectivamente.

Los resultados indican que independientemente del enfoque, la distancia a los mercados agrícolas tiene una relación negativa con la productividad agrícola, mientras que la distancia al mercado especializado en actividades industriales tiene una relación positiva con la productividad.

La explicación a esta diferenciación se puede dar a través de la vinculación de conceptos como costo de transporte, costo de la tierra, disposición a pagar por la ubicación y acceso a insumos y bienes de capital.

Estos resultados resaltan la importancia que tiene la inversión en infraestructura vial en las zonas rurales, con el fin de mejorar la productividad agrícola.

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

Al revisar la literatura sobre economía geográfica, se encuentra que muchos de los trabajos centran su análisis en el efecto que tiene el acceso a los mercados sobre la industria manufacturera, y su distribución en el espacio. Por ejemplo, Daniele et al. (2018) estudian la distribución espacial de la fuerza laboral de la industria para el caso italiano, llegando a la conclusión que el acceso a los mercados desempeñó un papel principal en la industrialización del país y la evolución de las desigualdades norte-sur; Amiti et al. (2002) encuentran que el comercio intraindustrial disminuye con la distancia y Martínez et al. (2021) realizan un estudio cliométrico para examinar el papel de la Nueva Geografía Económica en el proceso de

industrialización de España. Con el fin de dar un cambio a esta tendencia, este capítulo busca estudiar el efecto que tiene el acceso a los mercados, sobre la productividad agrícola, para el caso del departamento de Antioquia (Colombia).

El departamento de Antioquia se encuentra ubicado al occidente de Colombia, con acceso directo al Océano Atlántico, siendo atravesado por las cordilleras occidental y central de los Andes. Este contexto geográfico hace que el acceso a los mercados regionales sea difícil en algunos territorios, por lo que en algunos casos no se encuentran incentivos para desarrollar grandes inversiones en actividades agrícolas, ya que es muy difícil llevar el producto a los puntos de distribución y comercialización. Lo anterior ha generado que algunos territorios alejados del centro económico del departamento se encuentren rezagados económicamente en comparación con los que se encuentran más cercanos.

Este trabajo parte de la idea que el poco incentivo para el desarrollo de actividades agropecuarias de gran alcance puede correlacionarse con la productividad agrícola. Así, los productores que logran obtener altos niveles de productividad buscarán ubicarse cerca del mercado especializado en bienes agrícolas, donde si bien el costo de la tierra es más alto, los costos de transporte son mucho más bajos y obtienen todas las ventajas de ubicarse en el centro, no solo en términos de llevar el producto al mercado, sino también en la provisión de insumos o capital para aumentar su productividad. En contraste, es posible que productores con baja productividad se encuentren relativamente lejos del mercado agrícola, en la medida que no disponen de los recursos suficientes para el pago por una mejor ubicación, lo que los lleva tener mayores costos, vinculados principalmente con los costos de transporte para llevar los productos al mercado u obtener los insumos y el capital necesario para la producción.

Son varios los trabajos que estudian los determinantes de la productividad agrícola. Es así que factores como los años de educación formal, el acceso al crédito, la experiencia agrícola, la asistencia técnica destinada a la producción, el gasto público, el comercio internacional, el cambio climático, la participación en cooperativas y la innovación tecnológica se encuentran

entre los determinantes discutidos a nivel internacional (Zheng et al., 2012; Liu et al., 2020; Kolapo et al., 2022; Galván, 2022; Mohapatra et al., 2022). No obstante, el vínculo entre el acceso a los mercados y la productividad agrícola ha sido poco explorado.

En este capítulo se busca analizar la relación entre el acceso a los mercados y la productividad agrícola para las veredas<sup>17</sup> del departamento de Antioquia, teniendo como medida de acceso tres variables principales: distancia a la cabecera municipal, distancia a la cabecera subregional y distancia a la capital departamental. Para incorporar este aspecto se estiman dos conjuntos de modelos: el modelo espacial de Durbin y el modelo espacial de error de Durbin. La inclusión de estos dos modelos se debe a que permiten considerar dos tipos de enfoques asociados a las relaciones en el espacio: spillovers globales y locales, respectivamente. El espacio es considerado primero a través de las medidas de distancia y, segundo, por medio de la inclusión de una matriz de pesos,  $W$ , la cual considera como vecinos a las 5 veredas más cercanas a la unidad espacial. El modelo es estimado para datos de corte transversal para el año 2014, e incluye las 3.758 veredas que tuvieron producción agrícola en la muestra.

El capítulo reporta dos resultados principales: 1) existe una relación negativa entre la productividad agrícola y la distancia a los mercados agropecuarios regionales. Esto se explica en la medida que los productores con altos niveles de productividad buscarán ubicarse cerca para obtener todos los beneficios asociados a la proximidad, lo que incluye menores costos de transporte y facilitación para la adquisición de insumos y maquinaria, 2) existe una relación positiva entre la productividad agrícola y la distancia al mercado especializado en actividades industriales. La razón radica en que el costo de la tierra es muy alto en áreas cercanas a este tipo de mercados, ya que la disposición a pagar es más alta para los productores asociados a actividades industriales, que para los productores agrícolas.

---

<sup>17</sup> Las veredas es un nivel de desagregación político-administrativa menor a los municipios. En su orden, la desagregación que interesa en este estudio para el caso colombiano es la siguiente: país, departamentos, municipios y veredas.



Estos resultados resaltan la importancia de mejorar la infraestructura vial del departamento, especialmente la vinculada con el acceso de las veredas a los centros económicos. La infraestructura de este tipo, que en Colombia se conoce como vías terciarias, se convierte en un factor fundamental para el desarrollo de actividades agrícolas y el mejoramiento de la productividad en las áreas rurales. Por tanto, se hace necesario mejorar los esfuerzos en este sentido, con el fin de que se pueda aumentar la competitividad del campo antioqueño.

Luego de esta introducción, este capítulo viene estructurado de la siguiente manera. En la segunda sección se presenta el marco teórico que da base para el análisis de los resultados. En la tercera sección se presenta la metodología, la descripción de los datos y se explica mediante estadísticas descriptivas las diferencias regionales en el departamento de Antioquia. En la cuarta sección se presentan los resultados obtenidos. Finalmente, en la quinta sección se incluyen las principales conclusiones y posibles implicaciones de política.

## **3.2 MARCO TEÓRICO**

### **3.2.1 EL MODELO VON-THÜNEN-ALONSO**

Si bien la literatura de economía geográfica y economía regional tradicionalmente ha analizado el efecto del acceso al mercado sobre el crecimiento económico (Gallup & Sachs, 1998; Gallup et al., 1999; Ketterer & Rodríguez, 2016; Faiña et al., 2019) o sobre la distribución espacial de la industria (Amiti, & Venables, 2002; Daniele et al., 2018; Martinez et al., 2021), este trabajo busca hacerlo para el caso de la productividad agrícola. Para esto, el modelo von-Thünen-Alonso puede ser considerado como un punto de partida para estudiar la relación entre el acceso al mercado y la productividad agrícola. Como presenta Capello (2014), este modelo se enmarca en la teoría de la localización, la cual tiene por objetivo explicar la lógica económica detrás de la elección de una empresa para ubicarse en un punto específico en el espacio. Así, se interpreta la asignación de diferentes partes del territorio entre los diferentes tipos de producción, la división de un mercado espacial entre los productores y la distribución funcional de las actividades en el espacio.

En este sentido, Capello (2014) explica como la ubicación de las empresas se encuentra anclada a un equilibrio entre las ventajas que genera una ubicación física para las empresas, en forma de economías de aglomeración y los costos de transporte. En general, los costos de transporte se definen como las formas de fricción espacial que otorgan un mayor atractivo a una ubicación que reduce la distancia entre dos puntos en el espacio. De esta forma, la minimización de los costos de transporte y el mercado donde se venden los productos, propuesto por von-Thünen es el punto de referencia de este trabajo.

Según Capello (2014), el modelo de von-Thünen interpreta directamente la formación de una renta de la tierra a diferentes distancias de un mercado en un entorno de equilibrio general. Con base en el mismo conjunto de supuestos, posteriormente Alonso explica la elección de una nueva empresa entrante en una ciudad, bajo un enfoque de equilibrio parcial. Por consiguiente, el modelo von-Thünen-Alonso parte del supuesto de que el sitio de producción asume una dimensión espacial y se extiende a través de un territorio, mientras que el sitio de consumo (el mercado) es puntual.

De esta forma, el modelo define que el costo de la tierra o el alquiler de la tierra aumenta con la cercanía al lugar central. Implícitamente, esto implica que las empresas capaces de ubicarse en áreas más centrales son aquellas que pueden pagar rentas más altas por esas áreas. Es así como von-Thünen explica que una distancia más corta desde el centro genera un ahorro en los costos totales de transporte igual al aumento en el alquiler requerido para ocupar más ubicaciones centrales. En el caso de la producción agrícola, el productor que produce el bien más perecedero tendrá un proceso productivo que utilizan la tierra de la manera más intensiva (es decir, mayor productividad) y económicamente eficiente (Capello, 2014).

Es así como el modelo von-Thünen-Alonso explica cómo se determina la propensión a una ubicación central (mercado). Según Capello (2014), el modelo responde a esta pregunta a través de cuatro elementos: 1) los costos de mover una unidad del bien hacia el centro, 2) la influencia de la distancia en la demanda de bienes, 3) beneficios adicionales altos y 4) un valor alto de las actividades por unidad de tierra. Teniendo estos cuatro elementos como

punto de partida, es claro como la productividad agrícola se vincula directamente con el punto 3). En la medida que la productividad sea alta, los beneficios adicionales del agricultor serán altos. Esto le permitirá a este tipo de productores ubicarse cerca al mercado agrícola.

Sin embargo, es necesario resaltar algo importante, esta relación se puede ver afectada por el tipo de centro (mercado), al cual se esté analizando. Para el caso de este trabajo es necesario diferenciar entre la cercanía a un mercado agrícola, en contraste a un mercado especializado en actividades industriales. En el primer caso la relación con la productividad agrícola es claramente positiva (negativa con la distancia). No obstante, como explica el modelo de Alonso, el desarrollo de actividades industriales, que pueden tener una disposición a pagar más alta que las actividades agrícolas, puede llevar a que la productividad agrícola tenga una relación positiva con la distancia a este tipo de centros.

### **3.3 ESPECIFICACIÓN ECONOMETRICA**

#### **3.3.1 ESPECIFICACIÓN CANÓNICA**

En este capítulo se analiza la influencia del acceso a mercados locales y regionales sobre la productividad agrícola en el departamento de Antioquia (Colombia) mediante la consideración de dos especificaciones de regresión. La primera consiste en regresar el rendimiento agrícola promedio ( $RP_i$ ) de las Unidades Productoras Agropecuarias (UPA) en las veredas de Antioquia en función de tres variables principales que miden una distancia directa entre las unidades geográficas, y un grupo de variables de control: la distancia de la vereda a la cabecera municipal más cercana ( $DVM_i$ ), la distancia de la vereda a la cabecera subregional más cercana ( $DVS_i$ ) y la distancia de la vereda a la capital departamental ( $DVC_i$ ). La segunda radica en regresar el rendimiento agrícola promedio ( $RP_i$ ) de las UPA en las veredas de Antioquia en función de dos variables principales que miden una distancia indirecta entre las unidades geográficas, y un grupo de variables de control: la distancia de la vereda a la cabecera municipal más cercana más la distancia de esta cabecera municipal a la cabecera subregional más cercana ( $DVMS_i$ ) y

la distancia de la vereda a la cabecera municipal más cercana más la distancia de esta cabecera municipal a la capital departamental ( $DVMC_i$ ). De esta forma, se busca tener dos enfoques de medición de las distancias a los principales mercados.

Las variables de control por su parte se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Presencia en mercados: porcentaje de UPA en la vereda que venden en mercados regionales ( $MR_i$ ) y porcentaje de UPA en la vereda que venden en mercados internacionales ( $MI_i$ ).
- Presencia estatal: porcentaje de inversión municipal destinada a la construcción de vías ( $ICV_k$ ), porcentaje de inversión municipal destinada a actividades agrícolas ( $IAG_k$ ) y porcentaje de inversión municipal destinada a asistencia técnica directa rural ( $IAS_k$ ).
- Formación, capacitación y agremiación: porcentaje de inversión municipal destinada al sector de educación ( $IED_k$ ), porcentaje de UPA en la vereda que recibieron asistencia técnica o asesoría ( $ATA_i$ ) y porcentaje de UPA en la vereda que pertenecen a cooperativas ( $CP_i$ ).
- Infraestructura para la producción: porcentaje de UPA en la vereda con sistema de riego ( $SRI_i$ ), porcentaje de UPA en la vereda con al menos una sembradora ( $SE_i$ ) y porcentaje de UPA en la vereda con al menos una cosechadora ( $CO_i$ ).
- Infraestructura para la vivienda: porcentaje de UPA en la vereda con servicio de alcantarillado ( $SAL_i$ ) y porcentaje de inversión municipal destinada al servicio de acueducto ( $IAC_k$ ).
- Formalización: porcentaje de UPA en la vereda constituidas como personas jurídicas o mixtas ( $JM_i$ ).
- Financiamiento: porcentaje de UPA en la vereda que solicitaron un crédito o financiamiento y se los aprobaron ( $CF_i$ ).

El subíndice  $i$  se refiere a las veredas, el subíndice  $k$  se refiere al municipio,  $\varepsilon_i$  y  $\epsilon_i$  son dos ruido blanco (para más detalles ver Tabla A.1). Las especificaciones econométricas estimadas vienen dadas por la ecuación (3.1 y 3.2):

*Distancia Directa*

$$RP_i = \beta_0 + \beta_1 DVM_i + \beta_2 DVS_i + \beta_3 DVC_i + [\beta_4 MR_i + \beta_5 MI_i + \beta_6 ICV_k + \beta_7 IAG_k + \beta_8 IAS_k + \beta_9 IED_k + \beta_{10} ATA_i + \beta_{11} COP_i + \beta_{12} SRI_i + \beta_{13} SE_i + \beta_{14} CO_i + \beta_{15} SAL_i + \beta_{16} IAC_k + \beta_{17} JM_i + \beta_{18} CF_i] + \varepsilon_i \quad (3.1)$$

*Distancia Indirecta*

$$RP_i = \alpha_0 + \alpha_1 DVMS_i + \alpha_2 DVMC_i + [\alpha_3 MR_i + \alpha_4 MI_i + \alpha_5 ICV_k + \alpha_6 IAG_k + \alpha_7 IAS_k + \alpha_8 IED_k + \alpha_9 ATA_i + \alpha_{10} COP_i + \alpha_{11} SRI_i + \alpha_{12} SE_i + \alpha_{13} CO_i + \alpha_{14} SAL_i + \alpha_{15} IAC_k + \alpha_{16} JM_i + \beta_{17} CF_i] + \varepsilon_i \quad (3.2)$$

Las especificaciones propuestas recogen en sentido amplio varios elementos que pueden influir directa o indirectamente en la productividad agrícola de las UPA. Adicionalmente, los dos enfoques propuestos para medir la distancia al mercado, si bien no capturan completamente las dificultades de acceso, se pueden considerar una buena proxy de estas dificultades en la medida de que claramente están asociadas con la distancia euclidiana entre cada una de las unidades geográficas.

Las ecuaciones (3.1) y (3.2) se estimarán por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), con errores robustos, para tener en cuenta posibles problemas de correlación o heteroscedasticidad, utilizando una muestra de 3.758 observaciones (veredas), ubicadas en los 125 municipios del departamento de Antioquia (Colombia), mediante datos de corte transversal del Censo Nacional Agropecuario del 2014 y las cuentas fiscales de los municipios para el año 2013<sup>18</sup>.

**3.3.2 DATOS**

Este trabajo hace uso de dos conjuntos de datos principales. El primero comprende el Tercer Censo Nacional Agropecuario suministrado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE ([www.microdatos.dane.gov.co](http://www.microdatos.dane.gov.co)), el cual suministra información sobre las Unidades Productivas Agropecuarias. El segundo incluye las cuentas fiscales de los municipios, desagregadas por cada uno de los rubros de inversión y es obtenido a partir del Consolidador de Hacienda e Información Pública (CHIP)

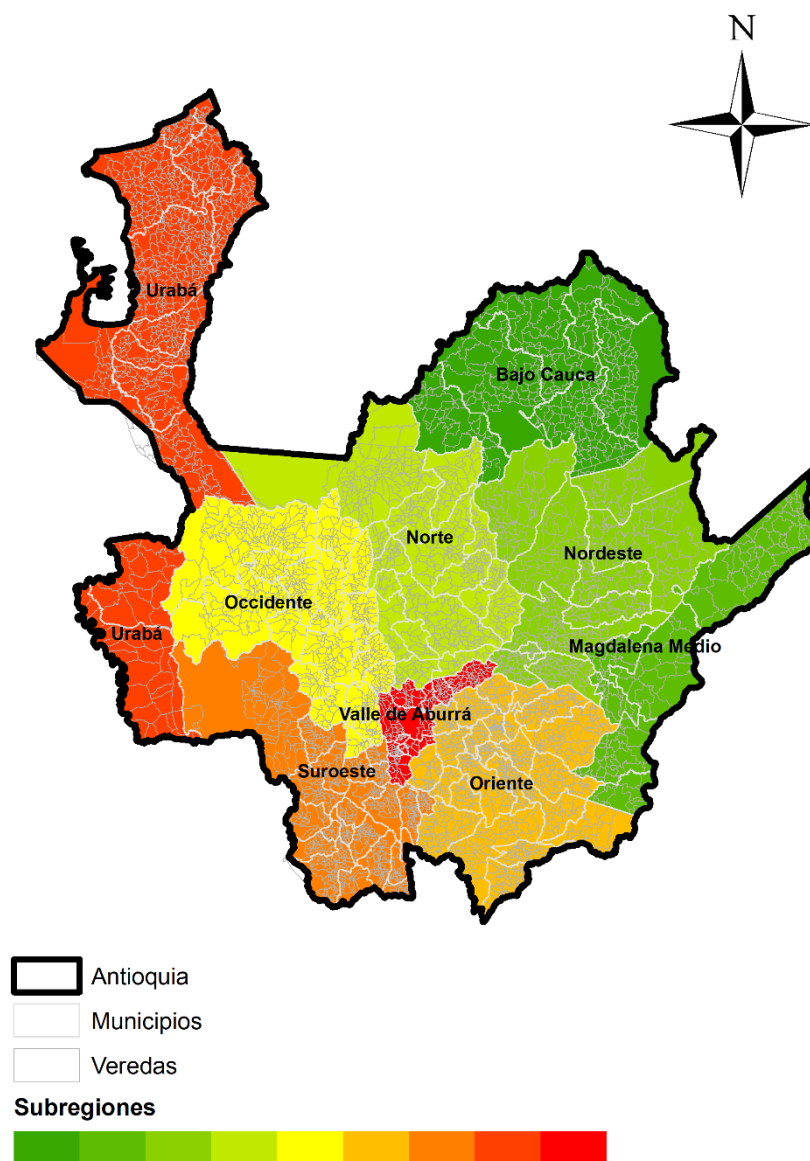
<sup>18</sup> Se toman las cuentas fiscales de inversión de los municipios en el año 2013, ya que, si bien el censo es de 2014, este recopila información de 2013 y 2014.

([www.chip.gov.co](http://www.chip.gov.co)), del cual está a cargo el Ministerio de Hacienda y Crédito Público. De esta forma, se obtienen todas las variables de inversión utilizadas en este estudio (Ver Tabla A.1).

### **3.3.3 ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS POR SUBREGIÓN**

Con el fin de dar un contexto al fenómeno analizado en este capítulo, se muestran las estadísticas descriptivas de cada una de las variables consideradas en el estudio. En la Tabla A.2 se presentan cada una de las estadísticas resumen desagregadas por subregión. En Colombia se tienen diferentes niveles de ordenación político-administrativa. De esta forma, el primer nivel de desagregación son los departamentos, seguido por los municipios, los cuales a su vez se pueden descomponer en veredas. En el caso particular del departamento de Antioquia, la administración optó por determinar una desagregación intermedia entre el departamento y los municipios, catalogada como subregión. Esta agregación de municipios obedece a: 1) propósitos de planificación del territorio en términos de políticas públicas y 2) establecer una agrupación según los centros económicos regionales en los que se pueden reunir los municipios que tengan mayor interacción. Por tanto, esta agregación se convierte en cierta medida en un mercado regional que tiene dinámicas propias.

La Figura 3.1 muestra la distribución político-administrativa del departamento, teniendo en cuenta las subregiones. Estas subregiones tienen ciertas características particulares, en el centro se encuentra el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, donde se ubica la capital del departamento (Medellín) y tiene una dinámica económica asociada principalmente a la industria y el sector servicios. Por su parte, la subregión del Urabá se destaca por la producción de banano de exportación, por lo que, respecto a la producción de bienes agropecuarios, tiene una gran presencia en mercados internacionales, con UPA de gran tamaño. La subregión del Suroeste se vincula principalmente con la producción de café. De esta forma, cada una de las subregiones tiene en cierta medida algún grado de especialización.



**FIGURA 3.1 – DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, COLOMBIA**

Elaboración propia; fuente: DANE y Gobernación de Antioquia

Como se puede observar en la Tabla A.2, existen diferencias importantes en términos de acceso al mercado en cada una de las subregiones. Se puede constatar que las veredas ubicadas en las subregiones de Urabá, Magdalena Medio y Bajo Cauca son quienes presentan mayor distancia con respecto a la cabecera subregional o a la capital departamental, mientras que las

subregiones de Suroeste, Norte y Oriente tienen en promedio una menor distancia. También se encuentra que, en variables como participación en mercados regionales, mercados internacionales, inversión destinada a la construcción de vías, unidades constituidas como personas jurídicas o mixtas y aprobación de créditos o financiamiento se identifican diferencias importantes.

Con base en esta información, se justifica la elección de las distancias consideradas en este estudio en la medida que dan cuenta del acceso que tienen cada una de las veredas a los mercados locales (municipio) y regionales (subregión y capital departamental). Así, se espera que entre más alejada se encuentra una vereda a su mercado local o regional más próximo, sea menor su productividad, dados los incentivos que tienen los cultivos de mayor productividad de encontrarse cerca al mercado, como se discutió anteriormente, con base en el modelo de von-Thünen-Alonso.

### **3.4 RESULTADOS**

Las estimaciones de las ecuaciones (3.1) y (3.2) se presentan en la Tabla 3.1. Los resultados de las pruebas de dependencia espacial indican que se rechaza la hipótesis nula de no dependencia. Tanto la prueba I de Moran, como las pruebas de Multiplicadores de Lagrange muestran que se rechaza la hipótesis nula al 1%. Por tanto, se concluye que se requieren especificaciones espaciales de los modelos. Los modelos espaciales estimados se evalúan según la metodología propuesta por Florax et al. (2003) y Belotti et al. (2017) (ver Tabla 3.2). Así, las pruebas LR indican que las mejores especificaciones corresponden a modelos espaciales de Durbin. Este modelo tiene un enfoque de spillovers global; no obstante, es posible que el fenómeno estudiado se comporte mejor con un enfoque de spillovers local. En la siguiente sección se presenta esta discusión.



**TABLA 3.1 – RESULTADOS ESPECIFICACIÓN NO ESPACIAL**

Variables	Variable dependiente: Rendimiento (Ton/Ha) promedio por vereda	
	(1) MCO - Dist Directa	(2) MCO - Dist Indirecta
Distancia euclidiana vereda-cab municipal	1,355 (1,038)	
Distancia euclidiana vereda-cab subregional	-1,874*** (0,357)	
Distancia euclidiana vereda-cap departamental	0,702*** (0,136)	
Distancia euclidiana vereda-cab municipal-cab subregional		-1,454*** (0,334)
Distancia euclidiana vereda-cab municipal-cap departamental		0,726*** (0,134)
% de UPA en la vereda que venden en mercados regionales	0,035*** (0,003)	0,035*** (0,003)
% de UPA en la vereda que venden en mercados internacionales	0,066*** (0,022)	0,066*** (0,022)
% de inversión municipal destinada a construcción de vías	0,026* (0,016)	0,028* (0,016)
% de inversión municipal destinada a actividades agropecuarias	-0,143*** (0,032)	-0,152*** (0,032)
% de inversión municipal destinada a asistencia técnica directa rural	0,352*** (0,041)	0,352*** (0,041)
% de inversión municipal destinada a educación	0,018** (0,008)	0,018** (0,008)
% de UPA en la vereda que recibieron asistencia o asesoría	-0,020*** (0,004)	-0,021*** (0,004)
% de UPA en la vereda que pertenecen a cooperativas	-0,017*** (0,004)	-0,017*** (0,004)
% de UPA en la vereda con sistema de riego	0,041*** (0,004)	0,041*** (0,004)
% de UPA en la vereda con al menos una sembradora	-0,138*** (0,048)	-0,140*** (0,049)
% de UPA en la vereda con al menos una cosechadora	-0,178** (0,085)	-0,184** (0,086)
% de UPA en la vereda con servicio de alcantarillado	0,017** (0,007)	0,016** (0,007)
% de inversión municipal destinada a servicio de acueducto	-0,049** (0,020)	-0,049** (0,020)
% de UPA en la vereda constituidas como personas jurídicas o mixtas	0,099*** (0,014)	0,099*** (0,014)
% de UPA en la vereda que les aprobaron un crédito o financiación	0,019** (0,007)	0,020*** (0,007)
Constante	1,384*** (0,429)	1,369*** (0,424)
Observaciones	3.758	3.758
R <sup>2</sup>	0,274	0,273
I de Moran	38,38	38,43
LM de Error Espacial	1.431	1.437
LM de Error Espacial Robusto	22,79	23,89
LM de Rezago Espacial	1.534	1.541
LM de Rezago Espacial Robusto	126,4	127,8

Errores estándar robustos entre paréntesis \*\*\* p<0,01, \*\* p<0,05, \* p<0,1

Elaboración propia; fuente: Censo Nacional Agropecuario – DANE y Consolidador de Hacienda e Información Pública (CHP) - Ministerio de Hacienda y Crédito Público

Nota: I de Moran y pruebas LM: Pruebas diagnósticas de dependencia espacial en regresión MCO. Todas las pruebas rechazan la hipótesis nula de ausencia de dependencia espacial residual al 1%.

**TABLA 3.2 – PRUEBAS PARA LA SELECCIÓN DEL MODELO**

Modelo	Contraste	$\chi^2$	Valor-p
Dist Directa	SAR versus SDM	9,539	0,002
	SEM versus SDM	58,396	0,000
Dist Indirecta	SAR versus SDM	9,551	0,002
	SEM versus SDM	62,836	0,000

Elaboración propia; fuente: Censo Nacional Agropecuario – DANE y Consolidador de Hacienda e Información Pública (CHP) - Ministerio de Hacienda y Crédito Público

### 3.4.1 SPILLOVERS GLOBALES VERSUS LOCALES

Como se mencionó anteriormente, con base en la metodología propuesta por Florax et al. (2003) y Belotti et al. (2017), el modelo preferido corresponde a una especificación espacial de Durbin (SDM), el cual tiene un enfoque de spillovers global. No obstante, es necesario pensar en una especificación alternativa, que tenga en cuenta un enfoque de spillovers local, como el modelo espacial de error de Durbin (SDEM). Como explica LeSage (2014), hay una diferencia de concepción del fenómeno al considerar los spillovers globales versus los locales. En el primer caso, los spillovers consideran vecinos de orden superior (vecinos de los vecinos, vecinos de los vecinos de los vecinos, etc.), mientras que en el segundo caso solo se involucran los vecinos directos definidos por la matriz de pesos.

Esta diferencia puede ser importante a la hora de estudiar la relación entre el acceso al mercado y la productividad agrícola. Dado que las UPA pueden tener diferentes tipos de alcance, unas de orden local y otras de orden regional, se hace necesario estimar los dos modelos para cada una de las especificaciones propuestas en el análisis. Así, mientras el modelo SDM permite tener en cuenta el posible efecto del contexto del vecindario, por medio del rezago espacial de las variables consideradas y el rendimiento promedio de las veredas vecinas, el modelo SDEM solo logra considerar el primer elemento.

En el caso particular de este estudio, se definió considerar solamente el rezago espacial de la inversión municipal en construcción de vías. Directamente, esta variable es una medida proxy del nivel de infraestructura de transporte que disponen los productores. En Colombia existen tres tipos de vías básicas: vías primarias a cargo de la nación, vías secundarias a cargo

de los departamentos y vías terciarias (que dan acceso a las veredas) a cargo de los municipios. Es así como este tipo de inversión es importante para medir el tipo de acceso de las UPA. Ahora, Si bien esta variable esta medida a nivel municipal, lo que implicaría que todas las veredas pertenecientes a un determinado municipio tendrían el mismo nivel de inversión, esto no tiene que presentarse en todos los casos, ya que algunas veredas se encuentran en áreas limítrofes con otros municipios.

Teniendo en cuenta todos los elementos anteriores, las especificaciones econométricas consideradas son las siguientes:

#### Especificaciones SDM

##### *Distancia Directa*

$$RP_i = \beta_0 + \rho WRP_i + \beta_1 DVM_i + \beta_2 DVS_i + \beta_3 DVC_i + [\beta_4 MR_i + \beta_5 MI_i + \beta_6 ICV_k + \beta_7 IAG_k + \beta_8 IAS_k + \beta_9 IED_k + \beta_{10} ATA_i + \beta_{11} COP_i + \beta_{12} SRI_i + \beta_{13} SE_i + \beta_{14} CO_i + \beta_{15} SAL_i + \beta_{16} IAC_k + \beta_{17} JM_i + \beta_{18} CF_i] + \theta_1 WICV_i + \varepsilon_i \quad (3.3)$$

##### *Distancia Indirecta*

$$RP_i = \alpha_0 + \rho WRP_i + \alpha_1 DVMS_i + \alpha_2 DVMC_i + [\alpha_3 MR_i + \alpha_4 MI_i + \alpha_5 ICV_k + \alpha_6 IAG_k + \alpha_7 IAS_k + \alpha_8 IED_k + \alpha_9 ATA_i + \alpha_{10} COP_i + \alpha_{11} SRI_i + \alpha_{12} SE_i + \alpha_{13} CO_i + \alpha_{14} SAL_i + \alpha_{15} IAC_k + \alpha_{16} JM_i + \beta_{17} CF_i] + \delta_1 WICV_i + \varepsilon_i \quad (3.4)$$

#### Especificaciones SDEM

##### *Distancia Directa*

$$RP_i = \beta_0 + \beta_1 DVM_i + \beta_2 DVS_i + \beta_3 DVC_i + [\beta_4 MR_i + \beta_5 MI_i + \beta_6 ICV_k + \beta_7 IAG_k + \beta_8 IAS_k + \beta_9 IED_k + \beta_{10} ATA_i + \beta_{11} COP_i + \beta_{12} SRI_i + \beta_{13} SE_i + \beta_{14} CO_i + \beta_{15} SAL_i + \beta_{16} IAC_k + \beta_{17} JM_i + \beta_{18} CF_i] + \theta_1 WICV_i + \varepsilon_i$$

con  $\varepsilon_i = \lambda W\varepsilon_i + \eta_i$  (3.5)

##### *Distancia Indirecta*

$$RP_i = \alpha_0 + \alpha_1 DVMS_i + \alpha_2 DVMC_i + [\alpha_3 MR_i + \alpha_4 MI_i + \alpha_5 ICV_k + \alpha_6 IAG_k + \alpha_7 IAS_k + \alpha_8 IED_k + \alpha_9 ATA_i + \alpha_{10} COP_i + \alpha_{11} SRI_i + \alpha_{12} SE_i + \alpha_{13} CO_i + \alpha_{14} SAL_i + \alpha_{15} IAC_k + \alpha_{16} JM_i + \beta_{17} CF_i] + \delta_1 WICV_i + \varepsilon_i$$

con  $\varepsilon_i = \lambda W\varepsilon_i + v_i$  (3.6)

donde el subíndice  $i$  se refiere a las veredas, el subíndice  $k$  se refiere al municipio,  $\varepsilon_i$  y  $\epsilon_i$  son errores que tienen un comportamiento espacial autorregresivo<sup>19</sup> y  $\eta_i$  y  $v_i$  son dos ruido blanco. Las definiciones para el resto de las variables son las mismas que en las ecuaciones (3.1) y (3.2). Adicionalmente, el modelo tiene en cuenta un rezago espacial de la inversión en construcción de vías ICV (WICV). Esta variable permite analizar la influencia de la infraestructura vial de los municipios vecinos especialmente en las veredas que se encuentran en áreas limítrofes.

Los elementos ( $w_{ij}, i \neq j$ ) de la matriz de pesos,  $W$ , se definen calculando las 5 veredas más cercanas a la unidad espacial. La diagonal principal toma valores "0". De esta forma,  $W$  se ha estandarizado por filas con suma igual a 1 para facilitar la interpretación. Este tipo de ponderación permite capturar las posibles interacciones espaciales que tienen cada una de las veredas, tanto de las que se encuentran en el centro del municipio, como de las que se ubican en las áreas limítrofes con otros municipios. Si bien la estructura vial del departamento está enfocada en la conexión de cada una de las veredas con su cabecera municipal y no con las veredas vecinas, es claro que el contexto espacial de las veredas puede ser un condicionante importante para el crecimiento de la productividad agrícola.

Las ecuaciones (3.3) a (3.6) se estiman por máxima verosimilitud utilizando datos de corte transversal para 3.758 veredas, ubicadas en los 125 municipios del departamento de Antioquia<sup>20</sup>. La Tabla 3.3 presenta los resultados exclusivamente en relación con las variables de acceso al mercado (el reporte completo de la estimación puede consultarse en la Tabla A.3). Se observa que los modelos SDM y SDEM presentan un comportamiento similar en términos de significancia y signo de los coeficientes estimados. Por tanto, se puede concluir que independiente del enfoque propuesto (global o local), los resultados son consistentes. Se constata que las medidas de distancia a la cabecera subregional y capital departamental son estadísticamente

---

<sup>19</sup> Solo en el caso del modelo SDEM, en el modelo SDM tienen las mismas definiciones a las presentadas en las ecuaciones (3.1) y (3.2), respectivamente.

<sup>20</sup> Si bien el departamento incluye una cantidad mayor de veredas, de la muestra se excluyen las veredas correspondientes a parques de reserva y veredas que no presentan actividades agropecuarias, por lo que no reportan producción agrícola.

significativas, mientras que la correspondiente a la cabecera municipal no lo es. Esto resalta la importancia que tiene el acceso a los mercados regionales en contraste con el mercado local sobre la productividad agrícola.

**TABLA 3.3 - RESULTADOS DE LA ESPECIFICACIONES ESPACIALES, VARIABLES DE ACCESO AL MERCADO (SAR, SEM, SDM Y SDEM)**

Variable dependiente: Rendimiento (Ton/Ha) promedio por vereda								
VARIABLES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	SAR - Dist Directa	SAR - Dist Indirecta	SEM - Dist Directa	SEM - Dist Indirecta	SDM - Dist Directa	SDM - Dist Indirecta	SDEM - Dist Directa	SDEM - Dist Indirecta
Dist vereda-cab municipal	-0,053 (0,858)		-0,500 (1,730)		0,060 (0,857)		-0,338 (1,733)	
Dist vereda-cab subregional	-0,603** (0,300)		-2,861*** (0,719)		-0,667** (0,300)		-3,018*** (0,723)	
Dist vereda-cap departamental	0,252** (0,099)		1,059*** (0,231)		0,272*** (0,099)		1,121*** (0,232)	
Dist vereda-cab municipal-cab subregional		-0,544** (0,257)		-1,991*** (0,541)		-0,590** (0,257)		-2,096*** (0,543)
Dist vereda-cab municipal-cap departamental		0,254*** (0,095)		0,922*** (0,212)		0,279*** (0,096)		0,985*** (0,214)
Rho	0,590*** (0,015)	0,590*** (0,015)			0,592*** (0,015)	0,592*** (0,015)		
Lambda			0,628*** (0,016)	0,627*** (0,016)			0,629*** (0,016)	0,628*** (0,016)
Constante	-0,440* (0,264)	-0,442* (0,264)	1,980*** (0,376)	1,869*** (0,370)	-0,434 (0,264)	-0,436* (0,263)	2,034*** (0,377)	1,917*** (0,370)
Observaciones	3.758	3.758	3.758	3.758	3.758	3.758	3.758	3.758
Log	-8.715	-8.715	-8.740	-8.742	-8.710	-8.710	-8.737	-8.739
Verosimilitud								

Errores Estándar entre paréntesis \*\*\* p<0,01, \*\* p<0,05, \* p<0,1

Elaboración propia; fuente: Censo Nacional Agropecuario – DANE y Consolidador de Hacienda e Información Pública (CHP) - Ministerio de Hacienda y Crédito Público

Los resultados presentados van en línea con lo propuesto a partir de los modelos de von-Thünen y la ampliación del modelo de Alonso. Primero, se encuentra una relación negativa entre la distancia de la vereda a la cabecera subregional. Esto indicaría, como predice el modelo de von-Thünen, que las UPA con altos niveles de productividad tienen incentivos para ubicarse cerca al mercado, ya que su productividad les permite obtener los recursos suficientes para adquirir este tipo de terrenos, están dispuestas a hacer las inversiones necesarias para mantenerse en estas ubicaciones y encuentran mayor facilidad para hacer esta inversión. Por su parte, las UPA con bajos niveles de productividad tienen menos acceso al mercado, lo que hace más

difícil obtener los recursos necesarios para mantener una alta productividad y tienen mayores dificultades para hacer inversión, dado que su bajo acceso aumenta los costos de inversión.

Segundo, se identifica una relación positiva entre la distancia de la vereda a la capital departamental y la productividad agrícola. Este resultado va en línea con lo propuesto en el modelo de Alonso. A diferencia de las cabeceras subregionales que se especializan principalmente en actividades agropecuarias, el centro del departamento se enfoca principalmente al desarrollo de actividades industriales y del sector servicios. Es así como el costo de la tierra en áreas próximas a la capital es alto, lo que incentiva a las UPA a ubicarse relativamente lejos de la capital departamental, pero lo suficientemente cerca de las cabeceras subregionales. Otro elemento para resaltar es que en cada una de las estimaciones el coeficiente asociado a la cabecera subregional es mayor al asociado a la capital departamental, lo que da cuenta de la importancia relativa de cada uno de estos mercados.

La Tabla A.3 muestra los resultados para cada uno de los controles considerados en las estimaciones. En general, los resultados van en línea con lo esperado. Así, la presencia en los mercados regionales e internacionales tiene una relación positiva con la productividad. Esta relación también es directa con variables como la inversión en asistencia técnica directa rural, inversión en educación, porcentaje de UPA con sistema de riego, porcentaje de viviendas en las UPA con servicio de alcantarillado, porcentaje de UPA constituidas como personas jurídicas y porcentaje de UPA a las que les aprobaron un crédito o financiación. Sin embargo, hay algunos resultados contrarios a lo considerado inicialmente. Particularmente, se encuentra una relación negativa con el porcentaje de UPA que recibieron asistencia o asesoría, porcentaje de UPA que pertenecen a cooperativas, porcentaje de UPA con al menos una sembradora, porcentaje de UPA con al menos una cosechadora e inversión en acueducto. Estos resultados deben estudiarse a mayor profundidad, especialmente los relacionados con la infraestructura para la producción, ya que pueden estar indicando que el uso del capital no se está haciendo de una forma adecuada.

Finalmente, es necesario hacer un análisis diferenciado para la variable de inversión municipal destinada a construcción de vías. Los resultados indican que hay una relación positiva entre esta inversión y el rendimiento promedio de las veredas. No obstante, esta relación es negativa para el rezago espacial de la misma variable. Esto indicaría que la productividad agrícola se ve afectada positivamente por la inversión de su mismo municipio, ya que permite un mejor acceso a la cabecera municipal e indirectamente a los mercados subregionales. Pero no ocurre lo mismo con la inversión en municipios vecinos, esto estaría explicado en la medida de que los municipios buscan construir vías que conecten sus territorios y no las veredas de municipios vecinos.

### **3.5 CONCLUSIONES Y PRINCIPALES IMPLICACIONES DE POLÍTICA**

Generalmente, el análisis del acceso a los mercados es estudiado para sectores de la economía como la industria manufacturera. Este capítulo hace un esfuerzo por estudiar las implicaciones de esta variable para el caso del sector agropecuario, específicamente mediante el estudio de la relación entre el acceso a los mercados y la productividad agrícola. El examen del efecto de la distancia de las veredas del departamento de Antioquia (Colombia) a los mercados regionales ofrece un aporte a este análisis. Utilizando datos de corte transversal, que incluye información para el año 2014, se encuentra que, ya sea por medio de medidas de distancia directa o indirecta, el acceso a los mercados regionales tiene un efecto importante sobre la productividad agrícola en las zonas rurales. Estos resultados se obtienen mediante la especificación de modelos espaciales de Durbin (global y local), lo que permite controlar por diferentes tipos de enfoque respecto a los spillovers.

El capítulo reporta dos resultados principales: primero, existe una relación negativa entre la distancia de la vereda a la cabecera subregional y el rendimiento promedio, lo que puede ser explicado en cierta medida por los incentivos que tienen los productores con alta productividad de acceder a una ubicación más cercana al mercado regional, además de los efectos que tiene la distancia a estos centros sobre los costos de transporte o incluso la

adquisición de capital e insumos para la producción. Segundo, existe una relación positiva entre la distancia de la vereda a la capital departamental y el rendimiento promedio. Esto se comprende en la medida que la capital se encuentra especializada principalmente en actividades industriales y de servicios, por lo que el costo de la tierra es alto, lo que genera incentivos a las UPA a ubicarse relativamente lejos de la capital, pero cerca de los centros económicos subregionales. Estos resultados destacan la influencia del acceso al mercado sobre la productividad agrícola y resaltan la importancia de una buena infraestructura de transporte que permita a las veredas más alejadas a los centros subregionales un mayor nivel de productividad agrícola.

Finalmente, con el ánimo de vincular nuevos trabajos que estudien los determinantes de la productividad agrícola se enuncian dos líneas de investigación. La primera tiene que ver con usar otras medidas de distancia a los mercados, como lo puede ser la distancia en tiempo por carretera, que brinden una medición más precisa de la dificultad de acceso a los mercados locales y regionales, dado que en algunos casos es posible que una vereda más alejada tenga una mejor infraestructura vial y; por lo tanto, no tenga que asumir altos costos de acceso en comparación con otras veredas. La segunda se relaciona con estudiar a mayor profundidad los resultados asociados a variables de infraestructura para la producción como la disponibilidad de sembradoras y cosechadoras. Este trabajo indica que hay una asociación negativa entre estas variables y el rendimiento promedio. Por lo tanto, se hace necesario indagar con mayor detalle qué puede explicar esta relación, ya que podría estar indicando que no se está haciendo un uso provechoso de este tipo de herramientas para la producción, indirectamente implicando que no se tienen las capacidades de cualificación necesaria para hacer una mejor elección y uso de esta infraestructura.



**CONCLUSIONES**

Esta tesis doctoral se centra en el estudio de tres fenómenos económicos, evaluando la importancia del espacio como elemento fundamental para el análisis, centrada en los campos de la economía geográfica y la economía regional. De esta forma, hace uso de técnicas de econometría espacial (herramientas adoptadas cada vez más en el estudio de datos espaciales), para hacer el testeo de las relaciones consideradas, teniendo en cuenta de forma explícita la consideración del espacio y el contexto vecinal. De esta forma, se presentan las principales conclusiones de cada ensayo y se enuncian posibles futuras líneas de investigación asociadas a cada uno.

En el primer ensayo se evalúa la influencia de las condiciones climáticas regionales sobre el comportamiento estratégico de la toma de decisiones de las plantas de generación eléctrica en la determinación de los precios de oferta, para el mercado de energía mayorista colombiano, el cual se encuentra condicionado por una alta participación de la generación hidráulica en la estructura tecnológica. El documento reporta tres resultados principales: primero, los aportes energéticos que abastecen a los embalses son un factor fundamental en la fijación de los precios de oferta de las plantas, esto se explica por tres condiciones del mercado colombiano: 1) la variación de las condiciones climáticas en Colombia entre las regiones, 2) una estructura tecnológica de generación de energía eléctrica predominantemente hidráulica y 3) la limitada capacidad de los embalses. Es así como la ubicación de la planta se convierte en un componente estratégico para las estrategias de fijación de precios de oferta. Por lo tanto, las estimaciones confirman estos aspectos al evidenciar que los coeficientes asociados a los aportes de energía actuales y pasados de los rivales son estadísticamente significativos. En segundo lugar, la información sobre la generación de electricidad en tiempo real de la planta y esta misma información pasada de los rivales es importante para fijar los precios de oferta. Son dos aspectos los que pueden explicar esta relación: la naturaleza inelástica de la demanda de electricidad y, el hecho de que las variaciones en las condiciones climáticas, que dependen de la ubicación de la planta, pueden crear diferencias en la generación de electricidad entre las plantas. Este factor

sería insignificante si las características geográficas de Colombia fueran homogéneas en todo el país. En tercer lugar, se muestra que los pagos por reconciliación positiva a las plantas son, en términos relativos, mucho más importantes que los realizados a los rivales, al establecer los precios de oferta. Este resultado se concibe en la medida que, i) las plantas pueden aprovechar las restricciones de red para comportarse como un monopolio natural local y ii) en el mercado no existen mercados de balance, por lo que solo se establecen pagos de reconciliación positiva directamente por el regulador (CREG). Estas dos son características del mercado colombiano. La principal recomendación de política derivada de los resultados es buscar la implementación de mercados de balance en el mercado colombiano, que permitan mejorar la eficiencia en el pago y asignación de las ofertas.

Derivado de este trabajo se pueden considerar tres vías de investigación: en primer lugar, explorar la posible existencia de otro tipo de interacciones estratégicas entre las empresas, al ampliar el análisis considerando una matriz de generación diversificada, que incluya tecnologías como térmica, eólica o solar fotovoltaica. En segundo lugar, realizar nuevas estimaciones que permitan estudiar los efectos de las interacciones estratégicas de las empresas, una vez se incorporen los mercados de balance al mercado de energía mayorista colombiano. En tercer lugar, si bien la matriz de pesos considerada en el trabajo encuentra su justificación en el funcionamiento actual del mercado, la inclusión de otro tipo de matrices que consideren aspectos alternativos del comportamiento del mercado podría examinarse para trabajos futuros.

En el segundo ensayo se analiza la influencia del potencial de mercado sobre la distribución espacial de la industria manufacturera para el caso colombiano, en el periodo 1985-2015, bajo un contexto de altas disparidades y desindustrialización. El capítulo presenta tres resultados principales: primero, a pesar de las condiciones bajo las cuales opera la industria en Colombia, el potencial de mercado es una medida importante al momento de explicar la distribución espacial de la industria manufacturera. Segundo, las economías de aglomeración propias y vecinales a los departamentos, las cuales pueden ser una medida indirecta de la demanda por bienes industriales, son un

elemento que influye positivamente en el nivel de producción industrial. Tercero, el aumento de la participación del sector terciario en el valor agregado departamental, ya sea de forma directa (departamento) o indirecta (vecindario), tiene un efecto negativo sobre el desarrollo de actividades de manufactura. Este resultado puede estar relacionado con la competencia generada por los recursos de inversión por parte de ambos sectores. Así, es importante replantear las políticas industriales, de forma que permitan aumentar la diversificación de las exportaciones y disminuir la dependencia sobre el potencial de mercado interno.

En este sentido, se pueden considerar dos vías de investigación para futuros trabajos. La primera implicaría la desagregación de la información a nivel de empresa mediante el uso de microdatos, con el fin de profundizar el análisis de los incentivos que se generan (teniendo en consideración el contexto de disparidades regionales y desindustrialización), sobre el desarrollo de actividades de manufactura. La segunda involucraría el uso de un periodo de tiempo de estudio más extenso, que permita examinar la distribución de la manufactura bajo diferentes contextos históricos, por medio del uso de técnicas econométricas con enfoque dinámico.

Finalmente, el tercer ensayo estudia el efecto del acceso al mercado sobre la productividad agrícola en el departamento de Antioquia (Colombia), a nivel veredal. Adicionalmente, se incluyen otros determinantes de la productividad. A partir de este estudio, el capítulo reporta dos resultados principales: primero, se encuentra una relación negativa entre la distancia de la vereda a la cabecera subregional y la productividad agrícola (rendimiento). Esta relación negativa puede ser explicada por los incentivos positivos que tienen los productores de alta productividad para ubicarse cerca al mercado regional y los efectos negativos de la distancia en términos de costos de transporte y el acceso a infraestructura para la producción. Segundo, se evidencia una relación positiva entre la distancia de la vereda a la capital departamental y el rendimiento promedio. La explicación a este resultado radica en que la capital se encuentra relativamente especializada en la producción de bienes industriales y de servicios, los cuales pueden tener una disposición a pagar por la ubicación más alta que las actividades agrícolas, lo que aumenta el

costo de la tierra, generando que las Unidades Productoras Agropecuarias (UPA) tengan incentivos para ubicarse relativamente lejos de la capital departamental. Los anteriores resultados resaltan la importancia de la mejora en infraestructura de transporte, que permita a las veredas mejorar su acceso al mercado subregional y; por tanto, mejorar sus niveles de productividad agrícola.

De esta forma, se consideran dos líneas de investigación. La primera involucra el uso de medidas más precisas que permitan determinar la dificultad de acceso a los mercados locales y regionales, como la distancia en tiempo por carretera, ya que es posible que una vereda a mayor distancia de la cabecera tenga una vía en mejores condiciones y; de esta forma, sus costos de acceso sean menores en comparación con otra más cercana pero con una infraestructura deficiente. La segunda implica estudiar a mayor detalle la relación entre la disponibilidad de sembradoras y cosechadoras sobre la productividad agrícola. Al ser estos elementos infraestructura para la producción, es necesario indagar a mayor profundidad a qué se debe esta relación negativa. Una posible hipótesis puede estar relacionada con la baja cualificación de los trabajadores, lo que generaría un desaprovechamiento en el uso y elección de este tipo de infraestructura.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amiti, M., & Venables, A. J. (2002). The geography of intra-industry trade. En *Frontiers of research in intra-industry trade* (pp. 87-106). Palgrave Macmillan, London. doi: 10.1057/9780230285989\_6.
- Anselin, L., Bera, A. K., Florax, R., & Yoon, M. J. (1996). Simple diagnostic tests for spatial dependence. *Regional science and urban economics*, 26(1), 77-104. doi.org/10.1016/0166-0462(95)02111-6.
- Baldwin, R. E., Martin, P., & Ottaviano, G. I. (2001). Global income divergence, trade, and industrialization: The geography of growth take-offs. *Journal of Economic Growth*, 6(1), 5-37. doi.org/10.1023/A:1009876310544.
- Belleflamme, P., & Peitz, M. (2015). *Industrial Organization: Markets and Strategies*, 2nd Edition. London: Cambridge University Press.
- Belotti, F., Hughes, G., & Mortari, A. P. (2017). Spatial panel-data models using Stata. *The Stata Journal*, 17(1), 139-180. doi: 10.1177/1536867X1701700109.
- Bonilla-Mejía, L. (2008). *Diferencias regionales en la distribución del ingreso en Colombia*. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana; No. 108. Banco de la República. Centro de estudios económicos regionales (CEER) – Cartagena.
- Botero, J.A., García, J.J., & Vélez, L.G. (2013). Mecanismos utilizados para monitorear el poder de mercado en mercados eléctricos: reflexiones para Colombia. *Cuadernos de Economía*, 32(60), 571-597. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ceconomia/article/view/40124/4228> 2.
- Breinlich, H., & Cuñat, A. (2013). Geography, non-homotheticity, and industrialization: A quantitative analysis. *Journal of Development Economics*, 103, 133-153. doi.org/10.1016/j.jdeveco.2013.01.005.
- Bruna, F., Lopez-Rodriguez, J., & Faiña, A. (2016). Market potential, spatial dependencies and spillovers in the European Regions. *Regional Studies*, 50(9), 1551-1563. doi: 10.1080/00343404.2015.1048796.

- Brunekreeft, G. (2001). A Multiple-Unit, multiple-period auction in the British power market. *Energy Economics*, 23(1), 99–118. doi: 10.1016/S0140-9883(00)00058-X.
- Burnett, J., & Zhao, X. (2015). Spatially explicit prediction of wholesale power prices. *International Regional Science Review*, 40(2), 99–140. doi.org/10.1177/0160017615607055.
- Capello, R. (2014). Classical Contributions: Von Thünen, Weber, Christaller, Lösch. In *Handbook of regional science* (pp. 507-526). Springer, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-23430-9\_94.
- Carlton, D., & Perloff, J. (2004). *Modern Industrial Organization*, 3rd ed., London: Addison–Wesley.
- Cheshire, P.C. & Magrini, S. (2006). Population growth in European cities: Weather matters – but only nationally, *Regional Studies*, 40 (1), 23-37.
- Conover, W. J. (1999). Statistics of the Kolmogorov-Smirnov type. *Practical nonparametric statistics*, 428–473.
- Crozet, M. (2004). Do migrants follow market potentials? An estimation of a new economic geography model. *Journal of Economic geography*, 4(4), 439-458. doi.org/10.1093/jnlecg/lbh029.
- Daniele, V., Malanima, P., & Ostuni, N. (2018). Geography, market potential and industrialization in Italy 1871–2001. *Papers in Regional Science*, 97(3), 639-662.
- Defeuilley, C. (2009). Retail competition in electricity markets. *Energy Policy*, 36, 377–386. doi.org/10.1016/j.enpol.2008.07.025.
- Elhorst, J. P. (2014). *Spatial Econometrics: From Cross-Sectional Data to Spatial Panels*. Heidelberg: Springer.
- Ellison, G., & Glaeser, E. (1997). Geographic concentration in US manufacturing industries: a dartboard approach, *Journal of Political Economy*, 105(5), 889–927. doi: 0022-3808/97/0505-0006\$02.50.
- Fabra, N., & Toro, J. (2005). Price wars and collusion in the Spanish power market. *International Journal of Industrial Organization*, 23(3-4), 155–181. doi.org/10.1016/j.ijindorg.2005.01.004.

- Faiña, A., Lopez-Rodriguez, J., & Montes-Solla, P. (2019). *EU Regional Policy and Development in Spain: Capital Widening and Productivity Stagnation Over 1989 2010*. In Global Business Conference 2019 Proceedings, 10-28.
- Florax, R., Folmer, H., & Rey, S. (2003). Specification searches in spatial econometrics: the relevance of hendry's methodology. *Regional Science and Urban Economics*, 33, 557–579. doi:10.1016 /S0166-0462(03)00002-4.
- Fujita, M., Krugman, P. R., & Venables, A. (1999). *The spatial economy: Cities, regions, and international trade*. MIT press, Cambridge MA.
- Gallup, J.L & Sachs, J.D. (1998). *Geography and Economic Growth*. Proceedings of the Annual World Bank. Conference on Development Economics, 1998, World Bank, Washington, D.C.
- Gallup, J.L, Sachs, J.D., & Mellinger, A.A. (1999). Geography and economic development. *International Regional Science Review*, 22(2), 179–232. doi.org/10.1177/016001799761012334.
- Galván-Vera, A. (2022). Productividad agrícola en México y sus determinantes: perspectivas del gasto público. *Revista Iberoamericana de Viticultura Agroindustria y Ruralidad*, 9(27), 233-249. doi: 10.35588/rivar.v9i27.5675
- Galvis, L. A. & Meisel, A. (2010). *Persistencia de las desigualdades regionales en Colombia: Un análisis espacial*. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana; No. 120. Banco de la República. Centro de estudios económicos regionales (CEER) – Cartagena. [https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/3014/dts\\_er\\_120.pdf](https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/3014/dts_er_120.pdf).
- García, J., Bohórquez, S., López, G., & Marín, F. (2013). Poder de mercado en mercados spot de generación eléctrica: metodología para su análisis. Documentos de trabajo Economía y Finanzas No 13-5. doi.org/10.2139/ssrn.2393226. <https://ssrn.com/abstract=2393226>.
- Garcia Rendon, J. J., López-Rodríguez, J., & Moncada-Mesa, J. (2021). Firm location, regional weather conditions and bid pricing strategies in the Colombian wholesale electricity market. *Regional Studies*, 56(9), 1554-1570. doi: 10.1080/00343404.2021.1994136.
- Geman, H., & Roncoroni, A. (2006). Understanding the fine structure of power prices. *Journal of Business*, 79(3), 1225–1261. doi: 10.1086/500675.

- Green, R.J. (1996). Increasing competition in the British power spot market. *Journal of Industrial Economics*, 44(2), 205–216. doi: 10.2307/2950646.
- Green, R.J., & Newbery, D.M. (1991). Competition in the British power spot market. *Journal of Political Economy*, 100(5), 929–953. doi: 10.1086/261846.
- Grether, E. (1970). Industrial organization: past, history and future problems. *The American Economic Review*, 60(2), 83–89. <https://www.jstor.org/stable/i331497>.
- Gutiérrez, A. (2011). Elasticidad precio-demanda de los usuarios no regulados en Colombia. Master's thesis, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/191/Alejandro\\_GutiérrezGomez\\_2011.pdf;sequence=1](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/191/Alejandro_GutiérrezGomez_2011.pdf;sequence=1)
- Hall, R.E., & Jones, C.I. (1999). Why do some countries produce so much more output per worker than others? *Quarterly Journal of Economics*, 114, 83–116. <https://www.jstor.org/stable/2586948>.
- Harris, C. D. (1954). The, Market as a Factor in the Localization of Industry in the United States. *Annals of the association of American geographers*, 44(4), 315-348.
- Hausman, J.A. (1974). Full information instrumental variables estimation of simultaneous equations systems. In *Annals of Economic and Social Measurement*, 3(4), 641–652. <http://www.nber.org/chapters/c10205.pdf>.
- Head, K., & Mayer, T. (2000). Non-Europe: the magnitude and causes of market fragmentation in the EU. *Review of World Economics*, 136(2), 284-314. doi.org/10.1007/BF02707689.
- Hortaçsu, A., & Puller, S. (2008). Understanding strategic bidding in multi-unit auctions: A case study of the Texas electricity spot market. *The RAND Journal of Economics*, 39(1), 86–114. doi.org/10.1111/j.0741-6261.2008.00005.x.
- Hotelling, H. (1929). Stability in competition, *Economic Journal*, 39, 41–57. doi10.2307/2224214.
- Hurtado, L., Quintero, L., & García, J. (2014). Estimación del precio de oferta de la energía eléctrica en Colombia mediante inteligencia artificial. *Journal of Quantitative Methods for Economics and Business Administration*, 18, 54–87. <https://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2205>.



- Jofre-Monseny, J. & Solé-Ollé, A. (2010). Tax Differentials in Intraregional Firm Location: Evidence from New Manufacturing Establishments in Spanish Municipalities, *Regional Studies*, 44 (6), 663-677.
- Joskow, P., & Kahn, E. (2002). A Quantitative analysis of pricing behaviour in California's wholesale power market during summer 2000. *The Energy Journal*, 23(4), 1-35. <https://www.jstor.org/stable/41323459>.
- Kakran, S., & Chanana, S. (2018). Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 524-535. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.045>.
- Karahasan, B. C., Dogruel, F. & Dogruel, S. (2016). Can Market Potential Explain Regional Disparities in Developing Countries? Evidence from Turkey. *The Developing Economies*, 54(2), 162-197. [doi.org/10.1111/deve.12105](https://doi.org/10.1111/deve.12105).
- Karahasan, B. C., & Bilgel, F. (2020). Market Access and Regional Dispersion of Human Capital Accumulation in Turkey. *Review of Development Economics*, 24(3), 1073-1101. [doi.org/10.1111/rode.12676](https://doi.org/10.1111/rode.12676)
- Keeble, D., Owens, P. L., & Thompson, C. (1982). Regional accessibility and economic potential in the European Community. *Regional Studies*, 16(6), 419-432. [doi.org/10.1080/09595238200185421](https://doi.org/10.1080/09595238200185421).
- Ketterer, T. D. & Rodríguez-Pose, A. (2016) Institutions vs. 'first-nature' geography: what drives economic growth in Europe's regions? *Papers in Regional Science*, 97, 25-62. [doi:10.1111/pirs.12237](https://doi.org/10.1111/pirs.12237).
- Klemperer, P., & Meyer, M. (1989). Supply function equilibria in oligopoly under uncertainty. *Econometrica*, 57(6), 1243-1277. [doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.015](https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.015).
- Kolapo, A., Didunyemi, A. J., Aniyi, O. J., & Obembe, O. E. (2022). Adoption of multiple sustainable land management practices and its effects on productivity of smallholder maize farmers in Nigeria. *Resources, Environment and Sustainability*, 10, 1-11. [doi.org/10.1016/j.resenv.2022.100084](https://doi.org/10.1016/j.resenv.2022.100084).
- Krugman, P. (1991). Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy*, 99(3), 483-499.
- Krugman, P. (1993). On the number and location of cities. *European Economic Review*, 37(2-3), 293-298. [doi.org/10.1016/0014-2921\(93\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0014-2921(93)90017-5).

- Laitinen, K., Hovila, J., Mannila, T., & Korpinen, L. (2000). The influences of weather factors on power prices in liberalized market in Finland. *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, 2000. Proceedings. DRPT 2000. International Conference, 544–548. doi: 10.1109/DRPT.2000.855723.  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/855723/>.
- LeSage, J.P. (2014). What Regional Scientists need to know about Spatial Econometrics. *The Review of Regional Studies*, 44, 13–32.  
<https://rrs.scholasticahq.com/article/8081.pdf>
- Lipczynski, J., Wilson, J., & Goddard, J. (2017). *Industrial Organization. Competition, strategy, policy*. London: Prentice Hall.
- Loaiza-Quintero, O. L., & Moncada-Mesa, J. (2013). *Un estudio sobre las disparidades regionales en Colombia a través del análisis exploratorio y confirmatorio de datos espaciales, 1985–2010*. Munich Personal RePEc Archive.  
[https://mpra.ub.uni-muenchen.de/47735/1/MPRA\\_paper\\_47735.pdf](https://mpra.ub.uni-muenchen.de/47735/1/MPRA_paper_47735.pdf).
- Lopez-Rodriguez, J., & Faiña, A. (2006). Does Distance Matter for Determining Regional Income in the European Union? an Approach through the Market Potential Concept. *Applied Economics Letters*, 13(6), 385–390. doi.org/10.1080/13504850600650073.
- Lopez-Rodriguez, J., Faiña, A., & Lopez Rodriguez, J. (2007). Human capital accumulation and geography: empirical evidence in the European Union. *Regional Studies*, 41(2), 217–234.  
<https://doi.org/10.1080/00343400601108440>.
- Lopez-Rodriguez, J., Faiña, A., & Cosmin Bolea, G. (2011). Economic remoteness and wage disparities in romania. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, 102(5), 594–606. doi/pdf/10.1111/j.1467-9663.2011.00670.x.
- Lopez-Rodriguez, J., & Vasquez-Roldan, J. S. (2022). Income disparities in Colombia: market potential and neighborhood effects. *Applied Economics Letters*, 29(2), 106–110. doi.org/10.1080/13504851.2020.1856321.

- Liu, J., Wang, M., Yang, L., Rahman, S., & Sriboonchitta, S. (2020). Agricultural productivity growth and its determinants in south and southeast asian countries. *Sustainability*, 12(12), 4981. doi: 10.3390/su12124981
- Majeed, M., Mushtaq, S. O., & Khan, J. I. (2022). Perspectives into the Industrialization Process of India Through the New Economic Geography Lens. *Journal of Quantitative Economics*, 20, 437-458. doi.org/10.1007/s40953-022-00293-z.
- Martinez-Galarraga, J., Paluzie, E., Pons, J., Silvestre, J., & Tirado, D. A. (2021). New economic geography and economic history: A survey of recent contributions through the lens of the Spanish industrialization process. *Cliometrica*, 15(3), 719-751. doi.org/10.1007/s11698-020-00214-1
- Mathiesen, L., Skaar, J., & Sjørgard, L. (2013). Electricity production in a hydro system with a reservoir constraint. *The Scandinavian Journal of Economics*, 115(2), 575-594. doi.org/10.1111/sjoe.12000.
- Mohapatra, S., Sharp, B., Sahoo, A. K., & Sahoo, D. (2022). Decomposition of climate-induced productivity growth in Indian agriculture. *Environmental Challenges*, 7, 1-15. doi.org/10.1016/j.envc.2022.100494
- Nitsch, V. (2000), National borders and international trade: evidence from the European Union. *Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'économique*, 33: 1091-1105. doi.org/10.1111/0008-4085.00055.
- NOAA. (2015). Earth System Research Laboratory: Physical Sciences Division. from Earth System Research Laboratory <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/index.html>.
- Pérez, A., & García, J. (2021). Integration of non-conventional renewable energy and spot price of electricity: A counterfactual analysis for Colombia, *Renewable Energy*, 167, 146-161. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.067>.
- Pillot, B., Muselli, M., Poggi, P., & Batista, J. (2019). Historical trends in global energy policy and renewable power system issues in Sub-Saharan Africa: The case of solar PV. *Energy Policy*, 127, 113-124. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.049>.
- Popova, J. (2004). Spatial pattern in modelling power prices: evidence from the PJM market. Working Paper, West Virginia University.

- [http://www.iaee.org/en/students/best\\_papers/popova\\_washington\\_dc\\_2004.pdf](http://www.iaee.org/en/students/best_papers/popova_washington_dc_2004.pdf)
- Rangel, L.F. (2008). Competition policy and regulation in hydro-dominated power markets. *Energy Policy*, 36(4), 1292–1302. doi:10.1016/j.enpol.2007.12.005.
- Redding, S., & Venables, A. (2004a). Geography and export performance: external market access and internal supply capacity. In *Challenges to globalization: Analyzing the economics* (pp. 95-130). University of Chicago Press.
- Redding, S., & Venables, A. J. (2004b). Economic geography and international inequality. *Journal of international Economics*, 62(1), 53-82.
- Reguan, M. (2014). Complementary bidding mechanisms and startup costs in electricity markets. *Review of Economic Studies*, 0, 1–35. doi:10.1093/restud/rdu022.
- Sachs, J.D. (2003). Institutions don't rule: direct effects of geography on per capita income, Working Paper no. 9490, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- Santa María, M., Von Der Fehr, N.-H., Millán, J., Benavides, J., Gracia, O., & Schutt, E. (2009). *El Mercado de la energía eléctrica en Colombia: características, evolución e impacto sobre otros sectores*. Cuadernos de Fedesarrollo.  
[http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/171/CDF\\_No\\_%2030\\_Octubre\\_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/171/CDF_No_%2030_Octubre_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Schill, W.P. & Kemfert, C. (2011). Modeling strategic power storage: The case of pumped hydro storage in Germany. *The Energy Journal*, 32(3), 59–88. doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol32-No3-3.
- Shearmur, R. & Polése, M. (2007). Do Local Factors Explain Local Employment Growth? Evidence from Canada, 1971–2001, *Regional Studies*, 41(4), 1-19.
- Tirole, J. (1988). *The Theory of Industrial Organization*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- von der Fehr, N., & Harbord, D. (1993). Spot market competition in the UK power industry. *The Economic Journal*, 103(418), 531–546. doi.org/10.2307/2234530.

- Wolak, F.A. (2000). An empirical analysis of the impact of hedge contracts on bidding behavior in a competitive electricity market. *International Economic Journal*, 14(2), 1–39. <https://web.stanford.edu/group/fwolak/cgi-bin/?q=node/3>.
- Wolf, N. (2007). Endowments vs. market potential: What explains the relocation of industry after the Polish reunification in 1918?. *Explorations in Economic history*, 44(1), 22-42. doi.org/10.1016/j.eeh.2005.08.003
- Wolfram, C. (1998). Strategic bidding in a multiunit auction: an empirical analysis of bids to supply power in England and Gales. *Rand Journal of Economics*, 29(4), 703–725.
- XM. (2015). *El Informe de Operación del SIN y Administración del Mercado 2014*. Medellín. <http://informesanuales.xm.com.co/2014/SitePages/operacion/Default.aspx>.
- Zapata, J.A. (2011). *Impacto del PIB del gas natural y de los precios de la electricidad, en el consumo de energía eléctrica en Colombia*. Tesis de Maestría en Economía, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- Zheng, S., Wang, Z., & Awokuse, T. O. (2012). Determinants of producers' participation in agricultural cooperatives: evidence from Northern China. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 34(1), 167-186. doi:10.1093/aep/044.

## Anexo A SOBRE DATOS Y MODELOS

### Epígrafe A.1 – DATOS Y VARIABLES CAPÍTULO 3

En la siguiente tabla se describen cada una de las variables utilizadas en el capítulo 3 y su forma de cálculo

**TABLA A.1 – DESCRIPCIÓN DE VARIABLES - CAPÍTULO 3**

Variable	Unidades de medida	Unidad de Observación	Dato construido	Descripción
Rendimiento promedio (RP)	Ton/Ha	Unidad Productora Agropecuaria	promedio vereda	Promedio veredal de la producción total de la UPA por hectárea de tierra
Dist vereda-cab municipal (DVM)	Grados decimales	Vereda	distancia mínima	Distancia euclidiana mínima entre la vereda y la cabecera municipal más cercana
Dist vereda-cab subregional (DVS)	Grados decimales	Vereda	distancia mínima	Distancia euclidiana mínima entre la vereda y la cabecera subregional más cercana
Dist vereda-cap departamental (DVC)	Grados decimales	Vereda	distancia mínima	Distancia euclidiana mínima entre la vereda y la capital departamental (Medellín)
Dist vereda-cab municipal-cab subregional (DVMS)	Grados decimales	Vereda	distancia mínima	Distancia euclidiana mínima entre la vereda y la cabecera municipal, más distancia euclidiana mínima entre la cabecera municipal y la cabecera subregional más cercana
Dist vereda-cab municipal-cap departamental (DVMC)	Grados decimales	Vereda	distancia mínima	Distancia euclidiana mínima entre la vereda y la cabecera municipal, más distancia euclidiana mínima entre la cabecera municipal y la capital departamental (Medellín)
% de UPA en la vereda que venden en mercados regionales (MR)	Porcentaje	Unidad Productora Agropecuaria	porcentaje en el total	Porcentaje de UPA en la vereda para las cuales el destino final de la producción es: centrales de abastos, plaza de mercado, comercializador(a) o tienda, supermercado o grandes superficies

% de UPA en la vereda que venden en mercados internacionales (MI)	Porcentaje	Unidad Productora Agropecuaria	porcentaje en el total	Porcentaje de UPA en la vereda para las cuales el destino final de la producción es: mercados internacionales
% de inversión municipal destinada a construcción de vías (ICV)	Porcentaje	Municipio	porcentaje en el total	Porcentaje de inversión municipal destinada a la construcción de vías, respecto a la inversión total
% de inversión municipal destinada a actividades agropecuarias (IAG)	Porcentaje	Municipio	porcentaje en el total	Porcentaje de inversión municipal destinada a apoyar actividades agropecuarias, respecto a la inversión total
% de inversión municipal destinada a asistencia técnica directa rural (IAS)	Porcentaje	Municipio	porcentaje en el total	Porcentaje de inversión municipal destinada a apoyar asistencia técnica directa rural, respecto a la inversión total
% de inversión municipal destinada a educación (IED)	Porcentaje	Municipio	porcentaje en el total	Porcentaje de inversión municipal destinada a apoyar al sector educativo, respecto a la inversión total
% de UPA en la vereda que recibieron asistencia o asesoría (ATA)	Porcentaje	Unidad Productora Agropecuaria	porcentaje en el total	Porcentaje de UPA en la vereda que recibieron asistencia o asesoría para actividades agropecuarias
% de UPA en la vereda que pertenecen a cooperativas (CP)	Porcentaje	Unidad Productora Agropecuaria	porcentaje en el total	Porcentaje de UPA en la vereda que pertenecen a una cooperativa
% de UPA en la vereda con sistema de riego (SRI)	Porcentaje	Unidad Productora Agropecuaria	porcentaje en el total	Porcentaje de UPA en la vereda que poseen sistema de riego
% de UPA en la vereda con al menos una sembradora (SE)	Porcentaje	Unidad Productora Agropecuaria	porcentaje en el total	Porcentaje de UPA en la vereda que poseen por lo menos una sembradora

% de UPA en la vereda con al menos una cosechadora (CO)	Porcentaje	Unidad Productora Agropecuaria	porcentaje en el total	Porcentaje de UPA en la vereda que poseen por lo menos una cosechadora
% de UPA en la vereda con servicio de alcantarillado (SAL)	Porcentaje	Unidad Productora Agropecuaria - Vivienda	porcentaje en el total	Porcentaje de vivienda pertenecientes a la UPA en la vereda que poseen servicio de alcantarillado
% de inversión municipal destinada a servicio de acueducto (IAC)	Porcentaje	Municipio	porcentaje en el total	Porcentaje de inversión municipal destinada a suministrar el servicio de acueducto, respecto a la inversión total
% de UPA en la vereda constituidas como personas jurídicas o mixtas (JM)	Porcentaje	Unidad Productora Agropecuaria	porcentaje en el total	Porcentaje de UPA en la vereda que están constituidas como personas jurídicas o mixtas
% de UPA en la vereda que les aprobaron un crédito o financiación (CF)	Porcentaje	Unidad Productora Agropecuaria	porcentaje en el total	Porcentaje de UPA en la vereda que solicitaron un crédito o financiación y se lo aprobaron

Elaboración propia; fuente: Censo Nacional Agropecuario – DANE, Consolidador de Hacienda e Información Pública (CHP) - Ministerio de Hacienda y Crédito Público



**TABLA A.2 – ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS - CAPÍTULO 3**

Subregión	Variable	Unidades	N	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	Variable	Unidades	N	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Bajo Cauca			226	7,456	2,988	0,863	18,924			226	8,059	0,638	6,979	9,017
Magdalena Medio			115	7,048	3,507	0,306	18,994			115	8,172	2,126	4,841	10,145
Nordeste			343	5,251	3,409	0,103	17,147			343	8,591	3,911	5,038	21,509
Norte	Rendimiento (Ton/Ha) promedio por vereda		459	4,943	2,995	0,238	21,206	% de inversión municipal destinada a educación		459	9,331	3,279	4,399	22,354
Occidente			546	3,774	2,194	0,105	14,658			546	9,348	2,422	4,950	16,008
Oriente			852	5,533	2,557	0,023	20,983			852	8,928	3,766	4,875	20,490
Suroeste			578	4,572	2,993	0,279	20,959			578	7,307	1,963	4,947	13,076
Urabá			448	7,605	4,740	0,191	38,299			448	25,125	22,959	6,262	60,954
Valle de Aburrá			191	6,589	2,835	0,108	19,546			191	20,510	11,505	7,010	45,479
Bajo Cauca			226	0,101	0,068	0	0,252			226	11,326	14,452	0	100,000
Magdalena Medio			115	0,088	0,077	0	0,311			115	10,839	11,352	0	44,000
Nordeste			343	0,061	0,052	0	0,285	% de UPA en la vereda que recibieron asistencia o asesoría		343	21,925	20,286	0	100,000
Norte	Dist vereda- cab municipal		459	0,051	0,045	0	0,228			459	22,163	19,155	0	93,750
Occidente			546	0,044	0,044	0	0,338			546	28,967	20,560	0	100,000
Oriente			852	0,037	0,035	0	0,191			852	18,254	17,375	0	100,000
Suroeste			578	0,025	0,028	0	0,301			578	44,164	28,292	0	100,000
Urabá			448	0,095	0,072	0	0,419		448	10,723	16,919	0	100,000	
Valle de Aburrá			191	0,011	0,015	0	0,058			191	8,151	9,101	0	83,333
Bajo Cauca			226	0,346	0,127	0	0,578			226	1,311	4,855	0	50,000
Magdalena Medio			115	0,393	0,184	0	0,748			115	1,556	3,798	0	27,273
Nordeste			343	0,319	0,133	0	0,543	% de UPA en la vereda que pertenecen a cooperativas		343	6,208	8,417	0	32,203
Norte	Dist vereda- cab subregional		459	0,241	0,114	0	0,557			459	17,309	19,144	0	100,000
Occidente			546	0,272	0,178	0	0,755			546	9,175	11,862	0	100,000
Oriente			852	0,266	0,158	0	0,689			852	6,489	12,047	0	100,000
Suroeste			578	0,197	0,108	0	0,663			578	22,647	21,135	0	100,000
Urabá			448	0,443	0,271	0	1,057		448	1,619	6,749	0	100,000	
Valle de Aburrá			191	0,089	0,092	0	0,328			191	1,893	4,750	0	33,333
Bajo Cauca			226	1,458	0,199	0,971	1,957			226	74,263	19,720	0	100,000
Magdalena Medio			115	1,086	0,394	0,701	1,803			115	87,735	11,791	57,143	100,000
Nordeste			343	0,756	0,233	0,326	1,298	% de UPA en la vereda con sistema de riego		343	66,774	20,618	0	100,000
Norte	Dist vereda- cab departamental		459	0,624	0,244	0,070	1,099			459	78,291	19,101	0	100,000
Occidente			546	0,518	0,272	0,027	1,134			546	74,287	17,257	0	100,000
Oriente			852	0,391	0,177	0,022	0,855			852	81,832	16,438	0	100,000
Suroeste			578	0,390	0,148	0,018	0,783			578	62,561	22,667	0	100,000
Urabá			448	2,030	0,425	0,850	2,652		448	65,292	25,897	0	100,000	
Valle de Aburrá			191	0,090	0,093	0	0,331			191	91,190	9,751	42,857	100,000
Bajo Cauca			226	0,483	0,166	0	0,733			226	0,594	2,752	0	33,333
Magdalena Medio	Dist vereda- cab municipal- cab subregional		115	0,516	0,256	0	0,996	% de UPA en la vereda con al menos una sembradora		115	0,821	3,224	0	20,000
Nordeste			343	0,377	0,147	0	0,643			343	0,036	0,507	0	9,091
Norte			459	0,280	0,122	0	0,609			459	0,079	0,425	0	5,000
Occidente			546	0,311	0,191	0	0,883			546	0,056	0,724	0	14,286
Oriente			852	0,296	0,169	0	0,802			852	0,093	0,680	0	14,286

Suroeste		578	0,222	0,115	0	0,672		578	0,114	0,727	0	12,500
Urabá		448	0,554	0,347	0	1,466		448	0,301	2,650	0	50,000
Valle de Aburrá		191	0,086	0,098	0	0,408		191	0,074	0,378	0	2,778
Bajo Cauca		226	1,564	0,231	1,016	2,151		226	0,026	0,281	0	3,571
Magdalena Medio		115	1,240	0,465	0,677	2,070		115	0,000	0,000	0	0,000
Nordeste		343	0,816	0,255	0,405	1,520	% de UPA en	343	0,006	0,082	0	1,163
Norte	Dist vereda-	459	0,660	0,241	0,138	1,461	la vereda	459	0,019	0,215	0	3,846
Occidente	cab municipal-	546	0,563	0,283	0,066	1,321	con al menos	546	0,014	0,157	0	2,174
Oriente	cap	852	0,425	0,196	0,022	1,128	una	852	0,060	0,637	0	11,765
Suroeste	departamental	578	0,415	0,149	0,076	0,778	cosechadora	578	0,023	0,286	0	5,882
Urabá		448	2,160	0,416	0,876	2,834		448	0,072	1,208	0	25,000
Valle de Aburrá		191	0,087	0,100	0	0,453		191	0,000	0,000	0	0,000
Bajo Cauca		226	39,315	24,550	0	100,000		226	3,318	6,295	0	50,000
Magdalena Medio		115	19,883	16,768	0	72,222		115	4,534	6,731	0	33,113
Nordeste	% de UPA en	343	17,995	17,069	0	100,000	% de UPA en	343	4,460	9,065	0	100,000
Norte	la vereda que	459	21,081	18,864	0	100,000	la vereda	459	3,333	8,244	0	95,652
Occidente	venden en	546	22,536	22,547	0	100,000	con servicio	546	3,375	7,752	0	100,000
Oriente	mercados	852	27,431	21,432	0	100,000	de	852	3,476	7,184	0	100,000
Suroeste	regionales	578	30,655	25,740	0	100,000	alcantarillado	578	7,101	12,237	0	100,000
Urabá		448	53,442	28,435	0	100,000		448	2,934	7,329	0	75,000
Valle de Aburrá		191	11,123	13,730	0	100,000		191	5,641	9,226	0	75,000
Bajo Cauca		226	0,045	0,436	0	5,000		226	5,656	3,231	2,087	11,855
Magdalena Medio		115	0,016	0,167	0	1,786		115	3,344	2,349	0,609	6,543
Nordeste	% de UPA en	343	0,084	0,956	0	16,667	% de	343	2,335	1,807	0,353	6,952
Norte	la vereda que	459	0,169	2,400	0	50,000	inversión	459	2,875	1,738	0,591	5,474
Occidente	venden en	546	0,088	0,609	0	9,091	municipal	546	2,542	1,450	0	7,541
Oriente	mercados	852	1,247	4,590	0	50,000	destinada a	852	3,516	3,148	0,314	11,197
Suroeste	internacionales	578	0,091	1,102	0	25,000	servicio de	578	2,275	2,022	0,393	7,012
Urabá		448	0,073	0,525	0	5,970	acueducto	448	2,038	1,618	0,425	5,861
Valle de Aburrá		191	0,768	2,934	0	25,926		191	2,851	1,691	0,055	4,879
Bajo Cauca		226	1,555	2,060	0	5,874		226	2,290	9,772	0	100,000
Magdalena Medio		115	3,511	7,609	0	22,815	% de UPA en	115	3,636	8,254	0	56,000
Nordeste	% de inversión	343	0,526	1,952	0	9,309	la vereda	343	2,847	8,622	0	100,000
Norte	municipal	459	0,736	1,751	0	8,294	constituidas	459	2,185	6,016	0	71,429
Occidente	destinada a	546	0,641	1,322	0	4,678	como	546	1,145	4,127	0	66,667
Oriente	construcción	852	1,591	4,467	0	21,085	personas	852	1,989	6,438	0	100,000
Suroeste	de vías	578	0,417	0,791	0	3,247	jurídicas o	578	2,434	7,360	0	100,000
Urabá		448	3,627	4,083	0	11,037	mixtas	448	4,082	11,705	0	100,000
Valle de Aburrá		191	3,211	2,809	0	12,327		191	3,788	5,970	0	50,000
Bajo Cauca		226	0,616	0,175	0,396	0,977	% de UPA en	226	4,598	6,964	0	50,000
Magdalena Medio	% de inversión	115	2,194	1,497	0,374	4,149	la vereda	115	6,184	6,805	0	30,000
Nordeste	municipal	343	1,330	0,771	0,234	2,771	que les	343	7,959	11,997	0	100,000
Norte	destinada a	459	1,763	0,915	0,858	3,788	aprobaron	459	7,862	9,637	0	48,571
Occidente	actividades	546	2,359	1,515	0,474	7,691	un crédito o	546	6,528	9,816	0	100,000
Oriente	agropecuarias	852	1,818	1,799	0	8,829	financiación	852	6,437	9,041	0	100,000

Suroeste		578	1,421	1,382	0,217	6,557	578	10,549	11,482	0	75,000
Urabá		448	0,638	0,838	0,075	4,929	448	6,834	11,590	0	100,000
Valle de Aburrá		191	0,784	0,796	0	2,242	191	1,357	2,762	0	25,000
Bajo Cauca		226	0,378	0,435	0	1,006					
Magdalena Medio		115	2,814	2,873	0,211	6,722					
Nordeste	% de inversión municipal	343	1,088	0,929	0	2,876					
Norte	destinada a asistencia técnica directa	459	1,017	1,353	0	5,753					
Occidente	rural	546	1,415	1,335	0	5,445					
Oriente		852	0,554	0,702	0	2,678					
Suroeste		578	1,155	1,334	0	7,126					
Urabá		448	0,360	0,410	0	1,316					
Valle de Aburrá		191	0,671	1,105	0	3,781					

Elaboración propia; fuente: Censo Nacional Agropecuario – DANE, Consolidador de Hacienda e Información Pública (CHP) - Ministerio de Hacienda y Crédito Público y Gobernación de Antioquia

**TABLA A.3 - RESULTADOS DE LA ESPECIFICACIONES ESPACIALES, TODAS LAS VARIABLES (SAR, SEM, SDM Y SDEM)**

Variable dependiente: Rendimiento (Ton/Ha) promedio por vereda								
VARIABLES	(1) SAR - Dist Directa	(2) SAR - Dist Indirecta	(3) SEM - Dist Directa	(4) SEM - Dist Indirecta	(5) SDM - Dist Directa	(6) SDM - Dist Indirecta	(7) SDEM - Dist Directa	(8) SDEM - Dist Indirecta
Dist vereda-cab municipal	-0,053 (0,858)		-0,500 (1,730)		0,060 (0,857)		-0,338 (1,733)	
Dist vereda-cab subregional	-0,603** (0,300)		-2,861*** (0,719)		-0,667** (0,300)		-3,018*** (0,723)	
Dist vereda-cap departamental	0,252** (0,099)		1,059*** (0,231)		0,272*** (0,099)		1,121*** (0,232)	
Dist vereda-cab municipal-cab subregional		-0,544** (0,257)		-1,991*** (0,541)		-0,590** (0,257)		-2,096*** (0,543)
Dist vereda-cab municipal-cap departamental		0,254*** (0,095)		0,922*** (0,212)		0,279*** (0,096)		0,985*** (0,214)
% de UPA en la vereda que venden en mercados regionales	0,022*** (0,002)	0,022*** (0,002)	0,028*** (0,003)	0,028*** (0,003)	0,022*** (0,002)	0,022*** (0,002)	0,028*** (0,002)	0,028*** (0,003)
% de UPA en la vereda que venden en mercados internacionales	0,033** (0,016)	0,033** (0,016)	0,048** (0,019)	0,049** (0,019)	0,037** (0,016)	0,037** (0,016)	0,052*** (0,019)	0,052*** (0,019)
% de inversión municipal destinada a construcción de vías	0,004 (0,012)	0,004 (0,012)	0,053*** (0,021)	0,055*** (0,021)	0,074*** (0,026)	0,074*** (0,026)	0,084*** (0,024)	0,086*** (0,024)
% de inversión municipal destinada a actividades agropecuarias	-0,045 (0,032)	-0,046 (0,031)	-0,063 (0,058)	-0,076 (0,058)	-0,042 (0,032)	-0,044 (0,031)	-0,062 (0,058)	-0,075 (0,058)
% de inversión municipal destinada a asistencia técnica directa rural	0,176*** (0,034)	0,176*** (0,034)	0,377*** (0,065)	0,376*** (0,065)	0,176*** (0,034)	0,176*** (0,034)	0,377*** (0,066)	0,377*** (0,065)
% de inversión municipal destinada a educación	0,006 (0,004)	0,005 (0,004)	0,019** (0,009)	0,021** (0,009)	0,006 (0,004)	0,006 (0,004)	0,020** (0,009)	0,022** (0,009)
% de UPA en la vereda que recibieron asistencia o asesoría	-0,007*** (0,003)	-0,007*** (0,003)	-0,008*** (0,003)	-0,008*** (0,003)	-0,007*** (0,003)	-0,007*** (0,003)	-0,008*** (0,003)	-0,008*** (0,003)
% de UPA en la vereda que pertenecen a cooperativas	-0,009*** (0,003)	-0,009*** (0,003)	-0,011*** (0,004)	-0,011*** (0,004)	-0,009*** (0,003)	-0,009*** (0,003)	-0,011*** (0,004)	-0,011*** (0,004)
% de UPA en la vereda con	0,027*** (0,003)	0,027*** (0,003)	0,031*** (0,004)	0,031*** (0,004)	0,027*** (0,003)	0,027*** (0,003)	0,031*** (0,004)	0,031*** (0,004)

sistema de riego	(0,002)	(0,002)	(0,003)	(0,003)	(0,002)	(0,002)	(0,003)	(0,003)
% de UPA en la vereda con al menos una sembradora	-0,127***	-0,127***	-0,138***	-0,135***	-0,125***	-0,125***	-0,137***	-0,135***
% de UPA en la vereda con al menos una cosechadora	(0,028)	(0,028)	(0,029)	(0,029)	(0,028)	(0,028)	(0,029)	(0,029)
	-0,195***	-0,196***	-0,186**	-0,188***	-0,197***	-0,199***	-0,186**	-0,188***
% de UPA en la vereda con servicio de alcantarillado	(0,072)	(0,072)	(0,073)	(0,073)	(0,072)	(0,072)	(0,073)	(0,073)
	0,015***	0,015***	0,012**	0,012**	0,015***	0,014***	0,012**	0,011**
% de inversión municipal destinada a servicio de acueducto	(0,005)	(0,005)	(0,005)	(0,005)	(0,005)	(0,005)	(0,005)	(0,005)
	-0,036**	-0,036**	-0,010	-0,014	-0,035**	-0,035**	-0,009	-0,013
% de UPA en la vereda constituidas como personas jurídicas o mixtas	(0,017)	(0,017)	(0,032)	(0,032)	(0,017)	(0,017)	(0,032)	(0,032)
	0,070***	0,071***	0,069***	0,070***	0,071***	0,071***	0,069***	0,070***
% de UPA en la vereda que les aprobaron un crédito o financiación	(0,005)	(0,005)	(0,006)	(0,006)	(0,005)	(0,005)	(0,006)	(0,006)
	0,013***	0,013***	0,015***	0,015***	0,013***	0,013***	0,014***	0,015***
Rezago Espacial % de inversión municipal destinada a construcción de vías)	(0,004)	(0,004)	(0,005)	(0,005)	(0,004)	(0,004)	(0,005)	(0,005)
					-0,093***	-0,093***	-0,088**	-0,086**
Rho	0,590***	0,590***			(0,030)	(0,030)	(0,037)	(0,037)
	(0,015)	(0,015)			0,592***	0,592***		
Lambda			0,628***	0,627***			0,629***	0,628***
			(0,016)	(0,016)			(0,016)	(0,016)
Constante	-0,440*	-0,442*	1,980***	1,869***	-0,434	-0,436*	2,034***	1,917***
	(0,264)	(0,264)	(0,376)	(0,370)	(0,264)	(0,263)	(0,377)	(0,370)
Observaciones	3.758	3.758	3.758	3.758	3.758	3.758	3.758	3.758
Log Verosimilitud	-8.715	-8.715	-8.740	-8.742	-8.710	-8.710	-8.737	-8.739

Errores Estándar entre paréntesis \*\*\* p<0,01, \*\* p<0,05, \* p<0,1

Elaboración propia; fuente: Censo Nacional Agropecuario – DANE y Consolidador de Hacienda e Información Pública (CHP) - Ministerio de Hacienda y Crédito Público

