

# Relación entre infraestructura vial y desarrollo económico en los municipios de Antioquia: aplicación espacial

Edilia Andrea Durango Agudelo<sup>1</sup>

Tutores: John Jairo García Rendón<sup>2</sup>

Hermilson Velásquez Ceballos<sup>3</sup>

## Resumen

Esta investigación explora la relación entre la inversión en infraestructura vial y el desarrollo económico de los municipios del Departamento de Antioquia, desde un enfoque de econometría espacial. La literatura dedicada al estudio de este fenómeno ha señalado con claridad, la estrecha y significativa relación entre la infraestructura vial y el crecimiento económico de las regiones, asumiendo que esta relación termina por generar desarrollo económico. Sin embargo, no presenta evidencia acerca de los eslabonamientos espaciales de estas variables, es decir, no se encuentra una aplicación de métodos espaciales que asuman el tema. Por tal razón, en este trabajo, se realiza un Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE), para la observación de estos efectos, al verificarse esto, se procede a usar un modelo de dependencia espacial sustantiva o de rezagos espaciales (SAR), como modelo confirmatorio. Los resultados validan la hipótesis de que hay una relación positiva y estadísticamente significativa entre la inversión en infraestructura vial y el desarrollo económico de los municipios de Antioquia (efectos directos) y de sus vecinos (efectos indirectos). Donde son las vías secundarias, conexiones viales entre municipios, las más representativas. Un plus en este escrito, es el cálculo del Índice de Desarrollo Municipal (IDM), el cual fue necesario construir, debido a que no existe uno, y se necesitaba en el modelo como variable dependiente.

**Palabras clave:** Desarrollo Económico, Enfoque Espacial, Infraestructura Vial

**Clasificación JEL:** O1, R4, C21

---

<sup>1</sup> Estudiante Maestría en Economía, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia, [edurango@eafit.edu.co].

<sup>2</sup> Doctor en Economía, profesor del Departamento de Economía de la Universidad EAFIT, Medellín-Colombia, [jgarcia@eafit.edu.co].

<sup>3</sup> Doctor en Ciencias Matemáticas, profesor del Departamento de Economía de la Universidad EAFIT, Medellín-Colombia, [evelas@eafit.edu.co].

## **Abstract**

This paper explores the relationship between the investments in road infrastructure economic development of municipalities in the Departamento de Antioquia, from a spatial econometrics approach. The literature devoted to the study of this phenomenon has clearly indicated the close and significant relationship between road infrastructure and economic growth of regions, assuming that this relationship ends up generating economic development. However, no evidence of spatial linkages of these variables, then is, is not an application of spatial methods adding up the issue. For this reason, in this work, an Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) for the observation of these effects to verified this is done; we proceed to use a Spatial Autoregressive Model (SAR) as confirmatory model. The results show that there is a positive and statistically significant relationship between road infrastructure and economic development of the municipalities of Antioquia (direct effect) and their neighbors (indirect effect). Where secondary roads, highway between municipalities. The most representative is the calculation of Municipal Development Index (MDI) is a plus in this paper, which was necessary to build, because it does not exist, and was needed in the model as a dependent variable.

**Keywords:** Economic development, Road Infrastructure, Spatial Approach.

## **1. Introducción**

En los últimos años se ha enfatizado en la inversión que hacen los entes territoriales y el gobierno central en la infraestructura vial del país. Inversión que se hace como un diseño de política social y económica para impulsar el crecimiento y desarrollo económico de los municipios. Sin duda alguna y, tal como lo muestra García (2007), la inversión en infraestructura vial tiene una relación directa con el crecimiento económico. Es decir, que tener más y mejores vías de acceso a los municipios, genera mayor participación de los mismos en el producto interno del país. Debido a que tiene efectos en la construcción, la reducción de tiempos de viaje, la disminución de costos productivos, la accesibilidad a los mercados, entre otros. Un ejemplo de ello, son las llamadas “Autopistas para la Prosperidad”.

En el marco del desarrollo económico, entendido como una mejora en el bienestar social y, medido como las oportunidades potenciales de las personas y la mejora en la calidad de vida (González y Bustamante, 2008). Se observa con la revisión de literatura que la mayoría de los estudios examinan el efecto sobre el crecimiento económico y no tanto a la de desarrollo económico. Es decir que, se ha destacado más por el estudio del crecimiento que por el desarrollo económico. Puede ser por el conflicto semántico que relaciona la posible vinculación entre estos dos términos.

La poca evidencia literaria, sobre todo para Colombia, del fenómeno que se pretende estudiar aquí, permite ver que tanto la economía general como su rama regional, estudian la importancia que tiene la infraestructura vial en el desarrollo económico a través de los métodos clásicos de la estadística y la econometría, pero no desde una perspectiva espacial. Esta investigación implementa dicha perspectiva, con la idea de mostrar la relación entre estas dos variables para el 2013<sup>4</sup>. Se parte de la hipótesis según la cual, la mayor densidad vial que posee un municipio, entre la red vial primaria, secundaria y terciaria, se encuentra directamente relacionado con su desarrollo económico, es decir que a mayor densidad vial, mejor será el desempeño en términos de bienestar socioeconómico. Además se piensa que dicho desarrollo, tiene efectos multiplicativos en los municipios vecinos. Por lo tanto, la pregunta a responder es ¿Qué incidencia tiene en el desarrollo económico de un municipio y sus vecinos, la conectividad vial intra e intermunicipal?

El objetivo de la presente investigación pretende resolver un aspecto no estudiado, desde el enfoque espacial y, es el de explorar la relación existente entre la inversión en infraestructura vial y el desarrollo económico de los municipios del departamento de

---

<sup>4</sup> Actualmente y con fines de publicación, se estiman modelos con más años en la muestra.

Antioquia. Para lograrlo, se establece una metodología que se construye en tres etapas. Primero, se establecen tres dimensiones, social, económica y ambiental, que den cuenta del desarrollo económico de los municipios objeto de estudio, de acuerdo a la definición del Banco Mundial. Segundo, y debido a que se usan datos georreferenciados, los cuales sugieren la existencia de repercusiones de tipo económico y social entre estos municipios, se realiza un Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE). Esta metodología permite tener una panorámica general de los municipios y su infraestructura vial, además de saber si existe dependencia espacial intra e intermunicipal. Por último, después de comprobar la dependencia espacial, se estima un modelo de retardo espacial (SAR) con datos para 2013, en función de variables relevantes sociodemográficas y económicas que expliquen la relación planteada.

El estudio está integrado por seis secciones, de las cuales esta introducción es la primera. En la segunda, se describe la estructura vial, como justificante a la relevancia de esta variable en la presente investigación. En la tercera se muestra la revisión de literatura, que da cuenta de los estudios internacionales y nacionales que han abordado, de algún modo, los objetivos que aquí se plantean. Finalizando, esta sección, con la hipótesis y su respectiva pregunta. En la cuarta parte se muestra la metodología, la cual consiste en las técnicas estadísticas y econométricas que dan sustento empírico a la propuesta. Exactamente, se propone y calcula un Índice de Desarrollo Municipal (IDM) para los municipios del departamento de Antioquia, se realiza un Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) y se estima el modelo Autorregresivo Espacial (SAR). En la quinta parte se esbozan los resultados más relevantes del proceso que se realiza para encontrar la relación entre las variables de interés y sus efectos espaciales. Finalmente se concluye.

## 2. Estructura vial

La oferta y la calidad de la infraestructura vial es uno de los componentes que más afecta las diferentes mediciones en materia de competitividad de cualquier país. En Colombia, por ejemplo, “estas son bastante deficientes y las mediciones a nivel internacional evidencian incluso un deterioro a lo largo de los años” (Informe de Competitividad, 2013, p. 110). Según, el Reporte Global de Competitividad (2007-2008) del Foro Económico Mundial, 65,6% de los países medidos se ubicaron en una mejor posición que Colombia en materia de infraestructura. Seis años más tarde, en el reporte de 2013-2014, este porcentaje se incrementó a 79,1%, ubicando al país en el puesto 117 entre 148 y en el 11° lugar entre 12 países de referencia. En 2013, el índice departamental de competitividad muestra que incluso en el contexto latinoamericano el país ocupa el puesto 15, lo cual muestra un gran rezago frente a la meta de convertirse en el tercer país más competitivo para el año 2032.

Para afrontar este retraso, el Gobierno Nacional ha planteado diversas soluciones. Una de ellas, es incrementar la inversión en infraestructura, al pasar de 1% al 3% del PIB. Estas exigencias del mejoramiento en infraestructura vial han influido en las estrategias de planeación del sistema de carreteras, a reorientar el desarrollo de estas, para favorecer una mayor integración de las regiones. La provisión eficiente de estos servicios es uno de los aspectos más importantes de las políticas de desarrollo, “se les percibe como motores clave para el desarrollo de *clusters*” (Garavaglia y Breschi, 2009, p. 95; Delgado et al. 2010, p. 496).

Las políticas encaminadas para este propósito han sido implementadas en el año 2003, con el proyecto denominado “Autopistas de la Montaña” que en la actualidad es desarrollado

bajo el nombre de “Autopistas para la Prosperidad”. En 2011, la Gobernación de Antioquia y la secretaría de infraestructura física realizaron un balance de estos proyectos, indicando que aún está en la fase inicial la consolidación del sistema de carreteras.

De esta manera, el problema no solo se enfoca en la construcción de nuevas vías, sino en el mantenimiento de las ya existentes. Tal como lo señala Villar (2014, p. 20), “los retos de desarrollo de la infraestructura de transporte en Colombia no son sólo los de las dobles calzadas y las conexiones entre las ciudades, y de éstas con los puertos, son también los retos asociados con el desarrollo de la red vial secundaria y terciaria como un elemento central para el desarrollo regional y rural y para la reducción de la pobreza en el campo”.

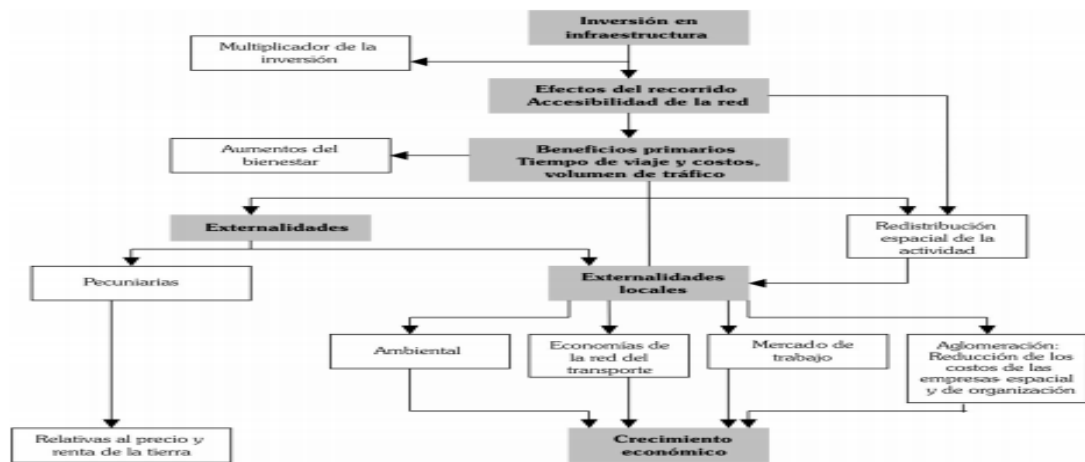
Entender la influencia que tiene para el desarrollo económico la mejora de la conectividad asociados con el desarrollo de la infraestructura vial en Antioquia, es el elemento central para mejorar el bienestar socioeconómico de los municipios. Un escenario con baja calidad y dificultad de accesibilidad a los municipios, favorece el patrón de bajos niveles de desarrollo económico y aislamiento territorial. Esto debido a que no solo obstaculiza el comercio intra e intermunicipal, limitando el acceso de nuevos agentes económicos a estos mercados y el aprovechamiento del potencial productivo territorial, acentuando las disparidades municipales en el departamento, sino también impide el crecimiento y desarrollo económico.

### **3. Revisión de Literatura**

El papel que la inversión en infraestructura vial tiene en el crecimiento y el desarrollo económico ha sido ampliamente analizado en la literatura económica, aunque los estudios se han concentrado más en el crecimiento que en el desarrollo económico. Puede ser por el

conflicto semántico que relaciona la posible vinculación entre estos dos términos. El foco central de esta investigación es examinar la relación entre la inversión en infraestructura vial y desarrollo económico, aunque es necesario tener en cuenta los indicadores de desempeño económico, dado que son variables muy asociadas que determinan el nivel del bienestar social. Efecto que se puede ver en el Esquema 1, realizado por García (2007). Este surge de la revisión de literatura, que se hace para mostrar la relación que hay entre inversión en infraestructura de transporte y crecimiento económico.

**Esquema 1.** Relación entre inversión en infraestructura de transporte y crecimiento económico



**Fuente:** Tomado de (García, 2007, p. 68)

Por su parte, Vickerman (2001), estipula que el efecto de la inversión en infraestructura debe analizarse en relación con su potencial contribución a la capacidad y eficiencia operacional del sistema, destacando las externalidades positivas, como el incremento en la productividad, la reducción de los costes de producción y un uso más eficiente de los recursos.

Short y Kopp (2005) consideran que la infraestructura de transporte es un activo social y económico vital que estructura el espacio, determina la movilidad e influencia los flujos comerciales. Al igual que Berechman (2002), el problema a que se enfrentan los individuos consiste en la congestión y la pérdida de tiempo, donde la infraestructura mejora la accesibilidad y alivia la congestión.

En Colombia se destaca los trabajos realizados por FEDESARROLLO, que estimó un IDH, para aplicarlo a Santa Fe de Bogotá y Medellín. También Ramírez y Velázquez (1996), analizan el IDH y lo contrasta con crecimiento económico, aplicándolo para las cuatro ciudades más grandes de Colombia. Por su parte, Roa (2015), presenta una medida sintética de ciertas dinámicas municipales asociadas al desarrollo, ordena jerárquicamente a las metrópolis y municipios colombianos, a través del cálculo del índice alternativo de desarrollo municipal, a partir de las fragilidades y resistencias del territorio colombiano.

La nueva geografía económica proporciona un enfoque integrado y micro de la economía espacial que, a su vez, ayuda a fundamentar el análisis de datos espaciales. Se destaca el papel de la agrupación de fuerzas en la generación de una distribución desigual de ingresos y actividad económica, a través del espacio (Venables, 2000; Krugman, 1991; Fujita y Krugman, 2000). Aunque la econometría espacial es una rama econométrica relativamente joven, la complejidad del análisis espacial ha sido uno de los principales obstáculos para la aplicación en estudios empíricos. La gran dificultad radica precisamente en que esas relaciones espaciales que pueden originarse en un mercado tienen un carácter multidireccional dado que, como lo indica Chasco (2003), no sólo se tienen relaciones unilaterales o bilaterales, sino una red de interacciones complejas entre los distintos agentes o puntos de interés.



La mayoría de libros de texto tales como Goldberger (1991), Greene (1993), Davidson y MacKinnon (1993), Kennedy (1998), Ruud (2000), Hayashi (2000), por citar algunos, no mencionan la posibilidad de autocorrelación espacial en datos de corte transversal (para este tipo de datos el principal problema que los textos destacan es la heterocedasticidad). Sin embargo, otras áreas científicas como la geología, ecología, epidemiología han incorporado el tratamiento de dependencia espacial como sumamente relevante (véase Fischer y Getis, 2010). En geografía, la primera ley establecida por Tobler (1979) destaca que “todo está relacionado con todo, pero las cosas próximas están más relacionadas que las distantes”, dejando claro que la dependencia espacial es más una norma que una excepción.

Se puede ver que tanto en la literatura económica como regional, se realizan estudios de la importancia que tiene la infraestructura vial en el desarrollo económico a través de los métodos clásicos de la estadística y la econometría, pero pocos desde una perspectiva espacial. Esta investigación considera dicho enfoque, con el objetivo de mostrar la relación entre estos dos aspectos. Se parte de la hipótesis según la cual, la mayor densidad vial que posee un municipio, entre la red vial primaria, secundaria y terciaria, se encuentra directamente relacionado con su desarrollo económico, es decir que a mayor densidad vial, mejor será el desempeño en términos de bienestar socioeconómico. Por lo tanto, la pregunta a responder es ¿Qué incidencia -tiene- en el desarrollo económico de un municipio y sus vecinos, la conectividad vial intra e intermunicipal?

#### **4. Metodología y datos**

Tal como se mostró en la introducción, esta investigación trata de mostrar la relación que existe entre inversión en infraestructura vial y el desarrollo económico de los municipios de Antioquia. Para lograrlo, se utilizan datos georreferenciados, los cuales sugieren la existencia de repercusiones de tipo económico y social entre estos municipios. La metodología está dividida en tres fases. En la primera, *fuentes de información y variables*, se explica la procedencia y el manejo de los datos. Además se construye un Índice de Desarrollo Municipal (IDM) que muestra el impacto de variables sociales, económicas y ambientales sobre el desarrollo económico de cada uno de los 125 municipios del Departamento de Antioquia. En la segunda, *análisis exploratorio espacial*, se realiza un análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE), como herramienta descriptiva, que permita identificar eventuales patrones y sugerir hipótesis sobre posibles relaciones espaciales entre las variables involucradas, tal como lo sugiere Baronio, Vianco y Rabanal (2012). En la última, *análisis confirmatorio*, se estima un modelo econométrico de rezago espacial (SAR), para testear mediante la evidencia empírica las relaciones existentes entre las variables para responder a la pregunta de investigación. Vale la pena anotar que antes se realizó la prueba de Moran para decidir qué modelo utilizar.

#### **4.1. Fuentes de Información y Variables**

Los datos utilizados en el estudio fueron recopilados de las siguientes fuentes. La variable dependiente, *índice de desarrollo municipal*, se calculó teniendo como referencia el Índice de Desarrollo Municipal Básico –IDMb– de México, con datos del Anuario Estadístico de Antioquia. La principal variable explicativa, *densidad vial*, se obtuvo de la Secretaría de Planeación Departamental. Las demás variables para este estudio, fueron extraídas del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Estos datos tienen una periodicidad anual, para los 125 municipios de Antioquia y el periodo corresponde a 2013.

A continuación se definen las variables más relevantes y se explica el efecto de la densidad vial sobre el desarrollo económico.

#### 4.1.1. Desarrollo Económico

El desarrollo económico es un concepto que relaciona tanto la evolución económica como las consecuencias sociales de una población. Existen múltiples definiciones; para efectos de este estudio, se utiliza la que propone el Banco Mundial, el cual lo define como “el cambio cualitativo y la reestructuración de la economía de un país en relación con el progreso tecnológico y social.” Para diferenciarlo del crecimiento económico que se define como “Cambio cuantitativo o expansión de la economía de un país.” (Banco Mundial, 2007).

#### 4.1.2. Índice de Desarrollo Municipal (IDM)

El objetivo central del desarrollo económico es beneficiar a las personas, por ello la participación de estas, es crucial para aumentar el desarrollo local de cada municipio. Pero no solo depende de estos agentes económicos, también es necesaria la participación de otros agentes, tales como las instituciones gubernamentales. Así, el IDM incorpora variables socio-económicas e indicadores ambientales, que se pueden describir en tres dimensiones ( $d$ ). Matemáticamente el IDM viene dado por<sup>5</sup>:

$$IDM_i = \sum_{d=1}^3 \frac{IDM \text{ por dimension } d}{3} \quad i = 1, 2, \dots, 125 \quad (1)$$

---

<sup>5</sup> Este cálculo está basado en el trabajo de Martínez et al., (2008). En este se muestra en detalle la metodología empleada.

donde las dimensiones aplicadas son la social, la económica y la ambiental. El IDM se interpreta con valores entre cero y uno, siendo la proximidad a uno el valor que representa mayor nivel de desarrollo municipal y, por el contrario, cuando es cercano a cero el de menor nivel de desarrollo.

En el Cuadro 1 se presentan cada una de las variables utilizadas para calcular el Índice de Desarrollo Municipal (IDM).

**Cuadro 1.** Dimensiones del IDM

Tipo de dimensión	Variables	Relación con el IDM
Social	Tasa bruta de mortalidad- TBM	-
	Tasa bruta de escolaridad- TBE	+
	Tasa de mortalidad infantil- TMI	-
	Densidad poblacional- DP	+
Económica	Cobertura energía eléctrica-CEE	+
	valor agregado- VA	+
	Inversión- INV	+
Ambiental	Cobertura de viviendas de acueducto-CRAC	+
	cobertura de viviendas con agua potable- CRAP	+
	Cobertura de viviendas de con alcantarillado- CRALC	+
	Indicador de la capacidad de agua disponible en el suelo utilizada por las plantas para su crecimiento y producción.- EVATR	+

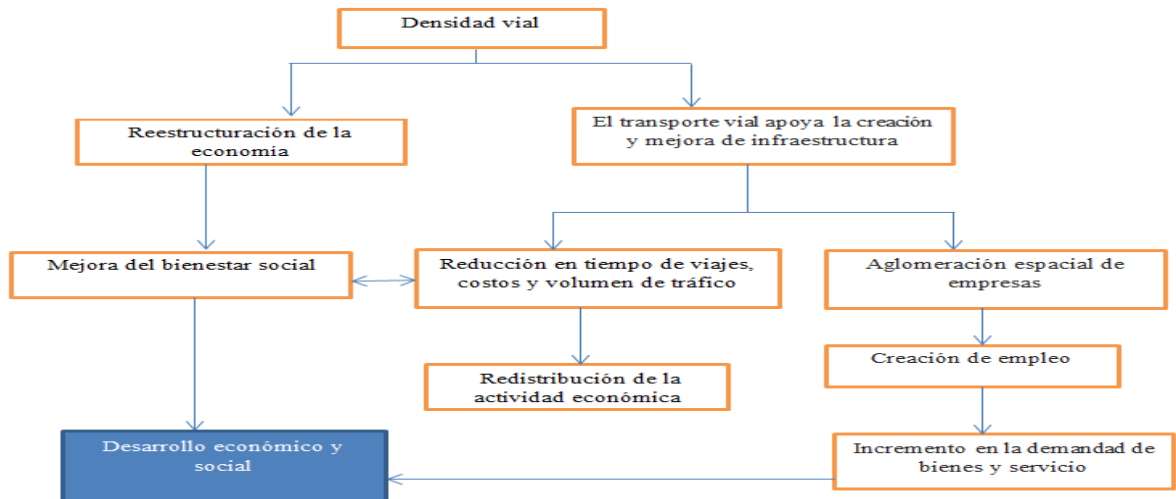
**Fuente:** Construcción propia a partir de Martínez et al, (2008)

### **4.1.3. Densidad vial**

La densidad vial municipal (variable independiente) es un indicador de cantidad, que mide la proporción de kilómetros lineales de carretera por kilómetro cuadrado, este dato sirve para determinar el desarrollo de la infraestructura vial de un municipio y su accesibilidad. El objetivo es cuantificar el porcentaje de vías existentes por unidad de área, que mide la construcción de vías de comunicación con respecto al espacio, además genera información tendiente a mejorar los niveles de movilidad y accesibilidad. Estudios de urbanidad catalogan este indicador como clave para el desarrollo económico y social, tal como lo muestra el Esquema 2. El transporte vial apoya la creación de infraestructuras y tiene un papel importante en el desarrollo y la creación de empleo.

La importancia de la densidad vial, se da, tanto para la calidad de vida de los ciudadanos como para las actividades económicas. La mayoría de la movilidad de personas y de los productos se realiza a través de automotores, de modo que la red de las carreteras aumenta la capacidad de viajar tanto por razones laborales como, por ejemplo, por turismo. En el caso de las grandes empresas, la red vial, facilita el transporte de las materias primas, pero sobre todo el transporte del producto final hacia los consumidores.

**Esquema 2.** Relación entre infraestructura vial y desarrollo económico



**Fuente:** Elaboración propia, basada en García (2007)

#### 4.2. Análisis exploratorio espacial

El desarrollo económico de un municipio, no solamente depende de las políticas sociales y económicas que se desprendan de él, sino que también puede estar explicado por políticas de los municipios que tienen algún tipo de vinculación con este. Es decir, que “al utilizar información georreferenciada surge el interrogante sobre si se encuentra algún tipo de dependencia espacial entre los datos” (Bohórquez y Velázquez, 2008, p. 12). De esta manera, el uso de estadísticas espaciales permite la visualización y exploración de datos espaciales, técnica que sirve para identificar la presencia de observaciones de dependencia en el espacio (Bivand, 1998). Por lo tanto este estudio inicialmente realiza un Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE).

Usualmente este método se aplica para datos tipo *lattice* o *vector*, y recurre a herramientas como el Box Map (para detectar la ubicación de datos atípicos en el mapa), el diagrama de

dispersión de Moran (para detectar la dirección, positiva o negativa, de la dependencia espacial), y los índices locales de asociación espacial (LISA) representados principalmente por el índice local de Moran, que permite identificar agrupaciones de municipios en el espacio de acuerdo a una característica (variable) de interés.

El presente estudio se remite al análisis de puntos georreferenciados, con el interés de encontrar patrones espaciales de la densidad vial y la relación con el desarrollo económico, además de controlar por otras variables económico-sociales para los 125 municipios del departamento de Antioquia, en un contexto de espacio discreto. En este punto es conveniente distinguir entre el espacio discreto y el continuo así como las técnicas estadísticas adecuadas para ambos casos. El espacio discreto requiere el uso de unidades espaciales previamente delimitadas, que en general son unidades administrativas, esto no es un requisito para el caso de espacio continuo (Feser y Sweeney, 2002).

También pueden diferenciarse las estadísticas globales de las locales. Si bien los indicadores globales como Moran's I o Geary's C, aportan información acerca de las tendencias generales de la aglomeración, no proporcionan datos de la ubicación. A su vez, los indicadores locales permiten la identificación y visualización de pautas de asociación locales (puntos calientes) y dejan margen para las inestabilidades locales en la asociación espacial general (Anselin, 1995).

La manera en la cual el diagrama de dispersión de Moran y los indicadores locales y globales de asociación incorporan el espacio o la interacción entre municipios es a través de la construcción de un conjunto de pesos espaciales (matriz de pesos espaciales o matriz de proximidad espacial), generalmente se construye a través de un criterio de vecindad tipo reina, en el cual se consideran como vecinos de una población aquellas que compartan frontera. Esta matriz esta simbolizada con  $W$ , es una matriz cuadrada de  $N \times N$  (siendo  $N$  el

número de unidades espaciales), no estocástica cuyos elementos ( $w_{ij}$ ) reflejan la intensidad de la interdependencia entre cada par de regiones  $i,j$  (Moreno y Vayá, 2000).

En este estudio se construye la matriz bajo el criterio de contigüidad real, ya que se utiliza los datos georreferenciados de las vías. Asume los siguientes valores  $w_{ij} = 1$ , si los municipios comparte la red vial primaria o secundaria y  $w_{ij} = 0$ , en caso contrario. Las ventajas de esta matriz es que recoge efectivamente las posibles relaciones entre los municipios al ser construida a partir de una contigüidad real, mostrando efectivamente el acceso entre los municipios.

El índice local de Moran viene dado por la siguiente expresión:

$$I_i = \frac{z_i}{m} \sum_{i \neq j} w_{ij} z_j \quad \text{con } m = \sum_{j=1}^n \frac{z_j^2}{n} \quad (2)$$

donde  $z_i$  es la desviación de la variable de interés respecto a la media,  $w_{ji}$  es un peso especial que pondera la relación entre el municipio  $i$  y  $j$ , que se calcula como se indicó anteriormente. Las variables a analizar mediante este índice y la metodología AEDE serán variables que den cuenta del nivel de prosperidad de los municipios en cuestión.

### **4.3. Estimación del modelo**

Si al realizar el AEDE, se evidencia dependencia espacial, se procede a la última fase metodológica, consistente en la estimación del modelo confirmatorio. Es decir que, una vez detectada la importancia de las variables espacialmente, se introduce los efectos espaciales



en la especificación del modelo. Para ello, primero se estima un modelo de regresión lineal simple por MCO. Representado así:

$$IDM_i = f(DENS1_i, DENS2_i, DENS3_i, PARCS_i, u) \quad (3)$$

donde  $i$  hace referencia a un municipio determinado de los 125 pertenecientes al Departamento de Antioquia. La explicación, referente a las densidades se puede ver en el Cuadro 2.

Una vez detectada la posible estructura espacial, surge el problema de cómo estimar este tipo de modelo. Las alternativas de estimación han sido tradicionalmente de dos tipos. La primera es por máxima verosimilitud,  $MV$ , asumiendo distribución normal de la perturbación aleatoria. La otra es por variables instrumentales o, su versión generalizada, método de momentos generalizado,  $GMM$ , que recurre a la teoría asintótica sin necesidad del supuesto de normalidad (Herrera, 2015).

La literatura sobre econometría espacial ha desarrollado modelos que tratan tres tipos diferentes de efectos de interacción entre las unidades; la interacción endógena, efectos entre la variable dependiente; los efectos exógenos de interacción entre las variables explicativas; y los efectos de interacción entre los términos de error. En este caso, el modelo a estimar es el modelo de dependencia espacial sustantiva (SAR), que posee la siguiente especificación:

$$y = \rho W y + X\beta + \mu \quad (4)$$

donde  $\rho$  es un parámetro espacial autoregresivo,  $\mu$  es un vector de errores de dimensión  $(N \times 1)$  y  $\mu \sim N(0, \sigma^2 I_N)$ . Hay que tener presente los efectos de desbordamiento o contagio que según LeSage & Pace (2009), se deben a la presencia de  $W$  y (efecto global) y  $WX$  (efecto local). El *efecto directo* será igual al que surge en el modelo *SDM*, pero el *efecto indirecto* se torna más simple conteniendo solo efectos globales.

En el Cuadro 2 se presenta las variables consideradas en el modelo, el tipo de variable, la unidad de medida y la definición. El signo esperado de todas las variables es positivo, es decir, se espera que tengan una relación directa con el desarrollo económico.

**Cuadro 2.** Análisis de variables del modelo confirmatorio

Tipo de variable	Nombre de la variable	Unidad de medida	Definición
Dependiente	Índice de desarrollo municipal – IDM	%	Mide el progreso de un municipio en 3 dimensiones
Independiente	Infraestructura vial: 1. Densidad 1 – DEN1 2. Densidad 2 – DEN2 3. Densidad 3 – DEN3	$\frac{m}{km^2}$	1. Conecta a los principales centros de producción y consumo. Se caracteriza por estar a cargo del Estado. 2. Genera interconexión municipal. A cargo del Departamento. 3. conecta la cabecera municipal con la zona rural. A cargo del municipio.
Variable de control	Población afiliada al régimen contributivo de salud – PARCS		Número de personas afiliados al Sistema General de Seguridad Social en Salud,

**Fuente:** Construcción propia

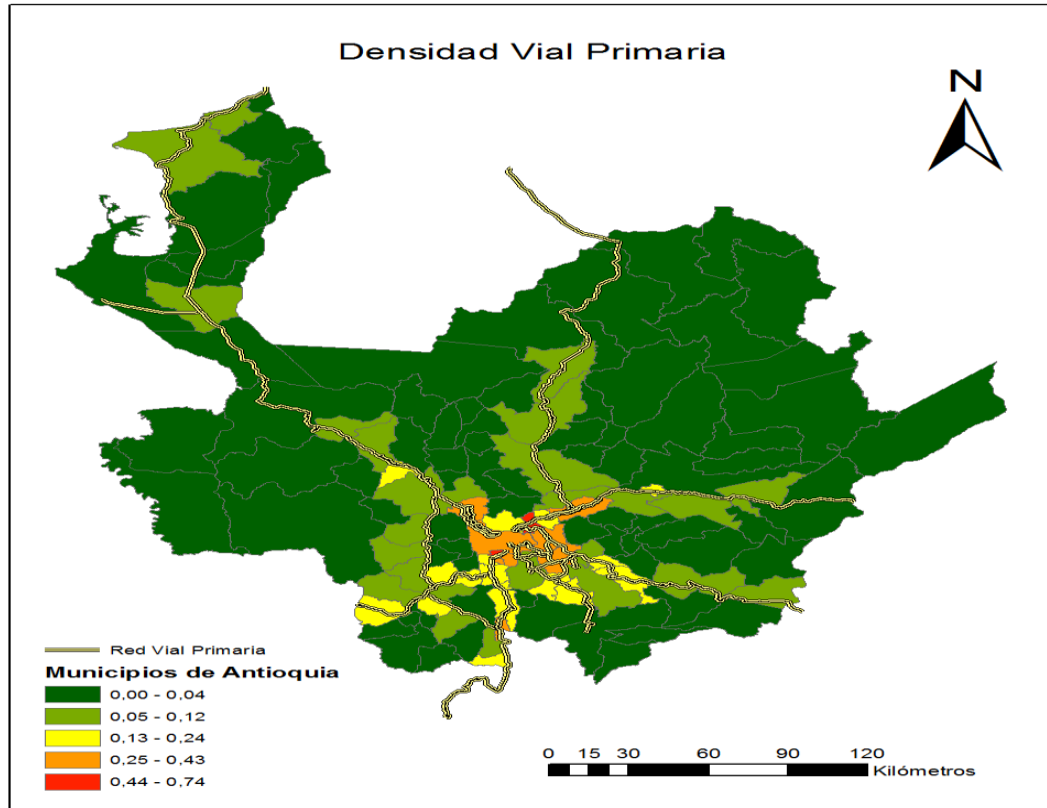
## **5. Resultados**

A continuación se presentan los resultados del análisis exploratorio de datos espaciales además de las significancia de las variables y, la estimación del modelo confirmatorio.

### **5.1. Análisis de densidad Vial y los mapas de cuantiles: primaria, secundarias y terciarias**

En el análisis de densidad vial se observa la composición de las vías en el departamento de Antioquia, en el Mapa (1) se presenta la densidad vial primaria del departamento. Como puede apreciarse, su distribución muestra la conexión del centro económico del departamento con sus principales subregiones.

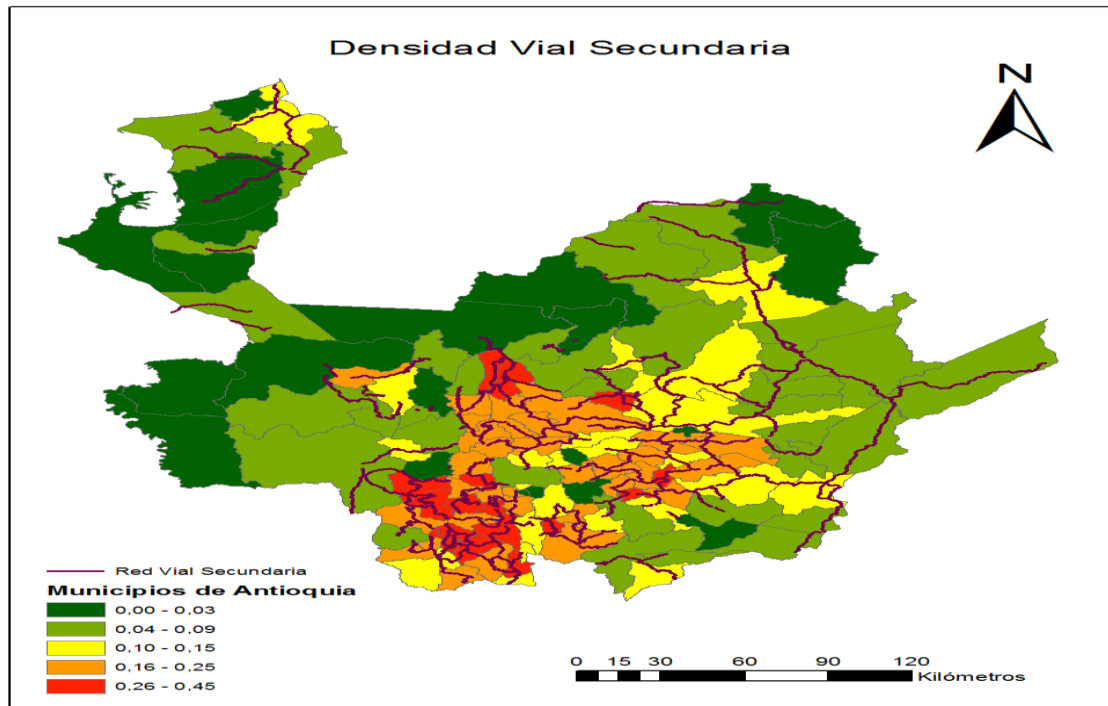
**Mapa 1.** Densidad de Vías Primarias en Antioquia



**Fuente:** Cálculos Propios

El Mapa (2) exhibe las densidades viales secundarias del departamento. A grandes rasgos puede apreciarse que la densidad es más alta en el suroeste y todos los municipios que rodean el área metropolitana. Ahora, es de tener en cuenta que esto se debe también a que son estos municipios los que tienen un área más pequeña, lo que ayuda a que la variable tenga valores altos.

**Mapa 2.** Densidad de Vías Secundarias

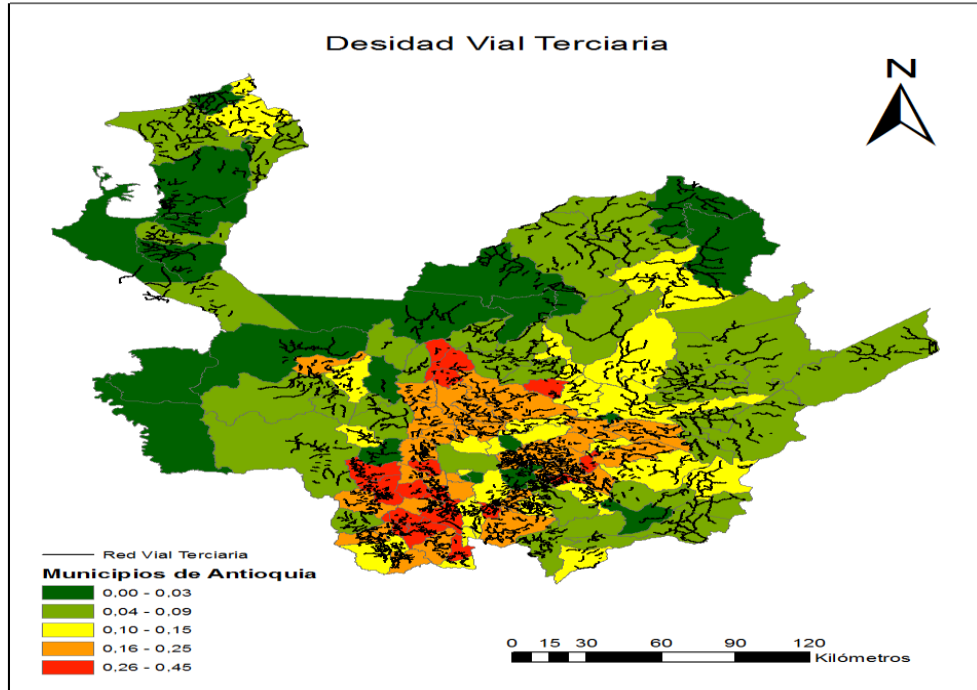


**Fuente:** Cálculos Propios

El Mapa (3) presenta la densidad de vías terciarias; se destaca la subregión del suroeste antioqueño como una de las de mayor densidad vial, podría deberse que históricamente al ser una región cafetera, se construyeron muchas vías para lograr sacar el producto, además que en algún tiempo la federación invirtió mucho en este tipo de infraestructura. Por ejemplo, la subregión del Urabá presenta una menor densidad vial promedio en el departamento como se puede apreciar en el mapa.



**Mapa 3.** Densidad de Vías Terciarias



**Fuente:** Cálculos Propios

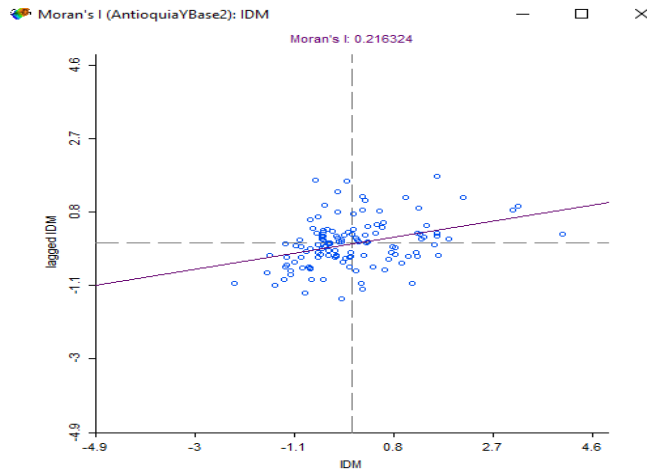
Explicar la relación existente entre el sistema vial del departamento y la distribución de sus principales indicadores socio-económicos, constituye una importante fuente de información no solo para la política pública, sino para la evaluación empresarial de ubicación, teniendo en cuenta los futuros proyectos viales del departamento y del país.

## **5.2. Diagrama de dispersión de Moran y estadísticas descriptivas**

En este tipo de reporte se observa en la parte superior del diagrama de dispersión el valor del estadístico de prueba I de Moran. El diagrama divide al Gráfico en cuatro cuadrantes

respecto al valor promedio: valores altos o del índice de desarrollo económico con valores bajos de sus vecinos que en promedio tienen bajos valores de desarrollo (Alto-Bajo).

**Gráfico 1.** Diagrama de dispersión de Moran



**Fuente:** Cálculos Propios

A pesar de que el test de Moran, Cuadro 3, muestra que no hay autocorrelación espacial entre las variables, el modelo que recoge de manera más adecuada la relación con los datos es un modelo tipo SAR, cuya especificación aparece en la ecuación (4).

**Cuadro 3.** Test de Moran

<b>Hipótesis</b>	
Ho: Error has No Spatial AutoCorrelation	
Ha: Error has Spatial AutoCorrelation	
Moran MI Error Test	11,255
P-Value > Z	0.2604
GLOBAL Geary GC	0.8743
P-Value > Z	0.1674

**Fuente:** construcción propia



### 5.3. Estimaciones e interpretación

El cuadro 4 muestra los resultados obtenidos de las estimaciones. En primera instancia estas cumplen con los supuestos teóricos y estadísticos planteados. Además los coeficientes en los dos modelos, en el lineal y el SAR, son estadísticamente significativos y los signos de los coeficientes de cada uno de ellos son acorde con los propuestos en el análisis teórico, es decir se mantienen los signos esperados de las variables explicativas, lo que confirma la hipótesis de este trabajo: existe una relación positiva entre la infraestructura vial y el desarrollo económico.

Los coeficientes beta básicamente sirven para eliminar el problema de unidad de medida de las variables. Así, se puede ver directamente cuál de las variables tiene un efecto mayor sobre la variable dependiente, en este caso el desarrollo económico. Se puede notar que DEN2, es decir, la densidad de la red vial secundaria es la que mayor efecto tiene en el desarrollo municipal, seguida por la terciaria, la densidad vial primaria la que presenta menor efecto. No obstante, este resultado es paradójico en la medida que está diciendo que de los tres tipos de vías, las que comunican con el centro económico son las que tienen un menor efecto. Aunque es un efecto que puede justificarse ya que cada región tiene su propio centro económico. Por ejemplo, el centro económico del Nordeste Antioqueño que incluye municipios como Valdivia, Briseño, entre otros, es el municipio de Yarumal.

En el modelo SAR, se puede ver que el efecto de las variables disminuye con la estimación de este, lo que indica que con la inclusión de la matriz de contigüidad y el rezago espacial de la variable dependiente se están corrigiendo posibles problemas de variables omitidas, que mejoran la estimación. También se puede notar que el coeficiente del rezago espacial es positivo y estadísticamente significativo, mostrando que el mejoramiento del nivel de

desarrollo de algunos municipios se ve impulsado por estar rodeado de otros municipios que en promedio también tienen un buen nivel de desarrollo, efectos spillover.

**Cuadro 4.** Estimación econométrica

MODELOS					
VARIABLES	MCO	MCO BETA	SAR	SAR BETA	SAR GMM
IDM (endógena)					
DEN1	0.267*** (0.0900)	0.4054881	0.133* (0.0756)	0.0475	0.200** (0.0858)
DEN2	0.566*** (0.0994)	0.7598004	0.384*** (0.0842)	0.2558	0.478*** (0.0937)
DEN3	0.179*** (0.0459)	0.5279634	0.0892** (0.0392)	0.1282	0.149*** (0.0438)
PARCS	2.16e-07*** (7.45e-08)	0.421422	2.37e-07*** (6.05e-08)	0.0282	2.37e-07*** (7.00e-08)
Observations	125	125	125		125
R-squared	0.698	0.698	0.7602		0.6798
Rho			0.106*** (.0145046 )		
Sigma			0.0961*** (0.00613)		
Errores estándar entre paréntesis.*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1					

**Fuente:** Construcción propia

En el Cuadro 5 se presentan las hipótesis planteadas del modelo, los p-valores muestran que luego de haber estimado el modelo SAR, ya no hay efectos espaciales testados mediante el término de error. En el análisis de las hipótesis, los resultados indican que la estimación pasa las pruebas de diagnóstico estándar, en general se encuentra que la estimación pasa

las pruebas de heteroscedasticidad y normalidad, evidenciando que el modelo está bien estimado.

**Cuadro 5. Hipótesis**

<b>Hipótesis</b>	
Ho: Homoscedasticity Ha: Heteroscedasticity	
White Test –Koenker	17,835
P-Value	0.2154
White Test -B-P-G	195,268
P-Value	0.1458
Ho: Normality Ha: Non Normality	
Jarque-Bera LM Test	28,621
P-Value	0.2391
Anderson-Darling Z Test	0.4030
P-Value	0.6377
Ho: Error has No Spatial AutoCorrelation Ha: Error has Spatial AutoCorrelation	
Moran MI Error Test	0.0317
P-Value	0.5250
GLOBAL Geary GC	0.9822
P-Value	0.8476
Ho: Homoscedasticity Ha: Heteroscedasticity	
Hall-Pagan LM Test	1.8935
P-Value	0.1688
White Test -B-P-G	5.9154
P-Value	0.2056

**Fuente:** Construcción propia

Los efectos marginales de los modelos se presentan en el Cuadro 6, donde se puede observar que variaciones en cualquiera de las tres densidades viales y la variable PARCS, aumenta positivamente el desarrollo económico municipal. Obsérvese que, consistente con lo que se ha mostrado, la densidad dos es la que más efecto muestra en la variable dependiente. En el modelo SAR GMM genera un cambio aproximado de 0,3184 sobre el desarrollo económico municipal, superior a las demás variables explicativas.

**Cuadro 6.** Elasticidades

Variables	Modelo lineal			Modelo SAR GMM		
	Std. Err.	P>t	ey/ex	Marginal-Effect(B)	Elasticity(E)	Mean
DENS1	0.0288995	0.000	0.1257903	0.2002	0.0717	0.0705
DENS2	0.0702727	0.000	0.4684672	0.477	0.3184	0.1312
DENS3	0.0746545	0.000	0.3709814	0.1487	0.2137	0.2828
PARCS	0.0079774	0.000	0.0347611	0	0.0282	23365.512

**Fuente:** Construcción propia

Por último en el Cuadro 7, se identifica los efectos marginales espaciales de cada una de las variables. Según LeSage et al., (2008) este tipo de modelos puede descomponer sus efectos marginales en tres tipos. El primero está relacionado con el impacto directo de un cambio en  $x_{ir}$  en la observación  $y_i$ , el segundo tipo corresponde a los efectos indirectos de la  $x_{jr}$  en  $y_i$ , y el tercer tipo de efecto marginal es la suma de estos dos efectos. Los primeros indican el efecto que tiene el nivel de densidad vial del municipio, en el mismo. Mientras que los segundos es el efecto que tiene la densidad vial del municipio sobre sus vecinos. Así, se observa que los efectos directos son mayores a los indirectos.

En detalle, se puede ver que el mayor desarrollo económico es explicado por la densidad vial dos, es de 0,1396. El efecto que tiene en sus vecinos cercanos de 0,1024. Esto muestra

que son las conexiones viales intermunicipales, carreteras que conectan a las cabeceras municipales, las que más inciden en el desarrollo de un municipio y el de sus vecinos. También se puede ver que, la variable PARCS, no es muy significativa en la explicación del desarrollo municipal<sup>6</sup>.

**Cuadro 7.** Efectos: directos, indirectos y totales.

Variables	Efectos de la estimación			
	Total	Directo	Indirecto	Mean
DENS1	0.0449	0.0259	0.019	0.0705
DENS2	0.242	0.1396	0.1024	0.1312
DENS3	0.1213	0.07	0.0513	0.2828
PARCS	0.0267	0.0154	0.0113	23,365.12

**Fuente:** Construcción propia

## 6. Conclusiones

Los resultados del modelo permiten concluir a favor de la hipótesis principal del trabajo, es decir que, la inversión en infraestructura vial incide en el desarrollo económico de cada uno de los 125 municipios del departamento de Antioquia. Se pudo ver como se mantuvo el signo de los coeficientes para cada uno de los modelos, independientemente de si se usaba la versión estándar o espacial. Estas estimaciones muestran una relación estable al cambiar de diversos factores en la regresión, tal como la técnica de estimación de la elección de la matriz de ponderación. Como podemos ver, el test de Moran acepta la hipótesis nula de no autocorrelación espacial, pero si muestra causalidad entre las variables, razón por la cual se estimó un modelo SAR.

---

<sup>6</sup> Otras variables que se usaron no mostraron significancia.

La importancia de las variables consideradas, aumenta cuando se realizan las regresiones espaciales. Esto podría indicar que no tener en cuenta la dependencia espacial de los municipios estaba afectando la regresión estándar. Además, el coeficiente que mantiene el efecto del retardo espacial de la variable dependiente ( $\rho$ ), resulta estadísticamente significativo y positivo, lo que implica que el desarrollo municipal tiene una dependencia espacial positiva para el periodo de estudio; en otras palabras, la probabilidad de un aumento en el índice de desarrollo municipal es positiva y está directamente relacionada con la existencia de sus conexiones viales.

La densidad dos, que se refiere a la conexión vial entre cabeceras municipales, es la que mayor efecto tiene en el desarrollo de los municipios objeto de estudio. Es decir que, son las vías intermunicipales las que más inciden en el desarrollo de los municipios. Aunque desde las teorías del desarrollo económico, se debería encontrar que la densidad vial uno, es la que tenga más relevancia. Es decir que se esperaría que las conexiones viales entre los municipios con el área metropolitana del Valle de Aburrá fueren las que jalonaran su economía. Así, se puede manifestar que el desarrollo económico de los municipios depende más de sus centros económicos regionales y de los logros de sus vecinos, que del centro económico departamental.

Por otra parte, esta investigación destaca el cálculo del Índice de Desarrollo Municipal (IDM), partiendo de la premisa que es una herramienta útil como primer elemento de diagnóstico del grado de desarrollo de los municipios. El análisis de las dimensiones por separado y la comparación entre ellas es importante para detectar los puntos fuertes y los puntos críticos. Por lo tanto, si se busca un progreso sostenible, es necesario implementar

políticas integrales orientadas en la mejora de las dimensiones que busquen acotar las desigualdades en la búsqueda de la elevación de los niveles de bienestar.

De esta manera, explicar la relación existente entre el sistema vial del departamento y la distribución de sus principales indicadores socio-económicos, constituye una importante fuente de información no solo para la política pública, sino para la evaluación empresarial de ubicación, teniendo en cuenta los futuros proyectos viales del departamento y del país.

## **Bibliografía**

- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis*, 27(2), 93-115.
- Anselin, L., Bera, A., Florax, R., & Yoon, M. (1996). Simple diagnostic tests for spatial dependence. . *Regional Science and Urban Economics*, 26(1), 77.
- Banco mundial, (2007). Definición obtenida, <http://www.bmundial.com>, consultado el 15 de abril de 2016.
- Baronio, A., Vianco, A., & Rabanal, C. (2012). Una Introducción a la Econometría Espacial: Dependencia y Heterogeneidad. *Catedra de econometría*.
- Berechman, J. (2002) Transport investment and economic development: is there a link? *Transport and Economic Development*, ECMT, Round table 119, OECD, Paris, p. 103-138.
- Benhabib, J., & Spiegel, M. M. (1994). The role of human capital in economic development evidence from aggregate cross-country data. *Journal of Monetary economics*, 34(2), 143-173.
- Bivand, R. S. (1998). A review of spatial statistical techniques for location studies.
- Bohórquez, I. A., & Ceballos, E. V. (2008). Algunos conceptos de la econometría espacial y el análisis exploratorio de datos espaciales. *Ecos de Economía*, 12(27), 9-44
- Consejo Privado de Competitividad. (2013). Informe Nacional de Competitividad 2013-2014. Bogotá, D.C: Consejo Privado de Competitividad.
- Consejo Privado de Competitividad y Universidad del Rosario (2013). Índice Departamental de Competitividad 2013. Bogotá, D.C.

- Delgado, M., Porter, M. E., & Stern, S. (2010). Clusters and entrepreneurship. *Journal of Economic Geography*, 10(1), 1-17.
- Escobal, J. &. (2002). El beneficio de los caminos rurales: ampliando oportunidades de ingreso para los pobres. *Grade*.
- Fischer, M. y A. Getis (eds) (2010). Handbook of Applied Spatial Analysis. Software Tools, Methods and Applications. Berlin: Springer-Verlag.
- García, J. (2007). ¿Existe una relación entre inversión e infraestructura de transporte y crecimiento económico? *Ecos de Economía*, 11(25), 1-17.
- Garavaglia, C., & Breschi, S. (2009). The co-evolution of entrepreneurship and clusters. In *Growth and innovation of competitive regions* (pp. 95-116). Springer Berlin Heidelberg.
- Gobernación de Antioquia. Departamento Administrativo de Planeación. Anuario Estadístico de Antioquia, 2013 [Recurso electrónico] Medellín: Departamento Administrativo de Planeación, 2014.
- González, J. A. Y., Bustamante, S. M., & Falcón, S. M. (2008). Análisis de Desarrollo Económico Regional, Período 1982-2012. Universidad de Talca. Chile
- Gwilliam, K. M. (1998). La economía del transporte y el desarrollo. En *Desarrollos recientes en economía del transporte* (pp. 393-471). Editorial Civitas.
- Herrera, M. (2015). Econometría espacial usando Stata. Breve guía aplicada para datos de corte transversal. *Documentos de Trabajo del IELDE*, 13.
- Martínez Pellégrini, S., Flamand, L., & Hernández, A. (2008). Panorama del desarrollo municipal en México: Antecedentes, diseño y hallazgos del Índice de Desarrollo Municipal Básico. *Gestión y política pública*, 17(1), 145-192.
- Moran, P. (1948). The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal statistical society B*, 10, 243-25.
- Moreno, R. &. (2000). Técnicas econométricas para el tratamiento para datos espaciales: La econometría espacial. Barcelona: ediciones Universidad Barcelona.
- Moreno, R. (1998). Infraestructuras, Externalidades y crecimiento regional. Algunas aportaciones para el caso español. . *Tesis doctoral, universidad de Barcelona*.
- Ozbay, K., Ozmen-Ertekin, D., & Berechman, J. (2003). Empirical analysis of relationship between accessibility and economic development. *Journal of Urban Planning and Development*, 129(2), 97-119.
- Paelinck, J., Mur, J., & Trívez, F. (2015). Modelos para datos espaciales con estructura transversal o de panel. *Estudios De Economía Aplicada*, 33, 7-30. doi:1133-3197



- Ramírez, M. A., & Velásquez, A. P. L. (1996). Desarrollo humano vs crecimiento económico: el caso de cuatro ciudades colombianas. *Lecturas de Economía*, (44), 7-36.
- Rietveld, P. y Nijkamp, P. (2000). Transport Infrastructure and Regional Development. Analytical transport economics: An international perspective.
- Roa, O. A. A. (2015). *Coyuntura metropolitana y municipal: índice alternativo de desarrollo municipal 2013: un estudio a partir de las fragilidades y resistencias del territorio colombiano*. Observatorio MetroMun: Universidad Externado de Colombia, Facultad de Economía.
- Schliessler. (1992). CAMINOS: Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales. *CEPAL*.
- Short, J. y A. Kopp (2005) Transport infrastructure: Investment and planning. Policy and research aspects, *Transport Policy*, V. 12, p. 360-367.
- Villar, L. &. (2014). Infraestructura regional y pobreza rural. *FEDESARROLLO*.
- Zamora Fandino, N., & Barrera Reyes, O. L. (2013). Diagnóstico de la infraestructura vial actual en Colombia. *Universidad EAN*.