

# DISPARIDADES ECONÓMICAS Y EL ROL DEL SISTEMA VIAL. EVIDENCIA PARA ANTIOQUIA, COLOMBIA

---

Guillermo David Hincapié Vélez

**Hincapié Vélez, G. D. (2021). Disparidades económicas y el rol del sistema vial. Evidencia para Antioquia, Colombia. *Cuadernos de Economía*, 40(83), 483-513.**

Este artículo muestra evidencia del rol del sistema vial sobre la reducción de las disparidades económicas en una economía en desarrollo, con fuertes y generales problemas de desigualdad como Colombia. Con el soporte teórico de una reformulación del modelo de Krugman (1991) que incluye densidades viales primarias, secundarias y terciarias, se lleva a cabo la estimación de una ecuación de convergencia condicional espacial para 125 municipios del departamento de Antioquia. Las estimaciones sugieren que las densidades viales secundarias tienen mayor efecto sobre la reducción de las disparidades económicas del departamento.

---

G. D. Hincapié Vélez

Universidad Nacional, Sede Medellín. Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Economía, Sede Medellín. Grupo de investigación en Análisis Económico UP-GAE UPB, Instituto de Estudios Urbanos y Regionales de la UPB. Correo electrónico: guillermo.hincapie@upb.edu.co.

Sugerencia de citación: Hincapié Vélez, G. D. (2021). Disparidades económicas y el rol del sistema vial. Evidencia para Antioquia, Colombia. *Cuadernos de Economía*, 40(83), 483-513. doi: <https://doi.org/10.15446/cuad.econ.v40n83.80608>

**Este artículo fue recibido el 23 de junio de 2019, ajustado el 24 de enero de 2020, y su publicación aprobada el 31 de enero de 2020.**

**Palabras clave:** convergencia condicional; convergencia espacial; disparidades económicas; infraestructura vial.

**JEL:** C01, R1, R12, R40, O4.

**Hincapié Vélez, G. D. (2021). Economic disparities and the role of the road system. Evidence for Antioquia, Colombia. *Cuadernos de Economía*, 40(83), 483-513.**

This paper shows evidence of the role of the road system in reducing economic disparities in a developing economy, with strong and general inequality problems such as those found in Colombia. Under the theoretical support of a reformulation of the Krugman model (1991) with primary, secondary and tertiary road densities, an estimate of a spatial conditional convergence equation is carried out for 125 municipalities in the department of Antioquia (Colombia). Estimates suggest that secondary road densities have a greater effect on reducing the economic disparities of the department.

**Keywords:** Road infrastructure; conditional convergence; economic disparities; spatial convergence.

**JEL:** C01, R1, R12, R40, O4.

**Hincapié Vélez, G. D. (2021). Disparidades econômicas e o papel do sistema viário. Evidência para Antioquia, Colômbia. *Cuadernos de Economía*, 40(83), 483-513.**

Este artigo mostra evidências do papel do sistema viário na redução das disparidades econômicas em uma economia em desenvolvimento, com problemas de desigualdade fortes e gerais, como a Colômbia. Com o suporte teórico de uma reformulação do modelo de Krugman (1991) que inclui densidades viárias primárias, secundárias e terciárias, é realizada a estimativa de uma equação de convergência espacial condicional para 125 municípios do departamento de Antioquia. As estimativas sugerem que as densidades viárias secundárias têm um efeito maior na redução das disparidades econômicas no departamento.

**Palavras-chave:** convergência condicional; convergência espacial; disparidades econômicas; infraestrutura viária.

**JEL:** C01, R1, R12, R40, O4.

## INTRODUCCIÓN

En la ciencia regional, ha crecido el interés por estudiar el efecto de la infraestructura vial y los costos de transporte sobre el crecimiento económico y, concretamente, sobre la convergencia regional del ingreso en Europa y Estados Unidos (Cosci y Mirra, 2018). Para dilucidar tal efecto, la literatura ha considerado la inversión o gasto público en infraestructura de transporte (Sloboda y Yao, 2008), el tiempo de desplazamiento (Iuzzolino, Pellegrini y Viesti, 2011), los costos de transporte caracterizado por peajes, como en el estudio llevado a cabo por CER-TeT y la Università Commerciale Bocconi (2006), entre otras variables importantes. Asimismo, se ha apelado comúnmente a la estimación de ecuaciones de convergencia condicional y algunos trabajos utilizan las reformulaciones no paramétricas del testeo de convergencia, como la aportada por la crítica de Quah (1996a), como en Cosci y Mirra (2018)<sup>1</sup>. Este cuerpo de literatura establece piezas de evidencia que sugieren que el debate no es concluyente ya que se encuentra que la infraestructura vial, en concreto las autopistas, pueden generar convergencia del ingreso, en Europa (Cappelen, Castellacci, Fagerberg y Verspagen, 2003; Puga, 2002); pero en algunos casos se encuentra divergencia del ingreso, como en Estados Unidos (Sloboda y Yao, 2008).

Estas dos evidencias encuentran su sustento teórico en la nueva geografía económica y la consideración que esta hace de los costos de transporte. En efecto, se postula que la inversión en infraestructura vial puede reducir los costos de transporte, pero tal reducción puede reforzar las aglomeraciones económicas y, con ello, preservar la inequidad espacial en contra de la convergencia económica misma (Palma, Lindsey, Quinet y Vickerman, 2011). De tal surte, Fujita, Krugman y Venables (2001), así como Fujita y Thisse (2006), señalan la existencia de un *trade-off* entre crecimiento económico y equidad espacial. En general, la intensidad de las fuerzas de aglomeración y de dispersión decrecen con los costos de transporte. Sin embargo, no está claro en la nueva geografía económica la intensidad relativa de estas fuerzas, cuando los costos del transporte disminuyen (Palma *et al.*, 2011), de ahí que el efecto del sistema vial siga siendo objeto de un fuerte debate y, en términos de la convergencia económica, no sean únicos los resultados empíricos. Como establecen Cosci y Mirra (2018), el mejoramiento de la infraestructura de transporte no siempre se traduce en un patrón uniforme de desarrollo regional.

A pesar del creciente interés por estudiar el efecto de la infraestructura de transporte sobre el crecimiento y convergencia económicas, conviene señalar que la mayoría de los estudios se han dedicado solo a discernir el efecto de las autopistas (Cosci y Mirra, 2018). Escasamente se han realizado estudios sobre el efecto de vías rurales (Aggarwal, 2018), vías interestatales o municipales sobre

---

<sup>1</sup> La técnica, conocida en la literatura como *convergencia distribucional*, fue aportada en el artículo seminal de D. T. Quah (1996a; 1996b), como alternativa a las debilidades de las estimaciones de convergencia condicional desde un enfoque paramétrico.

el crecimiento económico; tipos de vías que, en la mayoría de los países en desarrollo, terminan siendo importantes. Por tanto, una mirada sistémica o estructural de las vías implica analizar todos los tipos de vías y, en particular, las conexiones en ellas y cómo terminan afectando los costos de transporte<sup>2</sup>.

El caso de Colombia, al cual se dedica este trabajo, es interesante por varias razones. En primer lugar, el país presenta un marco de fuertes desigualdades económicas entre un centro económico y una periferia que suele ubicarse en las costas pacífica y caribe, con lo cual, los costos de transporte no han sido un impedimento significativo para establecer aglomeraciones económicas lejos de las zonas costeras (Bonet y Meisel, 2009). Sin embargo, los costos de transporte han sido históricamente altos dentro del país (Kalmanovitz, 2011; Ramírez, 2001). En segundo lugar, y dado estos altos costos de transporte por carretera, en el periodo 2010-2017, el Gobierno colombiano realizó una fuerte inversión en ampliación de su circuito de autopistas (llamadas autopistas de cuarta generación) que, a la fecha, se encuentran en proceso de construcción y que supondrán para el país una reducción de los tiempos de viaje entre las costas y los centros económicos más importantes. En tercer lugar, Colombia ha tenido una ruralidad aislada con precario acceso a vías y un sistema de vías interestatales o intermunicipales con significativos problemas. Conviene advertir que, si bien la literatura es escasa, existen resultados reseñables sobre el papel de las vías rurales y municipales en el crecimiento económico (Sánchez, 2006).

Para el caso colombiano surgirían preguntas como las siguientes: ¿por qué invertir solo en la red de vías primarias o autopistas? y ¿qué tipos de vías tienen mayores efectos sobre los procesos de convergencia subregional del ingreso en economías en desarrollo con marcadas y estructurales disparidades? La presente investigación se propone responder a estas preguntas, con base en el caso de Antioquia, uno de los departamentos con mayor actividad económica del país (Galvis y Hahn, 2016).

El artículo está estructurado en seis secciones, incluyendo la introducción. En la segunda parte, se hace un inventario y un examen de la literatura relacionada. En la tercera se propone una reformulación general del modelo de Krugman (1991), considerando las densidades viales primarias, secundarias y terciarias. En la cuarta, se propone la metodología a utilizar con base en regresiones de convergencia condicional clásica y espaciales. En la quinta, se establecen los hallazgos y, por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones de política.

## ESTADO DEL ARTE

Se ha pensado ampliamente que la inversión en infraestructura de transporte tiene beneficios económicos, incluso para regiones y países atrasados, pero la

---

<sup>2</sup> Lo anterior parte, también, de la crítica del tipo de análisis que la nueva geografía económica hace sobre los costos de transporte (costos de Samuelson o tipo Iceberg). Para una revisión a estas críticas ver Palma *et al.* (2011).

literatura indica que no siempre el mejoramiento de las vías y la infraestructura vial se traduce en un patrón uniforme de desarrollo socioeconómico (Brocker y Rietveld, 2009; Cosci y Mirra, 2018). La literatura a favor de un efecto positivo de la infraestructura pública parte de que las diferencias en el *stock* de infraestructura pública se reflejan en las diferencias regionales de la productividad (Aschauer, 1989). Este efecto en productividad es también considerado por la literatura denominada *transport-induced agglomeration*, bajo la cual se establece que los mejoramientos en la infraestructura de transporte refuerzan las llamadas economías de aglomeración, pues facilitan la convergencia económica (Eberts y McMillen, 1999; Graham, 2007). Durantón y Turner (2012) concluyen que la creación de autopistas interestatales redujo las disparidades del ingreso per cápita en las ciudades de Estados Unidos, pero advierten que estas responden a una endogeneidad subyacente al crecimiento económico de las ciudades, hecho que debe ser tenido en cuenta en las estimaciones. Asimismo, Melo, Graham y Brage (2013) muestran que el efecto de la infraestructura de transporte sobre el crecimiento económico de los países de Europa es menor que el impacto de estas vías en Estados Unidos. Estimaciones de Crescenzi y Rodríguez (2012) para regiones de 120 países en Europa muestran que la inversión en infraestructura vial presentó un efecto menor al que se esperaba en la ejecución de la política.

Por otro lado, la literatura aporta también evidencia según la cual la infraestructura de transporte y su mejoramiento no se traducen en un proceso de convergencia económica, a partir de críticas de orientación metodológica sobre el trabajo de Aschauer (1989), Gramlich (1994) y Vanhoudt, Mathä y Schmid (2000). Tomando como base la nueva geografía económica propuesta por Krugman (1991), se ha argumentado que el mejoramiento del sistema vial refuerza las economías de aglomeración, en el marco del modelo centro-periferia dado que, para las firmas, resulta más barato atender a mercados periféricos (Fujita *et al.*, 2001; Puga, 2002). En tal línea, Ferri y Mattesini (1997) encuentran que la inversión y mejoramiento de la infraestructura vial en provincias de Italia experimentó un efecto positivo en el crecimiento económico de las provincias como un todo, pero este efecto positivo difiere cuando se miran las regiones de manera separada bajo el patrón sur-centro, característico de la economía italiana.

En el caso colombiano, la literatura referente es escasa en relación con la determinación de los efectos de la infraestructura vial sobre las disparidades económicas, por lo que consideramos que este es el primer ejercicio de estudio sobre el efecto del sistema vial en las disparidades regionales del ingreso. En Sánchez (2006), se lleva a cabo un análisis del efecto de los costos de transporte sobre el crecimiento económico departamental, encontrando evidencia sobre un mayor efecto de la reducción de los costos de transporte sobre el sector agrario un efecto mayor al experimentado en el sector industrial.

## MARCO TEÓRICO

Las economías regionales y subregionales se caracterizan por una generación de vías de distinta naturaleza, propósito y alcance (Ospina, 2016). Frecuentemente, y es el caso de la economía colombiana, existen vías primarias, autopistas, las cuales tienen el propósito de conectar centros económicos subregionales importantes. Las vías secundarias, que en Colombia representan cerca del 92 % de la malla vial, tienen el objetivo y el alcance de conectar a municipios entre sí; en tanto que las vías terciarias (rurales) tienen el propósito de conectar el área rural con el casco urbano de los municipios. Estos diferentes propósitos generan efectos diferenciados de la conectividad sobre la dinámica económica regional y son, por cuenta de esto, elementos importantes para estudiar la economía regional, en relación con los costos de transporte como variable clave de los procesos de aglomeración económica (Villar y Ramírez, 2014).

Los modelos de la nueva geografía económica (NGE) parten de la representación de los costos de transporte, tanto a nivel de país como a nivel subnacional o regional. Los costos de transporte tipo iceberg han constituido el dispositivo conceptual predominante en la literatura (Hummels y Schaur, 2012)<sup>3</sup>. La NGE ha planteado distintas formulaciones y especificaciones de la relación funcional de tales costos de transporte, como en Bosker, Brakman, Garretsen y Schramm (2007), con variaciones en Combes y Lafourcade (2005).

En general, la estructura de costos puede representarse como en la ecuación (1), donde el parámetro  $\delta_0$  representa un factor de escala de eficiencia del sistema de transporte;  $\delta_1$  es un parámetro que mide el efecto de la distancia (*distance-decay effect*).  $D_{i,j}$  representa la distancia entre el emplazamiento  $i$  y el  $j^4$ . Además,  $f$  constituye una función separable que relaciona determinantes propios del emplazamiento  $i$   $x_i$ , factores propios del emplazamiento  $j$   $x_j$  y factores compartidos por los dos  $x_{i,j}$ <sup>5</sup>.

$$\tau_{i,j} = \delta_0 D_{i,j}^{-\delta_1} f(x_{i,j}, x_i, x_j) \quad (1)$$

A continuación, se lleva a cabo una reformulación del modelo teórico propuesto seminalmente en Krugman (1991), cuyo tratamiento se amplió en Krugman (1993), para explicar las fuerzas que determinan los procesos de aglomeración económica tipo centro-periferia. Para ello, proponemos una reformulación de la ecuación (1),

<sup>3</sup> Sin embargo, resulta necesario indicar que la concepción de los costos de transporte aceptada en los modelos de la NGE difiere en ciertos aspectos de la consideración original de Samuelson (1952). La principal diferencia estriba en la necesidad, para los modelos de la NGE, de tener un tratamiento compatible con los modelos de competencia monopolística (McCann, 2005).

<sup>4</sup> En nuestra consideración se trata de municipios, más que emplazamientos económicos.

<sup>5</sup> Es importante aclarar que  $t_{i,j}$  representa el porcentaje de la mercancía que llega al destino, por lo que mayor distancia entre emplazamientos disminuye dicho porcentaje.

donde las densidades viales, primarias, secundarias y terciarias, afectan la estructura de costos de transporte y, por esta vía, también los procesos de aglomeración.

### **Modelo centro-periferia con tipos densidades viales**

El propósito fundamental del modelo seminal de Krugman (1991) es explicar la función de las economías a escala y los costos de transporte en la configuración espacial de la actividad económica. Concretamente, quiere explicar cómo estas fuerzas pueden conformar un centro-periferia o una distribución dispersa de la actividad económica industrial y rural, en lo cual las variables importantes son las economías de escala y los costos de transporte (Fujita *et al.*, 2001).

La mayor demanda se encontrará donde exista una mayor población y las empresas pretenderán ubicarse justamente donde la demanda es mayor (Fujita *et al.*, 2001); de suerte que las condiciones de demanda y de economías de escala acentúan el proceso de aglomeración económica a partir de una causalidad circular *centrípeta* (Krugman, 1991). Este planteamiento fundamental sirvió de base a todo un cuerpo de teorías de la NGE que permitieron estudiar de manera más refinada las dinámicas de conformación de ciudades y regiones o *sistema de ciudades* (Fujita y Thisse, 2006), como las ciudades monocéntricas y las ciudades policéntricas (Mori, 2016), y los procesos de descentralización de áreas urbanas y fenómenos de conurbación que han concentrado el interés en ciencia regional en los últimos años (Fang y Yu, 2017). En especial, buena parte de la literatura reciente considera la descentralización de áreas urbanas en relación con el sistema vial en china (Baum-Snow, Brandt, Henderson, Turner y Zhang, 2017) y Estados Unidos (Duranton, Morrow y Turner, 2014; Redding y Turner, 2015).

Si bien los desarrollos posteriores de la NGE permitieron ir más allá del modelo centro-periferia (Ottaviano y Thisse, 2004; Redding y Turner, 2015), en este artículo partimos de dicha consideración inicial, bajo una nueva propuesta funcional de los costos de transporte. Dos razones animan nuestra propuesta: una parte de la literatura critica la concepción de costos en los modelos NGE (McCann, 2005; McCann y Oort, 2019), por lo que nuevas consideraciones son necesarias. En segundo lugar, una vinculación mayor de la economía del transporte (Palma *et al.*, 2011) en ciencia regional y economía urbana ampliaría la perspectiva cognoscitiva de muchos problemas en dichos campos (Hensher, 2011; Tabuchi, 2011).

De esta manera, supóngase la existencia de dos lugares de producción, el este y el oeste, con mano de obra rural e industrial. La producción industrial es generada bajo economías de escala en competencia monopolística y la producción agrícola bajo rendimientos decrecientes y competencia perfecta, haciendo uso principal de la tierra. La producción industrial puede hacerse en cualquier lugar desplazando los factores de producción, pero si dicha producción se hace en uno de los dos lugares únicamente, para abastecer el otro mercado la empresa deberá

incurrir en costos de transporte “ $\tau$ ”. Asimismo, si la producción se hace en los dos emplazamientos la firma deberá incurrir en un costo fijo adicional.

En nuestra formulación, proponemos una variante de la ecuación (1). La idea fundamental que sustenta la ecuación consiste en capturar el papel de las densidades viales para relativizar los costos de transporte a través de la reducción de la distancia relativa —en tiempo de viaje o distancia física—. En esta ecuación  $cf$  representa los costos fijos —costos de peajes,  $pg$  por ejemplo—, como porcentaje de los costos totales en que incurre la empresa<sup>6</sup>; , por su parte, hace referencia al precio de la gasolina determinado por unidad de medida de distancia o tiempo de viaje.  $D_{ij}$  representa la distancia entre el emplazamiento “ $i$ ” y el emplazamiento “ $j$ ” de tal manera que  $\frac{pgD_{ij}}{ct}$  representa la participación de los costos de transporte de gasolina dentro de los costos totales, lo que podemos considerar como los costos variables de transporte  $cv = \frac{pgD_{ij}}{ct}$ . Sin embargo, como se ha expresado, la densidad vial tiene el efecto de relativizar la distancia entre los emplazamientos ya sea en tiempos de viaje o de distancia. Por tanto,  $D_{ij} = \left(\frac{k}{Dv}\right)^{\delta_1}$  constituye el efecto de la densidad vial  $Dv$  sobre la distancia entre emplazamientos;  $k$  constituye un factor autónomo de escala y  $\delta_1$  es el parámetro que mide la sensibilidad de la distancia hacia cambios en las densidades viales.

$$\tau_{i,j} = 1 - (cf + cv) = 1 - cf - \frac{pgD_{ij}}{ct} \text{ donde } D_{ij} = \frac{k}{Dv^{\delta_1}} \quad (2)$$

$$\tau_{i,j} = 1 - cf - \frac{pg}{ct} \left( \frac{k}{Dv^{\delta_1}} \right) \quad (3)$$

Las ecuaciones (2) y (3) advierten varios hechos: en primer lugar, los costos de transporte, fijos y variables, solo representan una parte de los costos totales en la producción de la mercancía, pero son los únicos que se basan en la formulación tipo Samuelson de dichos costos. En segundo lugar, las densidades viales tienen el papel de reducir los costos de transporte al reducir la distancia en horas o la distancia física relativa<sup>7</sup>. Finalmente, los costos de transporte, no podrán ser iguales a cero, dado que la variable  $Dv$  existe en  $(0,1)$  —una densidad de cero haría que los costos fijos fueron significativamente más altos dado que no habrían vías para

<sup>6</sup> Se tienen en cuenta todos los costos de producción. Sin embargo, los costos de transporte constituyen una parte de los costos totales en que incurre la empresa.

<sup>7</sup> Con base en la ecuación (4),  $\frac{\partial \tau_{ij}}{\partial Dv} = \frac{\delta_1}{Dv} \frac{pg}{ct} \left(\frac{k}{Dv}\right)^{\delta_1} \left(\frac{1}{Dv}\right) = \frac{\delta_1}{Dv} cv$ , que es mayor a cero, lo que indica el efecto de las densidades viales de reducir los costos de transporte por carretera. Esta formulación implica que el efecto de las densidades viales sobre los costos de transporte será mayor en tanto que  $\frac{\delta_1}{Dv} > 1$ .



transitar, en tanto que una densidad del 100% implicaría los menores costos posibles bajo el factor autónomo de distancia  $k$ <sup>8</sup> y, para que esto ocurra, el precio del combustible deber ser cero, así como el costo de peaje o costo fijo—.

El parámetro  $\delta_1$  mide el nivel de sensibilidad del decaimiento de la distancia a cambios en la densidad vial, por lo que es un parámetro clave en nuestra propuesta de análisis del efecto del sistema vial sobre los costos de transporte y sobre los procesos de aglomeración económica. En efecto, la elasticidad de los costos de transporte hacia la densidad vial, sin considerar el tipo de vías o densidades viales, como se verá más adelante, será de la forma presentada en la ecuación (4).

$$e = \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial Dv} \frac{dv}{t_{ij}} = \frac{\delta_1 cv}{(1 - cf - cv)}; cv = \frac{pg}{ct} \left( \frac{k}{Dv^{\delta_1}} \right) \quad (4)$$

Por tanto, el parámetro  $\delta_1$  que, al igual que en Hummels y Schaur (2012) mide *distance-decay effect*, será en nuestra formulación importante para determinar la elasticidad final de los costos de transporte a la inversión en infraestructura vial, o densidad vial. En efecto, si  $\delta_1 cv > (1 - cf - cv)$  los costos de transporte terminarán siendo elásticos a la densidad vial. Por otro lado, si  $\delta_1 cv < (1 - cf - cv)$ , los costos de transporte serán inelásticos y, finalmente,  $\delta_1 cv = (1 - cf - cv)$  serán de elasticidad unitaria. De esta manera, dependiendo del parámetro  $\delta_1$  el comportamiento grafico de la ecuación (3) será, en general, el ilustrado en la Figura 1<sup>9</sup>.

Ahora bien, si se asumen densidades viales primarias, secundarias y terciarias, en la consideración propia de un sistema de transporte, deberán reformularse las ecuaciones (2) y (3) de forma tal que  $Dv_1$  corresponde a la densidad vial primaria (autopistas),  $Dv_2$  corresponde a la densidad vial secundaria (carreteras intermunicipales) y  $Dv_3$  corresponderá a las vías terciarias o rurales. Si bien la densidad total vial corresponderá a la suma  $Dv = Dv_1 + Dv_2 + Dv_3$ , en el fondo y en un enfoque de sistema de transporte que esté integrado, estos tipos de vías no son independientes, sino que guardan una interrelación o un patrón espacial e histórico que las relaciona<sup>10</sup>.

En este artículo, se asume que todas guardan una relación y que no puede existir densidad vial total si no existe una de estas tres vías, o si no coexisten. De manera que la ecuación (4) se reformula para incluir dichas densidades viales, bajo su importancia relativa (ecuación 5).

$$\tau_{i,j} = 1 - cf - \frac{pg}{ct} \frac{k}{(Dv_1^\alpha Dv_2^\beta Dv_3^\gamma)^{\delta_1}} \quad (5)$$

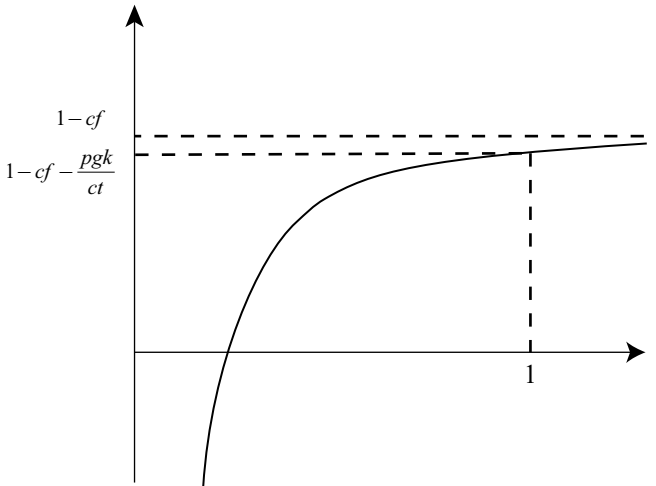
<sup>8</sup> Si la densidad vial fuera del 100%, los costos variables de transporte se traducirían en  $\frac{pgk}{ct}$ , donde el parámetro  $k$  hace referencia a la distancia euclidiana de los emplazamientos.

<sup>9</sup> Se espera que el parámetro sea  $\delta_1 > 0$ . Si este parámetro fuera negativo y mayor a uno en valor absoluto, la función tendría otro comportamiento al ilustrado en la Figura 2, de acuerdo con la segunda derivada de la ecuación (4).

<sup>10</sup> En general, una vía terciaria puede convertirse en una vía secundaria en el sistema de transporte colombiano.

**Figura 1.**

Comportamiento de la función de costos de transporte



Fuente: elaboración propia.

El análisis anterior del efecto de las densidades viales sobre la estructura de los costos de transporte sigue aplicando, solo que ahora pueden determinarse los efectos diferenciados de cada tipo de densidad vial, de acuerdo con los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y su relación con el parámetro  $\delta_1$ . Como puede notarse en dicha ecuación, un incremento tanto individual como conjunto de las densidades viales reduce los costos de transporte, dependiendo de los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta_1$ .

Suponiendo los emplazamientos productivos, “este” y “oeste”, con las mismas características para los sectores industrial y agrícola, en el que la fuerza laboral industrial puede desplazarse a cualquiera de los dos emplazamientos dependiendo del salario real pagado, el consumo de bienes agrícolas e industriales sigue la ecuación (6) de utilidad de un consumidor representativo,  $C_M$  constituye el consumo de bienes industriales,  $C_A$  de bienes agrícolas y  $\pi$  representa el porcentaje del ingreso gastado en bienes industriales.

$$U = C_M^\pi C_A^{(1-\pi)} \tag{6}$$

Para asegurar una forma funcional explícita para la elasticidad precio de la demanda de bienes industriales, que siguen una estructura de competencia monopolística, se considera que el consumo total de  $C_M$  viene dado por la ecuación (7), de manera que  $\sigma$  representa la elasticidad del precio de la demanda de cada bien industrial para un consumidor representativo (Krugman, 1991).

$$C_M = \left[ \sum_I c_i \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma - 1}} \quad (7)$$

Mediante una función lineal de costos, solo dependiente del número de trabajadores, las economías de escala, centrales al planteamiento teórico de Krugman y toda la tradición posterior de modelos de la Nueva Geografía Económica, se representan en la ecuación (8), considerando, además, que hay costos fijos correspondientes a la contratación de un número  $\alpha$  de trabajadores necesarios.

$$L_M = \alpha + \beta x_{Mi} \quad (8)$$

Dado que se asume que la producción industrial tiene lugar bajo competencia monopolística, la fijación del precio para una empresa representativa se muestra en la ecuación (9) y dependiendo de un margen constante sobre el costo marginal<sup>11</sup>.

$$p_i = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \beta w \quad (9)$$

Sin embargo, en el largo plazo, la condición de maximización de los beneficios igualará al costo medio, por lo que los beneficios cero implicará la ecuación (10). A este respecto, la relación entre el costo medio y el costo marginal será simplemente la relación  $\frac{\sigma}{\sigma - 1}$ , de tal manera que el parámetro  $\sigma$  constituye una medida de la importancia de las economías de escala (Krugman, 1991).

$$(p_i - \beta w)x_i = \alpha w \quad (10)$$

De esta manera, la producción de una empresa representativa será la ecuación (11), en tanto que, asumiendo que a la fuerza de trabajo industrial total será  $L_M$ , el número de bienes industriales que serán producidos sigue la ecuación (12)<sup>12</sup>.

$$x = \frac{\alpha (\sigma - 1)}{\beta} \quad (11)$$

$$n = \frac{L_M}{\alpha + \beta x} = \frac{L_M}{\alpha \sigma} \quad (12)$$

<sup>11</sup>Para llegar a la ecuación (9), la función objetivo del productor industrial representativo serán los beneficios  $\pi_i = p_i x_i - (w\alpha + \beta w x_i)$ , donde  $x_i$  representa la producción de la empresa "i". Resolviendo la condición de primer orden y asumiendo que la elasticidad precio de la demanda es  $-\sigma$ .

<sup>12</sup>Recuérdese que  $L_M = \alpha + \beta x_{Mi}$  representa el número de trabajadores empleados por una firma "i".

En estas condiciones, pretenden determinarse las condiciones bajo las cuales un proceso de distribución espacial del tipo centro-periferia sería sostenible. Esto implica que sean evaluadas las fuerzas centrípetas y centrifugas que intervienen en la configuración de dicho proceso. Como se ha establecido, las fuerzas centrípetas tienen que ver con (1) la necesidad de las empresas de ubicarse compartiendo un mercado mayor (la causación circular enunciada) y (2) los beneficios que para los consumidores supone acceder a los bienes industriales producidos (Krugman, 1991). Por otro lado, las firmas tienen incentivos de desplazarse para abastecer el mercado periférico agrícola, siendo esta la principal fuerza centrífuga. En tal sentido, deben compararse las rentas de ambas regiones, un centro productivo industrial en el “este” y una periferia agrícola en el “oeste” y evaluar en qué condiciones sería beneficioso desplazarse de la aglomeración económica y el papel jugado por las densidades viales en este proceso.

Dado que el este posee la mita de agricultores, como condición inicial, la renta general de la región “este” normalizada a la unidad será la ecuación (13), en tanto que la renta general del “oeste” corresponderá a su distribución de empleados del sector agrícola, en la ecuación (14).

$$Y^E = \pi + \frac{(1-\pi)}{2} = \frac{1+\pi}{2} \quad (13)$$

$$Y^W = \frac{1-\pi}{2} \quad (14)$$

Siendo  $S^E$  las ventas de cada empresa que abastece el mercado del “este”, estas serán calculadas con base en la relación entre el porcentaje de dinero gastado en bienes industriales de este emplazamiento ya que hay una aglomeración industrial en tal emplazamiento y el número de bienes producidos (ecuación 15).

$$S^E = \frac{\pi}{n} \quad (15)$$

Para que una firma, en estas condiciones, considere desplazarse a la periferia del emplazamiento “oeste” para abastecer ambos mercados, deberá no solo considerar los costos de transporte  $\tau$ , sino también el ofrecimiento de un salario mayor para que los trabajadores del “este” pasen al otro emplazamiento. El salario real del “oeste” será, de esta manera,  $\tau^{-\pi}$  mayor que en el “este”. Los precios que fijan las empresas corresponden, como se dijo, a una proporción del costo marginal que es, a su vez de acuerdo con la ecuación (9), proporcional al salario pagado. Por lo tanto, el índice de precios del oeste,  $p^W$ , será la ecuación (16) donde  $p^E$  hace referencia al índice de precios del “este”<sup>13</sup>.

<sup>13</sup>Esto indica que los precios del “oeste” para una empresa que abastezca dicho mercado, deberán ser  $\frac{1}{\tau}$  veces mayor que los del “este”, por lo que  $p^W = \frac{1}{\tau} p^E$ . Recuérdese que  $\tau$  es un porcentaje,

$$p^W = p^E \tau^{-\pi} \tag{16}$$

De acuerdo con la consideración del comportamiento de la demanda que se desprende de la función de utilidad generalizada, si los precios de los bienes industriales suben un 1%, la demanda de dicho bien decae en  $\sigma\%$ . Por tanto, el gasto caerá en  $(\sigma - 1)\%$  en el neto. Ahora, considerando que la renta porcentual del “este” es  $\frac{1+\pi}{2}$  dividida por la relación de precios ajustada por el costo de transporte y considerando luego la renta del “oeste” también ajustada por la relación de precios, las ventas de una empresa representativa que se desplace serán según se indica en la ecuación (16).

$$S^W = \frac{\pi}{n} \left[ \frac{1+\pi}{2} \left( \frac{p^W}{p^E \tau} \right)^{-(\sigma-1)} + \frac{1-\pi}{2} \left( \frac{p^W \tau}{p^E} \right)^{-(\sigma-1)} \right] \tag{17}$$

Ahora bien, una empresa encontrará beneficioso desplazarse al “oeste” si las ventas en la ecuación (17) son mayores que las ventas en el “este” (ecuación 15). Por tanto, la relación entre estas ventas viene dada por la ecuación (18)<sup>14</sup>. Como plantea Krugman (1991), si la relación  $\frac{S^W}{S^E}$  no significa en sí mismo que sea más beneficioso para la empresa desplazarse, dado que hay un costo fijo que corresponde a los costos de empleo de un personal mínimo. Este salario pagado como costo fijo, cumple también la relación  $\tau^{-\pi}$  mayor en el “oeste”, por lo que la condición final para que una empresa se desplace es  $\frac{S^W}{S^E} > \tau^{-\pi}$ . Esta nueva variable será K, en la ecuación (19).

$$\frac{S^W}{S^E} = \frac{1+\pi}{2} \tau^{(1+\pi)(\sigma-1)} + \frac{1-\pi}{2} \tau^{-(1-\pi)(\sigma-1)} \tag{18}$$

$$K = \frac{\tau^{\pi\sigma}}{2} \left[ (1+\pi) \tau^{\sigma-1} + (1-\pi) \tau^{-(\sigma-1)} \right] \tag{19}$$

Si  $K > 1$  indicará que las ventas del “oeste”, ajustadas por los costos de transporte, superan las ventas del “este” con lo cual, la firma encontrará incentivos para desplazarse. Si  $K < 1$ , el modelo centro periferia será sostenible.

Todo el análisis anterior muestra, de manera abstracta, que el proceso de aglomeración económica depende de la interacción conjunta de condiciones de demanda, de

---

o numero entre cero y 1. Dado que se trata de un índice de precios, este índice, que tiene en cuenta distintos tipos de bienes producidos, deberá tener en cuenta, por tanto, la relación  $\frac{1}{\tau^\pi}$ .

<sup>14</sup>Para este resultado se consideró la ecuación (18) de relación de precios.

economías de escala y costos de transporte e infraestructura vial (Fujita y Thisse, 2006). Por tanto, este referente es útil para explicar el impacto concreto de la infraestructura vial sobre la configuración espacial de la actividad económica y, además, de su efecto sobre potenciales procesos de convergencia y disminución de brechas de ingreso, aspecto que, como se ha especificado, constituye una importante cuestión de debate reciente en ciencia regional.

De esta ecuación fundamental, entonces, se analiza el efecto de los costos de transporte sobre el desplazamiento o no de la producción entre los dos emplazamientos considerados. Si los costos de transporte son cero, para lo cual  $\tau = 1$ , la variable  $K = 1$ , con lo cual la ubicación es irrelevante. De acuerdo con Krugman (1999), valores pequeños de  $\tau$  hacen que la relación de ventas sea mayor a 1 y, por tanto, los altos costos de transporte estimularían el desplazamiento de la producción (creación de una nueva planta), del Este al Oeste. Sin embargo, bajos costos de transporte harían sostenible la producción en el Este, por lo que se mantendría un modelo centro-periferia de la actividad económica (ecuación 20).

$$\frac{\partial K}{\partial \tau} = \frac{\sigma \tau K}{\tau} + (\sigma - 1) \frac{\tau^{\sigma \pi}}{2} \left[ (1 + \pi) \tau^{\sigma - 2} - (1 - \pi) \tau^{-\sigma} \right] \quad (20)$$

La cual tendría un signo positivo para valores cercanos a 1 del parámetro  $\tau$ . La existencia, sugeridos por la gráfica y por la ecuación (20), de un valor crítico del parámetro  $\tau$ , muestra la importancia de los costos de transporte sobre el desplazamiento de la producción.

Ahora bien, habiendo representado un comportamiento general del parámetro  $\tau$  en su relación con las densidades viales, puede llevarse a cabo un análisis más detallado de los efectos de los costos de transporte y la densidad vial en la configuración espacial de la actividad económica representada por la ecuación (3). En efecto, si  $\tau = 1$ , el parámetro  $K = 1$ , con lo cual no habrá incentivos particulares para la elección de un lugar para el emplazamiento de la producción. Esto pasaría cuando los costos de peajes y de combustible son cero, o hay un nivel elevado de densidad vial. Si, por el contrario, los costos de transporte son muy altos se tendrá la situación contraria. Estos costos serán altos, como se sabe, por una baja densidad vial de calidad y unos altos componentes del costo.

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} K = \frac{1}{2} \tau^{1 - \sigma(1 - \pi)} \quad (21)$$

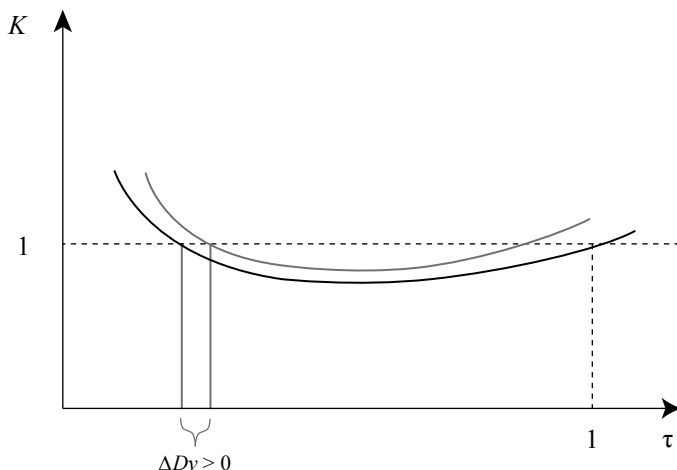
Si se examina la reacción de la relación entre las ventas potenciales con respecto a  $\tau$ , deben considerarse los factores que determinan a los costos de transporte, contemplados en la ecuación (3) de nuestro planteamiento. En tal sentido, el efecto de las densidades viales o infraestructural vial, sobre la relación de ventas  $K$  será el resultado de la ecuación (22).

$$\frac{\partial K}{\partial \Delta v} = \frac{\partial K}{\partial \tau} * \frac{\partial \tau}{\partial \Delta v} \tag{22}$$

De acuerdo con el análisis anterior, en general,  $\frac{\partial K}{\partial \tau} < 0$ , en tanto que  $\frac{\partial \tau}{\partial \Delta v}$  presenta signo positivo. Por tanto, el efecto de la densidad vial sobre la condición de ventas es negativo. De esta manera, un aumento de la red de vías, al reducir los costos de transporte, genera condiciones *ceteris paribus* para mantener el patrón centro-periferia de la actividad económica, como puede apreciarse en la Figura 2.

**Figura 2.**

Comportamiento de la relación de ventas entre el “este” y el “oeste” en función de los costos de transporte



Fuente: elaboración propia con base en Krugman (1991).

Ahora bien, una mayor densidad vial es consecuencia de la necesidad de comunicación que tendría un mercado más amplio, en el “este” o el centro y con un mayor nivel de ingresos. Una política de infraestructura puede también incentivar mayor demanda en la medida en que reduce los costos de transporte, por lo que existe una relación entre el parámetro  $\pi$  en la ecuación (19) y la densidad vial propiamente dicha.

De esa manera, partiendo de la ecuación (21), la cual es por supuesto negativa con lo cual el efecto de un aumento del porcentaje de la renta gastada en bienes industriales —una ampliación de la demanda o del tamaño de mercado (Krugman, 1991)—, tiene como consecuencia el sostenimiento de un proceso centro-periferia.

$$\frac{\partial K}{\partial \pi} = \sigma K \ln(\tau) + \tau^{\sigma\pi} \left[ \tau^{\sigma-1} - \tau^{-(\sigma-1)} \right] \quad (23)$$

Así pues, la densidad vial tendrá un efecto *doble* sobre la relación de ventas  $K$ , a partir de su efecto sobre los costos de transporte y, a su vez, sobre el nivel de demanda (Redding y Turner, 2015). Por tanto, el efecto final será, en términos cualitativos será el que describe la ecuación (24).

$$\frac{\partial K}{\partial dv} = \frac{\partial K}{\partial \tau} * \frac{\partial \tau}{\partial Dv} + \frac{\partial K}{\partial \pi} * \frac{\partial \pi}{\partial Dv} \quad (24)$$

$$\frac{\partial K}{\partial \tau} < 0, \frac{\partial \tau}{\partial Dv} > 0, \frac{\partial K}{\partial \pi} < 0, \frac{\partial \pi}{\partial Dv} > 0$$

Dadas las condiciones anteriores,  $\frac{\partial K}{\partial dv} < 0$ . El aumento de las densidades viales refuerza la aglomeración económica en el “este”. Sin embargo, también potencia la ampliación del mercado interno del “este”, razón por la cual  $\frac{\partial \pi}{\partial Dv} > 0$  indica que el centro se amplía (no necesariamente en términos de su área, sino de su potencial de mercado), por lo que la cercanía económica entre el “este” y el “oeste” aumenta, dado que el potencial de mercado de ambos emplazamientos aumenta.

De esa manera, mayor conectividad vial tiene el efecto potencial de reducir las brechas de ingreso, cuando el tamaño de mercado del centro aumenta, al propender por mayores interacciones económicas con la periferia agrícola. Sin embargo, la distancia sigue constituyendo un importante factor de *impedancia*, de manera tal que, si la periferia agrícola se encuentra muy alejada del centro, el proceso de reducción de brechas será menos acelerado cuando la inversión en infraestructura vial se ejecute (Pérez, 2005).

Como se argumentará en la sección de resultados, la reducción de brechas opera con más fuerza en los municipios más cercanos al centro económico de Antioquia, en tanto que los municipios que se encuentran más alejados presentan niveles de ingreso inferiores a estos municipios.

En la ecuación (5), se presenta una reformulación de la ecuación (3) de costos de transporte, que tiene en cuenta las densidades viales primarias, secundarias y terciarias, con sus respectivos factores de importancia  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta_1$ . A partir de dicha ecuación puede considerarse el efecto diferenciado de la red de vías sobre la estructura de costos y, por tanto, sobre el proceso de aglomeración económica y sobre los potenciales procesos de convergencia.

Ahora bien, en el contexto colombiano, la red vial secundaria tiene el propósito de conectar a los municipios entre sí, por lo que la red de vías secundarias tiene en principio mayor peso sobre el potencial de mercado de estos y, por tanto, sobre los potenciales procesos de convergencia.



## METODOLOGÍA

Con el fin de comprobar la hipótesis central del trabajo y determinar el impacto diferenciado de la red de vías sobre las brechas económicas del departamento, se estimó una regresión de convergencia condicional y, posteriormente, se incorporó la dimensión espacial en el análisis de convergencia. La dimensión espacial en el análisis de convergencia condicional es acorde con la pretensión de capturar las interconexiones entre municipios que el sistema vial implica (Cosci y Mirra, 2018).

El análisis de convergencia condicional implicaría en principio considerar la minimización de los efectos de la endogeneidad, multicolinealidad y sesgo por variables omitidas en las estimaciones. En efecto, con base en Cosci y Mirra (2018), se partió de la consideración según la cual las inversiones en infraestructura vial, así como el mejoramiento de vías, pueden ser considerados choques exógenos de política sobre el crecimiento económico y, por tanto, no propiciarían el tratamiento de un potencial problema de endogeneidad. Por otro lado, los problemas de multicolinealidad fueron testeados mediante los estadísticos de diagnósticos y de prueba considerados en la literatura (Stine, 1995)<sup>15</sup>. Finalmente, el sesgo por variable omitida se diagnosticó mediante los residuales del modelo estimado, como se muestra en los Anexos. Además y de acuerdo con Anselin (2010), el motivo de la estimación de un modelo espacial responde también a la necesidad de que las variables omitidas se reflejen en el rezago espacial correspondiente de la variable dependiente e independientes o del término de error de correlación espacial, por lo que la estimación de dicho modelo espacial ayuda a controlar el problema de endogeneidad por variable omitida (Lesage y Fischer, 2008).

Con base en Lesage y Fischer (2008) para modelos de convergencia condicional regional como el que aquí se propone, el efecto de los niveles iniciales del ingreso (año base) desaparecen con el tiempo. Sin embargo, cuando es considerada la dimensión espacial el efecto de los niveles iniciales de ingreso dependen de la intensidad de la dependencia espacial y del nivel de conectividad entre regiones. Por tanto, el considerar el efecto del sistema vial sobre un proceso de convergencia condicional del ingreso hace necesario el enfoque espacial en las estimaciones de convergencia condicional (Cosci y Mirra, 2018). El objetivo del análisis espacial es determinar la existencia de dependencia espacial entre las unidades regionales consideradas, en este caso municipios y, en segundo lugar, determinar regímenes de crecimiento económico, es decir, heterogeneidad espacial (LeSage, Pace y Pace, 2009).

Con el propósito de determinar esto en el análisis de convergencia condicional realizado fue estimada la siguiente ecuación de error espacial (ecuación 25).

---

<sup>15</sup>En particular, se realizaron cálculos de factores de inflación de varianza, con su interpretación gráfica, de acuerdo con Stine (1995).

$$Y = \alpha l_n + X\beta + e \quad (25)$$

$$e = \lambda W u + \epsilon$$

Donde  $Y$  denota un vector  $n \times 1$  de tasa de crecimiento per cápita observada del PIB per cápita (o consumo de energía per cápita como *proxy* a nivel municipal en Colombia).  $X$ , por su parte, representa una matriz de  $n \times k$  de variables explicativas y  $W$  representa una matriz  $n \times n$  de pesos espaciales que tiene en cuenta la interacción espacial de los municipios<sup>16</sup>. La especificación (ecuación 25) fue determinada, finalmente, con base en los estadísticos de dependencia espacial sobre los residuales, los cuales conforman las pruebas LM y Moran para determinar la especificación espacial más adecuada (Anselin, 2010). El parámetro  $\lambda$  da cuenta de la intensidad del efecto *spillover* global —con base en Ertur, Le Gallo y Baumont (2006)— y, por tanto, del nivel de interacción espacial de los municipios en términos de su actividad económica por factores adicionales a las vías incluidas en las variables regresoras (Gramlich, 1994; Cosci y Mirra, 2018). Finalmente, el uso de modelos espaciales para el examen de la hipótesis de convergencia condicional ha estado soportado en la literatura teórica: en el trabajo de Ertur y Koch (2007), se establece teóricamente la forma como un modelo de crecimiento endógeno toma la forma espacial tipo Durbin de rezago espacial, de las variables dependiente e independientes.

Finalmente, se establecen las variables del análisis emprendido en el presente trabajo. En primer término, se utilizan las densidades viales como la proporción entre la longitud de vías que el municipio contiene sobre el área total del municipio. En tal sentido, la densidad vial primaria se refiere a la proporción entre la longitud de vías primarias (autopistas) que comporta el municipio sobre su área total; la densidad vial secundaria se refiere a la proporción de vías intermunicipales (secundarias) que pasan por el municipio; por último, la densidad vial terciaria se refiere a la proporción de las vías rurales sobre el área del municipio en cuestión.

En trabajos como Cosci y Mirra (2018) y Feenstra (1998), se utiliza un indicador de densidad para evaluar el efecto. Este trabajo presenta la novedad de considerar los tres tipos de vías que conformarían potencialmente un *sistema vial* en lugar de solo considerar las autopistas, que se analizan de manera frecuente en la literatura (Melo *et al.*, 2013). Asimismo, la propuesta teórica sobre el modelo centro-periferia constituye un sustento para la elección de estas variables, como se argumentó en relación con las estimaciones empíricas de elasticidades de una función de costo de transporte alternativa a la función tipo Samuelson (función de costos tipo iceberg)<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> Distintas estimaciones fueron realizadas con base en diferentes especificaciones de la matriz de pesos espaciales y evaluando los criterios de información con el fin de determinar el modelo con mayor bondad de ajuste.

<sup>17</sup> La variable de costos de transporte se basa en los trabajos de Feenstra (1998) y Hummels y Schaur (2012).

Por otro lado, la matriz de variables regresoras adicionales contiene variables como captaciones bancarias, consumo de energía per cápita, densidad telefónica, número de propietarios de viviendas rurales, entre otras, comúnmente utilizadas en la literatura (Cosci y Mirra, 2018).

Dado que, en torno a la verificación empírica de la hipótesis de convergencia condicional, existe un amplio debate, el cual vincula la crítica de Quah (1993; 1996a; 1996b), en este trabajo se estimó el kernel estocástico correspondiente, basado en dicha crítica, para confirmar la existencia o no de convergencia, procedimiento realizado por Cosci y Mirra (2018) para robustecer el procedimiento de inferencia estadística. Sin embargo, la aplicación del kernel estocástico tiene el propósito de capturar las dinámicas distribucionales de municipios alejados para los que la técnica paramétrica de convergencia condicional es limitada.

## HALLAZGOS

A continuación, se exponen los resultados de las estimaciones de convergencia  $\beta$  y convergencia  $\beta$  espacial, sobre el nivel de actividad económica de los municipios de Antioquia para el periodo 2008-2016; con el fin de corroborar la hipótesis de convergencia y el efecto diferenciado que sobre la posibilidad de este proceso supone la infraestructura vial, caracterizada por la red de vías primarias, secundarias y terciarias. De acuerdo con Rey y Montouri (1999), los análisis de convergencia pueden hacerse mediante distintas perspectivas, como series de tiempo y análisis de corte transversal, por lo que en el presente análisis se establecen estimaciones de corte transversal sobre los años extremos del periodo 2008-2016 y sobre la ecuación de convergencia propiamente dicha con el fin de establecer evidencias más sólidas.

En la Tabla 1, se reportan las estadísticas descriptivas tanto de la variable dependiente como de las regresoras seleccionadas, para cada año considerado en el análisis. Como puede notarse, en lo que respecta al coeficiente de variación (desviación estándar) y la varianza, los datos muestran evidencia de un proceso de convergencia  $\alpha$ , toda vez que hay un proceso de disminución de la dispersión de la actividad económica en los municipios antioqueños.

Los estadísticos de Moran local y Moran global reportados en la Tabla 1 permiten establecer evidencias del tipo de patrón espacial subyacente en las variables regresoras y las variables dependientes. Concretamente, tanto el desempeño fiscal, la actividad económica aproximada por el consumo de energía, el desempeño educativo (para 2008), el número de propietarios y la gobernanza civil (2008) y las densidades viales presentan patrones espaciales de dependencia, es decir, el nivel que tenga un municipio del departamento en estas dimensiones depende del valor promedio de sus vecinos. Estos resultados sugieren la necesidad de vincular la dimensión espacial en el análisis máxime si se pretende cuantificar el impacto de la infraestructura vial sobre la convergencia económica de los municipios del departamento.

**Tabla 1.**  
Estadísticas descriptivas

Logaritmo del consumo de energía per cápita						
Año	media	mediana	Varianza	Coficiente de Variación	Moran Global	Moran Local
2008	1,671	1,61	0,1099955	0,3316557	0,320045	0,320045
2016	2,892	2,838	0,08362091	0,2891728	0,176684	0,176684
Score en matemáticas						
2008	42,85	42,71	2,993162	1,730076	0,120344	0,120344
Captaciones bancarias per cápita						
2008	613,16	360,92	1471379	1213,004	0,1093	0,1093
Densidad telefónica (participación de abonados)						
2008	11,03	7,887	82,06631	9,059046	0,195324	0,195324
Mixtura (diversificación productiva agrícola)						
2008	8,443	8	22,19916	4,711598	0,201686	0,201686
Proporción de propietarios de viviendas (sector rural)						
2008	0,24908	0,23285	0,0263615	0,1623623	0,606868	0,606868
Densidad vial primaria (autopistas)						
2008	0,01231	0,00783	0,000188915	0,01374464	0,406279	0,406279
Densidad vial secundaria (carreteras intermunicipales)						
2008	0,000144	0,000129	1,03E-10	0,0001037716	0,364269	0,364269
Densidad vial terciaria (carreteras rurales)						
2008	0,014365	0,01292	0,000107686	0,01037716	0,37339	0,37339

Fuente: elaboración propia a partir del *Anuario Estadístico de Antioquia* y DANE.

En la Tabla 2 se ilustran los resultados de las estimaciones realizadas de los modelos de convergencia condicional y de convergencia condicional con error espacialmente autocorrelacionado ecuación (24). Asimismo, se establecen las densidades kernel respectivas del consumo de energía per cápita, como aproximación inicial al análisis propuesto por Quah (1996a). Como primera medida, ambos modelos sugieren evidencia de convergencia condicional del ingreso per

**Tabla 2.**  
Resultados ecuación de convergencia y modelos de error espacial

Variables	Modelo Convergencia condicional	Modelo Convergencia Espacial (error espacial)	Densidades de kernel 2008 frente a 2016
Constante	1,130e+00 (0,12294)	1,38189 (0,02925**)	
Consumo de energía per cápita	-1,265e-03 (8,36e-09***)	-0,00137597 (0,0000***)	
Rendimiento educativo	1,786e-03 (0,91717)	-0,00434167 (0,70068)	
Captaciones bancarias per cápita	-5,551e-05 (0,04532**)	-4,82086e-05 (0,02430***)	
Tasa abonados teléfono	8,384e-04 (0,81730)	0,00122668 (0,68971)	
Log(mixtura)	9,24e-03 (0,00561**)	0,00966577 (0,00020***)	
Proporción propietarios Rurales	2,902e-01 (0,04366*)	0,335119 (0,00827***)	
Densidad vial 1	1,124e+00 (0,62086)	0,710981 (0,70813)	
Densidad vial 2	-4,693e+00 (0,01399**)	-4,79846 (0,00642***)	
Densidad vial 3	3,236e-01 (0,68032)	0,420915 (0,49950)	
R2	0,6471	0,690175	
Estadístico F	8,76 (2,504e-07***)		
Breusch-Pagan-Godfrey		16,2077 (0,06267**)	
Lambda		0,359928 (0,00713***)	

\*\*\* Representa significancia estadística al 99%, \*\* al 95%, \* al 90%. Sobre la prueba t correspondiente.

Fuente: elaboración propia, a partir del Anuario Estadístico de Antioquia y DANE.

cápita de los municipios antioqueños para el periodo de estudio<sup>18</sup>; esto es, los municipios de menor nivel de actividad económica se han acercado en tasa de crecimiento a los municipios de mayor nivel de actividad. Este resultado se confirma por la reducción de las brechas o la varianza del nivel de ingresos en los dos años considerados del análisis (convergencia  $\alpha$ ). De igual manera, el análisis de los kernels sugieren que hay un proceso de convergencia, debido a que la densidad de kernel de 2016 tiene evidencia de menos modas locales con respecto a 2008.

Por otro lado, el sector financiero ha tenido un efecto también positivo sobre el cierre de brechas del ingreso subregional de Antioquia, como puede evidenciarse por el coeficiente estimado negativo de las captaciones bancarias per cápita. Sin embargo, la diversificación del aparato productivo municipal, dimensión reflejada por el indicador *mixtura* presenta presión hacia la concentración del ingreso subregional (signo positivo). Igual situación ocurre, entonces, con la variable referente a los propietarios rurales de predios.

En cuanto al rol de la infraestructura vial en las disparidades regionales del ingreso, las estimaciones sugieren información relevante. La densidad vial secundaria, la cual tiene en cuenta a las carreteras que conectan municipios y cuyo mantenimiento depende de la entidad municipal misma, es la única red de vías que ha mostrado un efecto estadísticamente significativo sobre la reducción de las brechas municipales del ingreso, debido al signo negativo del parámetro estimado. Por tanto, los resultados econométricos sirven de confirmación y verosimilitud de la hipótesis central del presente trabajo, a saber, que el propósito de las vías secundarias es la de reducir las brechas municipales del ingreso más, incluso, que otras infraestructuras viales. Así pues, invertir en una mayor densidad vial secundaria redundaría en un proceso más dinámico de convergencia económica subregional.

La Figura 3 ilustra los resultados de la estimación del kernel estocástico de la variable dependiente. El contorno de densidades, al estar plenamente por encima de la diagonal principal, muestra evidencia de existencia de convergencia del nivel de ingreso de los municipios de Antioquia para el periodo de estudio<sup>19</sup>.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE POLÍTICA

En la presente investigación, se estimó el efecto del sistema vial —considerado en términos de las densidades viales primarias, secundarias y terciarias—, sobre el crecimiento y las disparidades económicas del departamento de Antioquia, Colombia. Para tal efecto, a diferencia de la literatura internacional y nacional, se considera una aproximación teórica a partir de las consideraciones de la Nueva

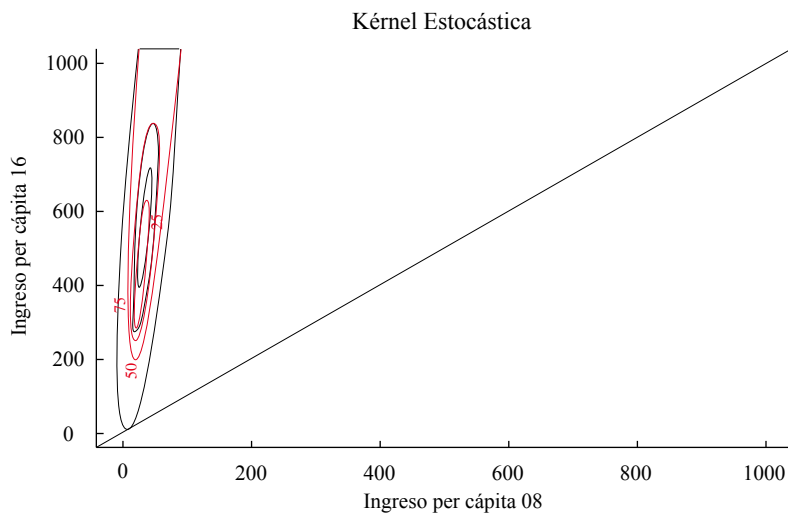
---

<sup>18</sup>Se ha tomado al consumo de energía total per cápita como variable *proxy* del PIB municipal para los municipios de Antioquia.

<sup>19</sup>Si los contornos de la kernel estocástica se establecieran sobre la diagonal principal, sería indicativo de una distribución no cambiante del ingreso.

**Figura 3.**

Resultados del kernel estocástico del ingreso per cápita



Fuente: elaboración propia, a partir del *Anuario Estadístico de Antioquia* y DANE.

Geografía Económica, con una reformulación de la ecuación de costos de transporte propuesta por Feenstra (1998), estimada frecuentemente en la literatura.

A partir de esta perspectiva teórica, se establecieron hipótesis acerca del efecto diferenciado de las distintas vías sobre los procesos de aglomeración y convergencia económica. Concretamente, se planteó la hipótesis según la cual las vías secundarias tienen un efecto mayor sobre la convergencia económica que las vías primarias, o autopistas, que tienen un mayor efecto sobre la aglomeración económica y potenciación de los centros económicos. La aproximación teórica propuesta sugiere también la necesidad de consideración sistémica de las vías sobre la convergencia económica, esto es, su efecto correlacional conjunto.

Para efectos de la estimación concreta del efecto de las vías, se especificó una ecuación de convergencia condicional y luego una ecuación de convergencia espacial, con el fin de capturar los efectos espaciales del crecimiento económico y de las vías. En primera instancia, se muestra evidencia de un proceso de convergencia del ingreso en los municipios del departamento de Antioquia, tanto convergencia  $\alpha$  como convergencia condicional o convergencia  $\beta$ . Además, se encuentra evidencia, según la cual, las vías secundarias, en efecto, impactan la reducción de las brechas económicas más que las vías primarias, como intuye la aproximación teórica propuesta. Por lo anterior, el trabajo aporta nuevos elementos al debate sobre el efecto de la infraestructura vial sobre las disparidades económicas, debate que se ha concentrado en gran medida en el impacto de las vías primarias o autopistas (Cosci y Mirra, 2018).

Por otro lado, los resultados anteriores se mantienen al considerar un modelo de error espacialmente autocorrelacionado, lo cual sugiere la existencia no solo de dependencia espacial de la actividad económica municipal, como se muestra en los análisis exploratorios espaciales (ver Anexos), sino también en la existencia de efectos *spillovers* globales del crecimiento económico municipal. Tal especificación econométrica permite la posibilidad de llevar a cabo simulaciones de efectos de políticas públicas sobre el crecimiento y cierre de brechas de ingreso para el caso colombiano. De esta manera, se sugiere que una política de inversión en infraestructura vial debe considerar un mejoramiento y ampliación de la red de vías secundarias con el fin de propiciar la convergencia económica del ingreso y el cierre sucesivo de brechas a nivel departamental y nacional.

Los anteriores resultados sugieren dos aspectos que conviene reseñar: (1) una consideración del efecto diferenciado de las vías sobre el crecimiento económico permite nuevas piezas de evidencia sobre el debate en torno al efecto de la infraestructura sobre el crecimiento económico; (2) considerar también este efecto diferenciado de las vías resulta de especial utilidad para el debate teórico y ayudaría, en principio, a resolver el carácter inconcluso de este debate en relación al efecto de las vías sobre la convergencia económica, un asunto que pasa por la consideración teórica de los rendimientos marginales decrecientes del capital como hipótesis de trabajo en Convergencia Condicional, con las consideraciones sobre rendimientos crecientes a escala de la nueva geografía económica.

El planteamiento teórico expuesto, junto con la propuesta empírica, permitieron considerar dos elementos clave en la conformación de los costos de transporte y su efecto en el crecimiento y desarrollo regional: los costos fijos, como costos de peajes y la densidad vial. Por tanto, una política pública de costos de transporte que consista en la reducción diferencial de costos de peajes, junto con el aumento y mejoramiento de la red de vías, potenciaría de modo significativo la reducción de brechas en el país. Esta mayor inversión en vías secundarias y terciarias mayoritariamente, generaría encadenamientos de demanda y empleo al corto plazo y reducción de brechas al largo plazo.

## REFERENCIAS

1. Aggarwal, S. (2018). Do rural roads create pathways out of poverty? Evidence from India. *Journal of Development Economics*, 133, 375-395. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2018.01.004>
2. Anselin, L. (2010). Thirty years of spatial econometrics. *Papers in Regional Science*, 89(1), 3-25. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2010.00279.x>
3. Aschauer, D. A. (1989). Is public expenditure productive? *Journal of Monetary Economics*, 23(2), 177-200. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(89\)90047-0](https://doi.org/10.1016/0304-3932(89)90047-0)



4. Baum-Snow, N., Brandt, L., Henderson, J. V., Turner, M. A., & Zhang, Q. (2017). Roads, railroads, and decentralization of Chinese cities. *The Review of Economics and Statistics*, 99(3), 435-448. [https://doi.org/10.1162/REST\\_a\\_00660](https://doi.org/10.1162/REST_a_00660)
5. Bonet, J., & Meisel, A. (2009). *Regional economic disparities in Colombia*. <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/29872>
6. Bosker, E. M., Brakman, S., Garretsen, H., & Schramm, M. (2007). *Adding geography to the new economic geography* (SSRN Scholarly Paper ID 997804). Social Science Research Network. <https://papers.ssrn.com/abstract=997804>
7. Brocker, J., & Rietveld, P. (2009). Infrastructure and regional development. In R. Capello & P. Nijkamp (Eds.), *Handbook of regional growth and development theories* (pp. 152–182). Edward Elgar. <https://doi.org/10.4337/9781848445987.00016>
8. Cappelen, A., Castellacci, F., Fagerberg, J., & Verspagen, B. (2003). The impact of EU regional support on growth and convergence in the European Union. *JCMS: Journal of Common Market Studies*, 41(4), 621-644. <https://doi.org/10.1111/1468-5965.00438>
9. Combes, P. P., & Lafourcade, M. (2005). Transport costs: Measures, determinants, and regional policy implications for France. *Journal of Economic Geography*, 5(3), 319-349. <https://doi.org/10.1093/jnlecg/lbh062>
10. Cosci, S., & Mirra, L. (2018). A spatial analysis of growth and convergence in Italian provinces: The role of road infrastructure. *Regional Studies*, 52(4), 516-527. <https://doi.org/10.1080/00343404.2017.1334117>
11. Crescenzi, R., & Rodríguez, A. (2012). Infrastructure and regional growth in the European Union. *Papers in Regional Science*, 91(3), 487-513. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2012.00439.x>
12. Duranton, G., Morrow, P. M., & Turner, M. A. (2014). Roads and trade: Evidence from the US. *The Review of Economic Studies*, 81(2), 681-724. <https://doi.org/10.1093/restud/rdt039>
13. Duranton, G., & Turner, M. A. (2012). Urban growth and transportation. *The Review of Economic Studies*, 79(4), 1407-1440.
14. Eberts, R. W., & McMillen, D. P. (1999). Agglomeration economies and urban public infrastructure. En *Handbook of Regional and Urban Economics* (vol. 3, pp. 1455-1495). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0080\(99\)80007-8](https://doi.org/10.1016/S1574-0080(99)80007-8)
15. Ertur, C., & Koch, W. (2007). Growth, technological interdependence, and spatial externalities: Theory and evidence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(6), 1033-1062. <https://doi.org/10.1002/jae.963>
16. Ertur, C., Le Gallo, J., & Baumont, C. (2006). The European regional convergence process, 1980-1995: Do spatial regimes and spatial dependence matter? *International Regional Science Review*, 29(1), 3-34. <https://doi.org/10.1177/0160017605279453>

17. Fang, C., & Yu, D. (2017). Urban agglomeration: An evolving concept of an emerging phenomenon. *Landscape and Urban Planning*, 162, 126-136. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.014>
18. Feenstra, R. C. (1998). Integration of trade and disintegration of production in the global economy. *Journal of Economic Perspectives*, 12(4), 31-50. <https://doi.org/10.1257/jep.12.4.31>
19. Ferri, G., & Mattesini, F. (1997). *Finance, human capital, and infrastructure: An empirical investigation of post-war Italian growth* (N.º 321; Papers). Banca Italia - Servizio di Studi. <https://ideas.repec.org/p/fth/banita/321.html>
20. Fujita, M., Krugman, P., & Venables, A. J. (2001). *The spatial economy. Cities, regions, and international trade*. Cambridge: MIT Press.
21. Fujita, M., & Thisse, J.-F. (2006). Globalization and the evolution of the supply chain: Who gains and who loses? *International Economic Review*, 47(3), 811-836.
22. Galvis, L. A., & Hahn, L. W. (2016). Crecimiento municipal en Colombia: el papel de las externalidades espaciales, el capital humano y el capital físico. *Sociedad y Economía*, 31, 149-174.
23. Graham, D. J. (2007). Agglomeration, productivity and transport investment. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 41(3), 317-343.
24. Gramlich, E. M. (1994). Infrastructure investment: A review essay. *Journal of Economic Literature*, 32(3), 1176-1196.
25. Henderson, J. V., & Thisse, J. (2004). *Handbook of Regional and Urban Economics* [Handbook of Regional and Urban Economics]. Elsevier. <https://econpapers.repec.org/bookchap/eeereghes/4.htm>
26. Hensher, D. A. (2011). *Valuation of travel time savings* [capítulos]. Londres: Edward Elgar Publishing. [https://econpapers.repec.org/bookchap/elgeechap/12679\\_5f7.htm](https://econpapers.repec.org/bookchap/elgeechap/12679_5f7.htm)
27. Hummels, D., & Schaur, G. (2012). *Time as a trade barrier* (Working Paper 17758). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w17758>
28. Iuzzolino, G., Pellegrini, G., & Viesti, G. (2011). *Convergence among Italian regions, 1861-2011* (SSRN Scholarly Paper ID 2239019). Social Science Research Network. <https://papers.ssrn.com/abstract=2239019>
29. Kalmanovitz, S. (2011). *Nueva historia económica de Colombia*. Bogotá: Penguin Random House Grupo Editorial Colombia.
30. Krugman, P. (1991). Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy*, 99(3), 483-499. <https://doi.org/10.1086/261763>
31. Krugman, P. R. (1993). *Geography and trade*. Cambridge (MA): MIT Press.

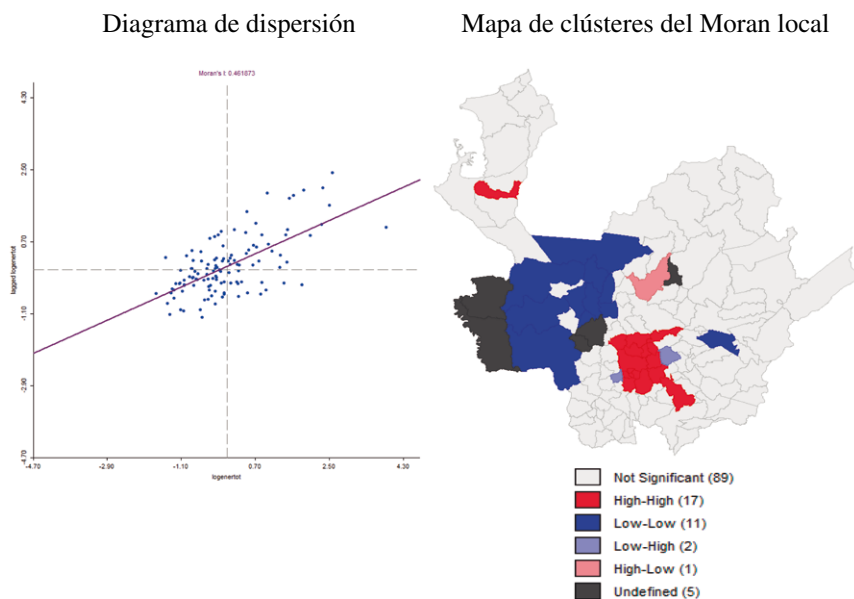
32. Lesage, J. P., & Fischer, M. M. (2008). Spatial growth regressions: Model specification, estimation, and interpretation. *Spatial Economic Analysis*, 3(3), 275-304. <https://doi.org/10.1080/17421770802353758>
33. LeSage, J., Pace, R. K., & Pace, R. K. (2009). *Introduction to spatial econometrics*. Nueva York: Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781420064254>
34. McCann, P. (2005). Transport costs and new economic geography. *Journal of Economic Geography*, 5(3), 305-318. <https://doi.org/10.1093/jnlecg/lbh050>
35. McCann, P., & Oort, F. van. (2019). Theories of agglomeration and regional economic growth: A historical review. *Handbook of Regional Growth and Development Theories*. <https://www.elgaronline.com/view/edcoll/9781788970013/9781788970013.00007.xml>
36. Melo, P. C., Graham, D. J., & Brage, R. (2013). The productivity of transport infrastructure investment: A meta-analysis of empirical evidence. *Regional Science and Urban Economics*, 43(5), 695-706. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2013.05.002>
37. Mori, T. (2016). Monocentric versus polycentric models in urban economics. En *The New Palgrave Dictionary of Economics* (pp. 1-4). Londres: Palgrave Macmillan. [https://doi.org/10.1057/978-1-349-95121-5\\_2454-1](https://doi.org/10.1057/978-1-349-95121-5_2454-1)
38. Ospina, G. (2016). El papel de las vías secundarias y los caminos vecinales en el desarrollo de Colombia. *Revista de Ingeniería*, 0(44), 20-27. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i44.911>
39. Ottaviano, G., & Thisse, J. F. (2004). Agglomeration and Economic Geography. En J. V. Henderson & J. F. Thisse (eds.). *Handbook of Regional and Urban Economics*. Vol. 4 (pp. 2563-2608). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0080\(04\)80015-4](https://doi.org/10.1016/S1574-0080(04)80015-4)
40. Palma, A. de, Lindsey, R., Quinet, E., & Vickerman, R. (2011). *A Handbook of Transport Economics*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
41. Pérez, V. G. (2005). La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia. *Documentos de Trabajo sobre Economía Regional*, 64, 1-70.
42. Puga, D. (2002). European regional policies in light of recent location theories. *Journal of Economic Geography*, 2(4), 373-406. <https://doi.org/10.1093/jeg/2.4.373>
43. Quah, D. (1993). Galton's fallacy and tests of the convergence hypothesis. *The Scandinavian Journal of Economics*, 95(4), 427-443. <https://doi.org/10.2307/3440905>
44. Quah, D. T. (1996a). Regional Convergence Clusters Across Europe. *European Economic Review*, 40(3), 951-958. [https://doi.org/10.1016/0014-2921\(95\)00105-0](https://doi.org/10.1016/0014-2921(95)00105-0)

45. Quah, D. T. (1996b). Empirics for economic growth and convergence. *European Economic Review*, 40(6), 1353-1375. [https://doi.org/10.1016/0014-2921\(95\)00051-8](https://doi.org/10.1016/0014-2921(95)00051-8)
46. Ramírez, M. T. (2001). Los ferrocarriles y su impacto sobre la economía colombiana. *Revista de Historia Económica - Journal of Iberian and Latin American Economic History*, 19(1), 81-122. <https://doi.org/10.1017/S0212610900008946>
47. Redding, S. J., & Turner, M. A. (2015). Transportation costs and the spatial organization of economic activity. En G. Duranton, J. V. Henderson & W. C. Strange (eds.), *Handbook of Regional and Urban Economics* (vol. 5, pp. 1339-1398). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59531-7.00020-X>
48. Rey, S. J., & Montouri, B. D. (1999). US regional income convergence. A spatial econometric perspective. *Regional Studies*, 33(2), 143-156. <https://doi.org/10.1080/00343409950122945>
49. Samuelson, P. A. (1952). The transfer problem and transport costs: The terms of trade when impediments are absent. *The Economic Journal*, 62(246), 278-304. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/2227005>
50. Sánchez, L. (2006). Efecto del cambio en los costos de transporte por carretera sobre el crecimiento regional colombiano. *Repositorio BAN-REP*, 24(50), 98-153.
51. Sloboda, B. W., & Yao, V. W. (2008). Interstate spillovers of private capital and public spending. *The Annals of Regional Science*, 42(3), 505-518. <https://doi.org/10.1007/s00168-007-0181-z>
52. Stine, R. A. (1995). Graphical interpretation of variance inflation factors. *The American Statistician*, 49(1), 53-56. <https://doi.org/10.1080/00031305.1995.10476113>
53. Tabuchi, T. (2011). *City formation and transport costs* [capítulos]. Edward Elgar Publishing. [https://econpapers.repec.org/bookchap/elgeechap/12679\\_5f6.htm](https://econpapers.repec.org/bookchap/elgeechap/12679_5f6.htm)
54. Vanhoudt, P., Mathä, T., & Schmid, B. (2000). How productive are capital investments in Europe? *EIB Papers*, 5(2), 81-106.
55. Villar, L., & Ramírez, J. M. (2014). *Infraestructura regional y pobreza rural*. (Working Paper). Fedesarrollo (Colombia) <http://www.repository.fedesarrollo.co/handle/11445/234>

## ANEXOS

### Anexo 1.

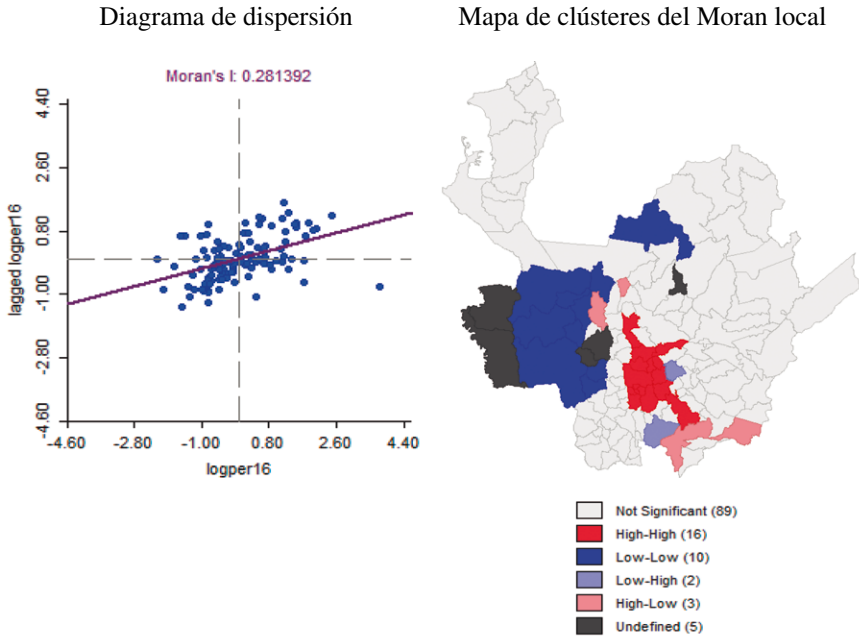
Diagrama de dispersión del Moran local para el logaritmo del consumo de energía per cápita, 2008



Fuente: elaboración propia, a partir del *Anuario Estadístico de Antioquia* y DANE.

**Anexo 2.**

Diagrama de dispersión del Moran local para el logaritmo del consumo de energía per cápita, 2016

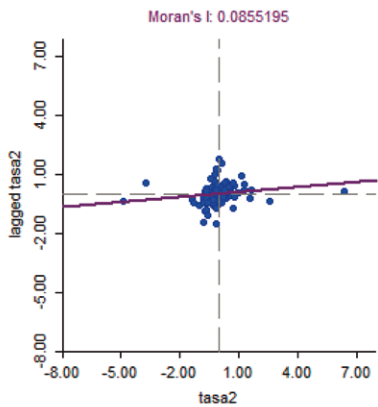


Fuente: elaboración propia, a partir del *Anuario Estadístico de Antioquia* y DANE.

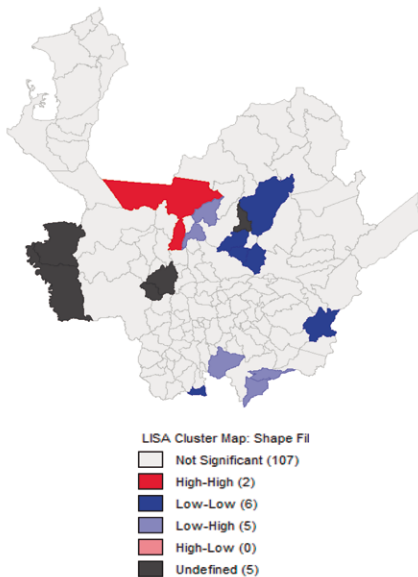
**Anexo 3.**

Diagrama de dispersión del Moran local para la tasa de crecimiento del consumo de energía

Diagrama de dispersión



Mapa de clústeres del Moran local



Fuente: elaboración propia, a partir del *Anuario Estadístico de Antioquia* y DANE.