



Universidad del
Rosario





Integración Regional y Eficiencia en la Infraestructura

Vial: Impacto en los Costos de Transporte de Carga

Terrestre

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO

DIRECCIÓN DE PLANEACIÓN Y EFECTIVIDAD INSTITUCIONAL

CENTRO DE ESTUDIOS PARA LA COMPETITIVIDAD REGIONAL – SCORE

Alejandro Cheyne, Rector

Mónica María Correa Zabala, Directora DPEI

Daniel Ricardo Torralba, Coordinador SCORE

Laura Nathalia León, Investigadora

Michael Andrés Cifuentes, Investigador

Elian Camilo Salinas, Investigador

Estefanía Ramírez Álvarez, Asistente de Investigación

Resumen:

El estudio se enfoca en analizar el costo de transporte de carga terrestre en Colombia y su relación con la infraestructura vial y la gestión administrativa, considerando tanto factores internos como interacciones espaciales entre los departamentos del país. Los resultados muestran que los costos de transporte tienden a incrementar a lo largo del tiempo y se identifican departamentos con una mayor variabilidad. Además, se establece una relación entre la calidad de la infraestructura vial y los costos de transporte de carga terrestre, lo que sugiere que una mejor gestión administrativa, una adecuada inversión en infraestructura y la colaboración interdepartamental pueden reducir los costos de transporte y mejorar la competitividad regional.

Palabras clave: Competitividad, infraestructura vial, transporte de carga terrestre, gestión administrativa.

Abstract:

The study focuses on analyzing the road freight transport cost in Colombia and its relationship with road infrastructure and administrative management, considering both internal factors and spatial interactions among the country's departments. The results reveal that transportation costs tend to increase over time, identifying departments with higher variability. Furthermore, a connection is established between the quality of road infrastructure and road freight transport cost, implying that improved administrative management, adequate infrastructure investment, and interdepartmental collaboration can lower transportation costs and enhance regional competitiveness.

Keywords: Competitiveness, road infrastructure, road freight transportation, administrative management.

1. Introducción

A medida que evolucionamos hacia un mundo globalizado, las estructuras regionales y locales se han posicionado en el centro de la discusión económica y política (Pérez Marín, 2020). Dentro del debate un tema de gran trascendencia es el de la gestión administrativa local, particularmente en la gestión de costos, coincidiendo con Alonso-Villar (2007) quien también subraya cómo las decisiones locales tienen un impacto directo en la economía y el bienestar de las regiones.

La gestión administrativa local, cuando es eficiente, puede transformarse en un instrumento poderoso para la reducción de costos. En el ámbito del transporte terrestre de carga, este principio cobra especial relevancia. Una infraestructura vial sólida y bien planificada puede traducirse en ahorros significativos, desde el consumo de combustible hasta la durabilidad de los neumáticos, beneficiando no solo a las empresas de transporte, sino también repercutiendo en una economía más accesible para el consumidor final (Pérez Marín, 2020; Vallejo & Aguilar, 2004).

Dicho esto, la administración local no opera en el vacío. Las regiones, en su diversidad y complejidad, se entrelazan y se afectan mutuamente a través de intrincadas redes de comercio, transporte, e intercambio cultural y social. Deichmann & Gill (2008) y Pérez Marín (2020) coinciden en que la integración regional emerge como un concepto revolucionario en este ámbito. Al facilitar la colaboración y coordinación entre regiones adyacentes, no solo se optimizan los recursos, sino que también se logra un sistema de transporte más coherente y robusto.

La nueva geografía económica se erige como un marco analítico vital en este escenario. Pérez Marín (2020) y Fajgelbaum & Schaal (2020) concuerdan en que esta disciplina ofrece una

perspectiva única que prioriza la localización y conectividad. La incorporación de infraestructura y logística, desde esta óptica, es esencial para potenciar la competitividad y el desarrollo económico de las regiones.

La gestión administrativa, lejos de ser un simple ejercicio burocrático, se posiciona como una estrategia clave para el crecimiento regional. Las inversiones en infraestructura y logística, respaldadas por la nueva geografía económica, generan externalidades positivas, incentivando nuevas inversiones y fortaleciendo economías regionales (Pérez Marín, 2020; Sunkel, 1998).

No obstante, la gestión administrativa lleva consigo una doble responsabilidad. Mientras puede catalizar el desarrollo en una región, también puede generar desafíos para otras. Parra-Velandia & Ordoñez-Cetinam (2020) argumentan que este efecto cascada señala la necesidad de una gestión administrativa consciente y colaborativa. La integración regional, en este sentido, no solo maximiza el potencial de una región, sino que también asegura un equilibrio en el desarrollo a lo largo de regiones interconectadas.

El documento está organizado de la siguiente manera. La siguiente sección describe la revisión de literatura implementada. La 3 sección expone los datos y los principales conceptos utilizados. La 4 sección presenta la metodología. Las secciones 5, 6 y 7 describen los resultados y, finalmente, la 8 sección concluye los hallazgos del estudio.

2. Revisión de literatura

La gestión administrativa local ha sido un eje central en el desarrollo de las sociedades, y su rol en la evolución de estructuras regionales ha ganado prominencia en tiempos recientes (Pérez

Marín, 2020). Las investigaciones de Alonso-Villar (2007) y Hernández (2018) refuerzan la idea de que las decisiones administrativas locales tienen una influencia tangible en la economía y el bienestar general, con una especial atención al sector del transporte terrestre de carga.

Dentro de este ámbito, las estrategias administrativas enfocadas en una infraestructura vial adecuada pueden llevar a significativas reducciones en los costos operativos. Esta relación entre gestión administrativa y optimización del transporte es subrayada tanto por Vallejo & Aguilar (2004) como por Banister & Berechman (2001). Estos autores concuerdan en que una planificación meticulosa y decisiones informadas pueden beneficiar a consumidores y negocios al disminuir gastos asociados con el transporte, como el consumo de combustible y el desgaste de componentes vehiculares.

No obstante, para abordar los costos de transporte en su totalidad, es imperativo considerar la gestión administrativa más allá de las fronteras locales. Las regiones, interconectadas a través de redes de comercio y transporte, requieren una perspectiva holística en su gestión (Deichmann & Gill, 2008). En este panorama, la integración regional se destaca como una estrategia esencial. Fajgelbaum & Schaal (2020) y Pérez Marín (2020) resaltan cómo la coordinación y colaboración entre regiones puede optimizar recursos, reducir redundancias y, en última instancia, llevar a costos de transporte más bajos.

La nueva geografía económica ofrece una hoja de ruta para estas estrategias de integración. Combes & Lafourcade (2005) señalan que, al considerar factores como la localización, conectividad y accesibilidad, se pueden identificar puntos de intervención estratégicos para mejorar la eficiencia en el transporte. Sunkel (1998) va más allá, indicando que inversiones en

infraestructura alineadas con estos principios no solo optimizan el transporte, sino que también fortalecen la competitividad regional.

Sin embargo, estas estrategias no pueden ser implementadas en aislamiento. La literatura sugiere una gestión administrativa que sea consciente de las repercusiones en un ámbito regional más amplio. Tanto Parra-Velandia & Ordoñez-Cetina (2020) como Rodrigue (2016) y Usiña (2014) enfatizan que decisiones tomadas en una región pueden tener efectos dominó en otras, por lo que una visión integradora es esencial.

Olper & Raimondi (2009) y Puente-Ajovín & Sanz-Gracia (2021) ofrecen un argumento complementario en el cual las decisiones administrativas no solo deben ser reactivas sino también proactivas, ajustándose a las dinámicas cambiantes entre regiones. Esta adaptabilidad, combinada con estrategias basadas en la colaboración y la integración, es promovida también por Arroyave & Rodríguez (2022).

3. Marco de Datos y Conceptos Fundamentales

3.1. Costo de transporte de carga terrestre

La variable del costo de transporte de carga terrestre proviene de la propuesta metodológica y estimación presentada por Torralba Barreto et al. (2023) quienes definen el costo de transporte de carga (origen-destino) de la siguiente forma; “Esta óptica permite evaluar las condiciones de infraestructura y logística que afectan el transporte de mercancías entre departamentos, identificando barreras y oportunidades en la conexión entre diferentes regiones. Al aislar el efecto

de los costos internos, se puede determinar cómo estos factores influyen en la competitividad y en el comercio interdepartamental”.

3.2. Gestión de la infraestructura vial

La calidad, extensión y gestión de la infraestructura vial son factores cruciales en la determinación de los costos de transporte de carga y la competitividad general de una región. Para evaluar estas características, se hace uso de un conjunto de variables provenientes del Índice Departamental de Competitividad, en adelante IDC, desarrollado por la Universidad del Rosario y el Consejo Privado de Competitividad. El IDC, en su versión 2023, compila información detallada en el subpilar de infraestructura vial, proporcionando un conjunto de variables que representan un aspecto crítico del componente, su mantenimiento y su gestión, asimismo, factores que influyen en el costo de transporte de carga terrestre y, por ende, en la competitividad de los territorios. La ventana de observación de la información abarca los años 2016 a 2021 y la relevancia de los indicadores es proporcionada a continuación.

- **Red vial primaria por área:** Se refiere a la densidad de la red vial troncal que conecta las principales ciudades y puntos de interés a nivel nacional en relación con el área geográfica del departamento. Su medición es esencial ya que una densidad adecuada facilita el comercio interdepartamental e internacional. Una alta densidad puede indicar eficiencia en la conectividad, lo que a su vez puede reducir los costos de transporte de carga al disminuir distancias y tiempos de viaje. Sin embargo, la gestión administrativa

local es crucial para garantizar la adecuada interacción entre estas vías primarias y las redes secundaria y terciaria, asegurando así una distribución eficiente.

- **Red vial a cargo del departamento por área:** Esta variable representa la densidad de las vías, probablemente secundarias y terciarias, en relación con el área del departamento. Su medición es vital para entender la conectividad interna, en especial hacia zonas rurales y agrícolas. Una alta densidad sugiere una red robusta que puede influir positivamente en la reducción de costos de carga al ofrecer múltiples rutas y conexiones. Sin embargo, esta densidad también impone una responsabilidad en el control local para mantener y administrar adecuadamente estas vías, impactando directamente su funcionalidad y eficiencia.
- **Porcentaje de vías primarias en buen estado:** Representa la proporción de la red vial troncal que se encuentra en condiciones óptimas para el tránsito. Medirlo es fundamental porque refleja el nivel de inversión y prioridad otorgados a la infraestructura vial. Un alto porcentaje puede reducir significativamente los costos de carga de transporte al disminuir el desgaste de vehículos y evitar demoras. Sin embargo, mientras que la inversión y mantenimiento principal podría venir del gobierno nacional, el manejo local administrativo es vital para garantizar que estas vías se integren eficientemente con la red departamental, asegurando un flujo continuo.
- **Porcentaje de vías a cargo del departamento en buen estado:** Indica la proporción de vías departamentales, posiblemente secundarias y terciarias, en condiciones aptas

para el tránsito. Es crucial medirlo porque refleja la capacidad del departamento para asignar recursos al mantenimiento vial. Un alto porcentaje sugiere eficiencia en la gestión y puede ser indicativo de costos de transporte reducidos debido a menos daños a los vehículos y tiempos de tránsito más cortos. La ejecución interna por parte de los territorios juega un papel decisivo aquí, ya que una buena administración puede maximizar la utilidad y longevidad de estas vías, mientras que una gestión deficiente podría acarrear costos adicionales y reducir la competitividad de la región.

4. Metodología

Este estudio se centra en dos objetivos principales. En primer lugar, se busca cuantificar el impacto de la gestión administrativa en la infraestructura vial sobre los costos de carga de transporte terrestre. En segundo lugar, se pretende entender cómo la gestión administrativa de los departamentos aledaños o contiguos afecta los costos de transporte de carga terrestre del departamento en cuestión. Adicionalmente, se examina el comportamiento y la estructura de los costos de transporte de carga, la carga mediana de transporte, los indicadores de infraestructura vial y las conexiones comerciales, permitiendo una comprensión integral de cómo factores internos y externos afectan el desarrollo de la competitividad regional.

4.1. Análisis de distribución

En el marco de la presente investigación, la primera etapa de análisis consistió en identificar y analizar las estructuras de costo de transporte terrestre en diferentes departamentos. Se persiguió el objetivo de evidenciar fluctuaciones en la distribución y comportamientos

estructurales que podrían indicar una dinámica subyacente en los costos de transporte. A continuación, se describen las metodologías estadísticas empleadas.

4.1.1. Prueba de Kolmogorov-Smirnov

La Prueba de Kolmogorov-Smirnov es un método no paramétrico diseñado para determinar si dos muestras, tomadas en distintos momentos, provienen de la misma distribución. El objetivo es comparar las funciones de distribución acumulativa de ambas muestras para discernir si hay cambios significativos en la distribución a lo largo del tiempo la ejecución de la prueba se realizó bajo la librería STATS (R Core Team, 2023) en R.

El estadístico de la prueba se encarga de calcular la mayor diferencia entre las funciones de distribución acumulativa de las dos muestras, y esta diferencia se cuantifica a través de siguiente fórmula:

$$D = \max (|F_1(x) - F_2(x)|)$$

Donde $F_1(x)$ corresponde a la función de distribución acumulativa del primer conjunto de datos observado y $F_2(x)$ es la función de la distribución acumulativa de la distribución del segundo conjunto de datos observado.

Bajo la hipótesis nula (H_0), se asume que ambas muestras provienen de la misma distribución. La hipótesis alternativa (H_1), por otro lado, sostiene que las muestras tienen distribuciones diferentes. Una evidencia estadística fuerte contra H_0 se obtiene si el p-valor resultante es menor que un nivel de significancia predefinido, que en este caso es de 0.05. Si este es el caso, se rechaza la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa, indicando que las distribuciones son significativamente diferentes. Bajo el presente estudio, la prueba de

Kolmogorov-Smirnov se utiliza para analizar si existen diferencias significativas entre las distribuciones de los costos de transporte de carga terrestre, la carga mediana de transporte y los indicadores de infraestructura vial a lo largo del tiempo, lo cual permite una comprensión más profunda de las tendencias y cambios estructurales de estos componentes a lo largo del periodo de análisis (2016-2021).

4.1.2. Prueba de Jonckheere-Terpstra

La prueba de Jonckheere-Terpstra es una prueba estadística no paramétrica empleada con el fin de determinar si existe una tendencia significativa en una serie de grupos ordenados. La prueba evalúa si las medianas de los grupos aumentan o disminuyen de manera monotónica a medida que se mueven de un grupo al siguiente. El estadístico de prueba basa en comparar la suma de rangos ponderados para las tendencias ascendentes con la suma de rangos ponderados para las tendencias descendentes. La aplicación de la prueba se realizó por medio de la librería DESCTOOLS (Signorell, 2023) de R y su fórmula general es:

$$JT = \frac{T_A - T_D}{\sqrt{Var(T_A - T_D)}}$$

Donde T_A es la suma de rangos ponderados para las tendencias ascendentes, T_D corresponde a la suma de rangos ponderados para las tendencias descendentes y $Var(T_A - T_D)$ es la varianza de la diferencia entre las sumas de los rangos ponderados. La hipótesis nula (H_0) indica que no hay tendencia significativa en las medianas de los grupos, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) se centra en que existe una tendencia significativa en las medianas de los grupos. La prueba evalúa si el valor del estadístico de prueba es significativamente diferente de cero. Si el p-valor

asociado con la prueba es menor que un nivel de significancia predefinido (en este caso, 0.05), se rechaza la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa, lo que indica la presencia de una tendencia significativa en las medianas de los grupos. La aplicación de esta prueba permite identificar si los indicadores de infraestructura vial están experimentando un aumento o disminución significativo, lo cual puede ser crucial para comprender la evolución y los desafíos en el sistema de transporte de carga terrestre en Colombia entre 2016 y 2021.

4.2. Análisis de modelos

La segunda etapa del análisis se enfocó en medir el impacto de la gestión administrativa en la infraestructura vial en relación con los costos de carga de transporte terrestre. Además, se buscó comprender como dicha gestión en los departamentos contiguos afecta los costos de transporte de carga terrestre en la unidad territorial bajo análisis. Los métodos estadísticos aplicados se describen a continuación.

4.2.1. Modelo de datos de panel

La relación entre la gestión de infraestructura vial y los costos asociados al transporte de carga terrestre ha sido examinada a través de un modelo de datos de panel. Esta metodología permite analizar variaciones en múltiples unidades a lo largo de distintos periodos temporales, facilitando así la identificación de tendencias y patrones.

Específicamente, se ha utilizado un modelo de efectos fijos, que se adecúa a la premisa de que existen características endógenas y constantes en cada departamento que pueden afectar los costos de transporte. Estos factores estables pueden estar vinculados a desafíos institucionales

inherentes a la gestión administrativa, que a menudo muestran resistencia al cambio en cortos periodos de tiempo.

La aplicación del modelo se realizó por medio de la librería SPLM (Croissant & Millo, 2008) del software R y está representado por la siguiente estructura:

$$y_{it} = \alpha_i + x'_{it}\beta + \mu_{it}$$

Aquí, i denota los diferentes departamentos observados y t se refiere a los periodos de tiempo, abarcando seis años (2016-2021). La variable dependiente y simboliza el costo de transporte de carga terrestre. En tanto, β refleja el vector de coeficientes asociado a x , el conjunto de cuatro variables explicativas relacionadas a la gestión de infraestructura vial. Estas variables comprenden la red vial primaria por área, la red vial administrada por el departamento por área, el porcentaje de vías primarias en buen estado, y el porcentaje de vías gestionadas por el departamento que se encuentran en condiciones óptimas. El término α actúa como un intercepto único para cada departamento, mientras que μ designa el error estocástico, con una distribución normal y varianza σ_{μ}^2 .

Para corroborar la robustez y confiabilidad del modelo empleado, se realizaron algunas pruebas de consistencia como Breusch-Pagan, Hausman, Durbin-Watson y Shapiro-Wilk. Los detalles y resultados de estas pruebas se exponen en la sección correspondiente del anexo B del documento.

4.2.2. Modelo de datos de panel espacial

Tras evaluar los impactos de la gestión de la infraestructura vial en los costos de transporte de carga terrestre, se optó por avanzar en el análisis y adaptar un modelo de datos de panel espacial.

Esta adaptación surge de la necesidad de ponderar las interacciones espaciales entre departamentos, reconociendo que las regiones no son entidades aisladas y que sus decisiones pueden tener repercusiones en áreas adyacentes.

La inclusión de una perspectiva espacial se justifica al considerar que las decisiones administrativas de un departamento determinado pueden generar externalidades, afectando indirectamente los costos de transporte en departamentos vecinos. Es decir, la eficiencia en el transporte de carga en una región determinada puede estar condicionada tanto por sus propias políticas y gestión de infraestructura vial como por las prácticas adoptadas en zonas limítrofes.

La modelización se llevó a cabo empleando la biblioteca SPLM (Millo & Piras, 2012) dentro del software R, reconocida por su capacidad en el tratamiento de análisis espacial. Este modelo de datos de panel espacial integra las mismas variables explicativas que el modelo previamente detallado, pero con un rezago espacial, reflejando las interdependencias entre departamentos. Su formulación matemática se presenta como:

$$y = \lambda(I_T \otimes W_N)y + (\iota_T \otimes I_N)\mu + X\beta + \varepsilon$$

Donde λ corresponde al coeficiente de autocorrelación espacial, W_N representa la matriz de pesos espaciales, ι_T es el vector de unos con dimensión T , I_N es una matriz identidad de tamaño $N \times N$ y el error está representado por ε_i , el cual sigue una distribución normal y varianza σ_ε^2 .

Las pruebas de consistencia aplicadas se encuentran disponibles en el anexo C del presente documento.

5. Resultados

5.1. Estructura del costo de transporte de carga terrestre

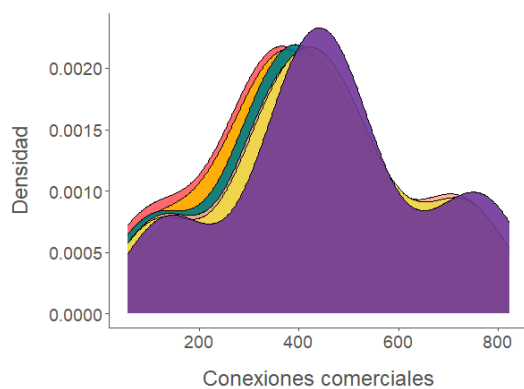
En el contexto de la presente investigación, se propone una hipótesis inicial relacionada con la interacción entre las conexiones comerciales y los costos de transporte terrestre en Colombia. Inspirados por los estudios de Alonso-Villar (2007) y Combes & Lafourcade (2005) se postula que, a medida que se expande la red de municipios receptoras de cargas de un departamento, los costos asociados al transporte terrestre no sufrirían un incremento proporcional significativo. Esta hipótesis se sustenta en la idea de que una red comercial más densa, tal como lo aborda Fajgelbaum & Schaal (2020), podría conducir a una optimización de itinerarios de transporte, y, por ende, a una reducción en los trayectos totales. Esta dinámica, de acuerdo con Deichmann & Gill (2008), posee el potencial de impulsar la eficiencia logística y, en consecuencia, reducir los costos asociados al transporte.

Hernández (2018) y Martincus et al. (2017) han demostrado cómo las interconexiones comerciales pueden tener impactos profundos en la logística y eficiencia del transporte. A lo largo de este estudio, se examinará esta relación en el contexto colombiano, buscando corroborar la validez de nuestra propuesta y profundizar en la comprensión de la interacción entre estos elementos clave. Además, tomando en cuenta los hallazgos de Parra-Velandia & Ordoñez-Cetina (2020), se analizará la tendencia reflejada por la mediana de la carga de transporte terrestre, con el fin de elucidar las características más salientes de este indicador y su evolución a lo largo de los periodos en cuestión.

5.2. Estructura de las conexiones comerciales a nivel nacional

Figura 1

Distribución de las conexiones comerciales por vía terrestre (2016-2021).



Años	Distancia	P-Valor
2016 - 2017	0.31	0.172
2017 - 2018	0.19	0.733
2018 - 2019	0.27	0.307
2019 - 2020	0.23	0.501
2020 - 2021	0.35	0.088

Fuente: Cálculos propios con base a la información proveniente del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC).

Nota: Los resultados de la tabla corresponden a la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Costos multiplicados por un deflactor para obtener precios constantes a diciembre 2022. Tipo de carga normal.

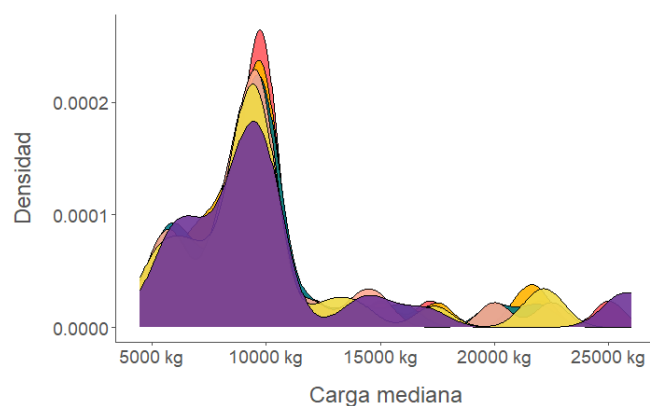
La Figura 1, ilustra la dinámica y distribución de las conexiones a nuevos mercados municipales por parte del departamento bajo análisis, excluyendo las conexiones intradepartamentales. Durante 2016, los municipios conectados fluctuaron entre 56 y 751, promediando alrededor de 389 conexiones por departamento. Este promedio experimentó un alza en 2017, aproximándose a 403 municipios. Esta progresión se mantuvo en 2018, con rangos de conexión entre 67 y 800 municipios y un promedio cercano a 419. Durante 2019 y 2020, la tendencia se estabilizó, observándose conexiones comerciales en aproximadamente 437 municipios. En 2021, la dinámica presentó un incremento más marcado, con conexiones que variaron desde 95 hasta 818 municipios y un promedio aproximado de 460.

Sin embargo, el análisis estadístico revela una constancia en la estructura de estas conexiones a lo largo del tiempo. Utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se determinó que el p-valor asociado a las variaciones anuales en la estructura de conexiones supera el umbral de significancia del 0.05. Esto indica que no se observan cambios estructurales significativos en las conexiones comerciales interdepartamentales año tras año. En consecuencia, la hipótesis inicial que postulaba que al incrementar el número de municipios conectados por un departamento no se observaría un aumento significativo en los costos de carga de transporte queda sin evidencia robusta que la respalde en este contexto.

5.3. Estructura de la carga mediana de transporte terrestre a nivel nacional

Figura 2

Distribución de la carga mediana de transporte terrestre (2016-2021).



Años	Distancia	P-Valor
2016 - 2017	0.08	0.99
2017 - 2018	0.11	0.97
2018 - 2019	0.08	1.00
2019 - 2020	0.08	1.00
2020 - 2021	0.08	1.00

Fuente: Cálculos propios con base a la información proveniente del Registro Nacional de Despacho de Carga-(RNDC).

Nota: Los resultados de la tabla corresponden a la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Costos multiplicados por un deflactor para obtener precios constantes a diciembre 2022. Tipo de carga normal.

La Figura 2 ilustra la evolución de la carga mediana de transporte terrestre entre 2016 y 2021. Es evidente que la mayoría de los departamentos mantienen una carga mediana en torno a los 10000 kilogramos. Esta concentración sugiere que, durante el período estudiado, la carga mediana ha permanecido relativamente constante en torno a ese valor.

A pesar de este patrón predominante, es necesario destacar la presencia de departamentos con cargas medianas que exceden la mencionada referencia. Esta observación indica una heterogeneidad en los patrones de transporte de carga entre las distintas regiones del país.

No obstante, un análisis más profundo, basado en la prueba de Kolmogorov-Smirnov, refuerza la percepción de estabilidad en la estructura de la carga mediana. Esta prueba arroja que las variaciones anuales en la estructura de la carga no son estadísticamente significativas al nivel de significancia del 0.05. En otras palabras, aunque existan diferencias visibles entre departamentos, la tendencia general a lo largo de los años analizados ha sido sorprendentemente estable, sin evidencia de cambios estructurales relevantes.

5.4. Estructura del costo de transporte de carga terrestre a nivel nacional

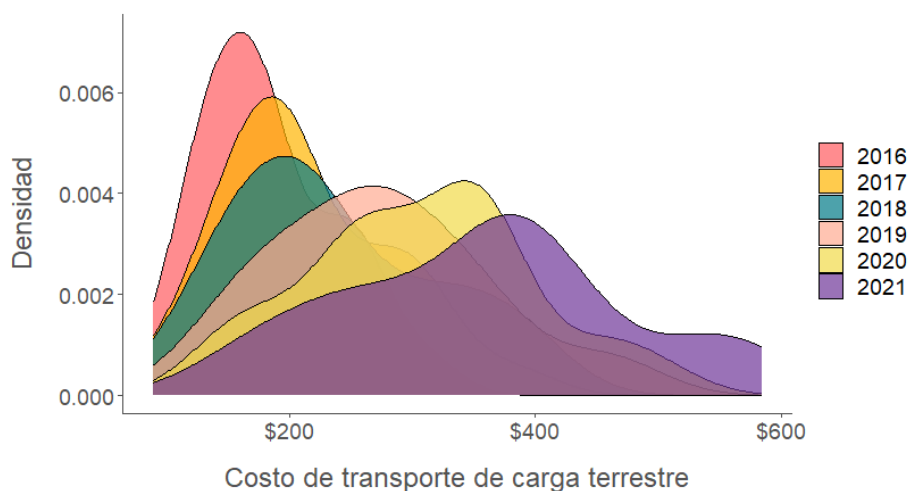
El transporte de carga terrestre constituye un componente crucial en la gestión logística para la movilidad eficaz de bienes. Por ende, es imperativo analizar las dinámicas asociadas a los costos en este sector. Se ha identificado una tendencia creciente en los costos de transporte, acompañada de una divergencia ampliada en estos valores.

A partir de datos visibles en la Figura 3, es evidente un incremento sostenido en los costos medios de carga durante el período estudiado. En 2016, el costo medio se registró en \$183.99, fluctuando entre \$89.33 y \$315.00. Este patrón ascendente persistió, alcanzando medias anuales

de \$214.73, \$236.50, \$272.80, \$306.90 para los años 2017 a 2020 respectivamente. En 2021, la tendencia persistió, con un rango de costos desde \$151.90 hasta \$584.90 y una media de \$358.90, reflejando un alza de aproximadamente \$52.00 en comparación con 2020.

Figura 3

Distribución del costo de transporte de carga terrestre entre 2016 y 2021.



Fuente: Cálculos propios con base a la información proveniente del Registro Nacional de Despacho de Carga-(RNDC).

Nota: Los resultados de la tabla corresponden a la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Costos multiplicados por un deflactor para obtener precios constantes a diciembre 2022. Tipo de carga normal.

Adicionalmente, las curvas de densidad estimadas ofrecen perspectivas sobre la probabilidad relativa vinculada a los costos de carga. En 2016, la mayoría de los departamentos del país reflejaron un costo promedio cerca de \$160.12, con una probabilidad pico de 0.0072. Para 2017, la concentración más probable se situó en \$186.31 (probabilidad 0.0059). Esta probabilidad declinó consecutivamente en años posteriores, señalando una diversificación en costos entre las

regiones. En 2019 y 2020, los costos predominantes se ubicaron en \$267.77 y \$342.44, respectivamente. En 2021, la probabilidad máxima decreció a menos de 0.0040, con un costo preponderante de \$379.29.

Este análisis enfatiza la imperiosa necesidad de comprender los determinantes de estas dinámicas y estructurar estrategias que aseguren una cadena logística resiliente y eficiente en el contexto colombiano.

5.5. Cambios temporales en la estructura del costo de transporte de carga

La evaluación sistemática de las fluctuaciones en los costos de transporte de carga terrestre durante un periodo definido es esencial para entender la evolución de la conectividad y la competitividad a nivel regional. Las herramientas estadísticas, especialmente la prueba de Kolmogorov-Smirnov, ofrecen una perspectiva valiosa al aportar perspectivas sobre la relevancia estadística de las variaciones detectadas. Esta interpretación estadística permite una comprensión más matizada de cómo los costos evolucionan y de qué manera afectan la competitividad territorial.

Los datos presentados en la Tabla 1 muestran los resultados de aplicar la prueba de Kolmogorov-Smirnov para examinar cambios anuales en los costos. A un nivel de significancia del 0.05, las fluctuaciones anuales en los costos no parecen ser estadísticamente relevantes. Esta conclusión señala que las tendencias en los costos de transporte de carga evolucionan de forma incremental, sin experimentar variaciones abruptas en periodos anuales.

Sin embargo, cuando se extiende el análisis para contemplar intervalos de dos años, el panorama cambia. Los datos revelan diferencias estadísticamente significativas al mismo nivel de

significancia del 0.05. Esta evidencia sugiere que la dinámica de los costos de transporte de carga muestra variaciones más marcadas en periodos bi-anales.

Tabla 1

Cambios temporales en la estructura del costo de transporte de carga terrestre.

Cambio Evaluado	Años	Distancia	P-Valor
Cambios en la estructura del costo de transporte de carga entre años consecutivos	Entre 2016 y 2017	0.31	0.172
	Entre 2017 y 2018	0.19	0.733
	Entre 2018 y 2019	0.27	0.307
	Entre 2019 y 2020	0.23	0.501
	Entre 2020 y 2021	0.35	0.088
Cambios de la estructura del costo de transporte de carga cada dos años	Entre 2016 y 2018	0.38	0.042
	Entre 2017 y 2019	0.38	0.042
	Entre 2018 y 2020	0.46	0.007
	Entre 2019 y 2021	0.46	0.007

Fuente: Cálculos propios con base a la información proveniente del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC). Costos a precios constante a diciembre 2022.

Nota: Los resultados de la tabla corresponden a la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Costos multiplicados por un deflactor para obtener precios constantes a diciembre 2022. Tipo de carga normal.

Estos hallazgos tienen profundas implicaciones para la planificación y gestión del transporte terrestre a nivel regional. Indican que, aunque los cambios en los costos pueden no ser evidentes en el corto plazo, existen tendencias subyacentes a mediano y largo plazo que pueden

impactar la rentabilidad y eficiencia del sector. Estas tendencias bi-anales señalan la necesidad de políticas de transporte y logística que no solo respondan a las fluctuaciones inmediatas, sino que también consideren las dinámicas a más largo plazo.

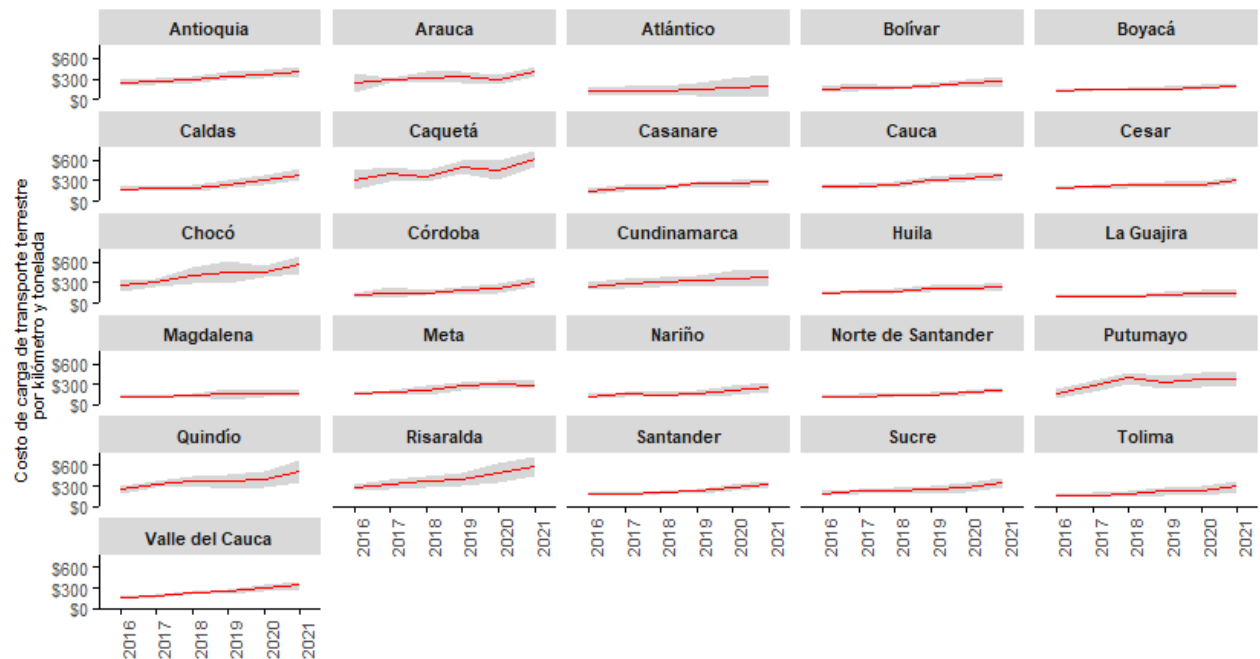
En el contexto de una economía globalizada, donde la conectividad y competitividad regional son esenciales para el crecimiento sostenible, comprender estos patrones temporales permite a los tomadores de decisiones anticipar desafíos y optimizar recursos. A medida que las regiones buscan fortalecer sus cadenas de suministro y garantizar la fluidez en el transporte de bienes, este entendimiento de la estructura de costos se convierte en una herramienta invaluable para garantizar una planificación estratégica eficaz y una adaptación proactiva al cambiante panorama del transporte terrestre.

5.6. Cambios departamentales en la estructura del costo de transporte de carga

Al analizar a nivel departamental la evolución de los costos de transporte de carga terrestre en Colombia entre 2016 y 2021, nos permite entender las distintas dinámicas que rigen estos costos en el país. Mientras que algunos departamentos muestran una variabilidad creciente en el tiempo, otros demuestran una estabilidad constante según la Figura 4. Estas diferencias nos hablan de situaciones particulares en cada región, influenciadas por factores económicos, logísticos y otras circunstancias que afectan los costos de carga.

Figura 4

Evolución departamental del costo de transporte de carga terrestre (2016-2021).



Fuente: Cálculos propios con base a la información proveniente del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC).

Nota: Los resultados de la tabla corresponden a la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Costos multiplicados por un deflactor para obtener precios constantes a diciembre 2022. Tipo de carga normal.

Para interpretar adecuadamente el análisis, es necesario entender algunos conceptos clave. La banda de confianza es una herramienta gráfica que define el rango donde, con cierta probabilidad, se esperaría encontrar los valores reales de una variable determinada. En este caso, la banda nos ayuda a visualizar la variabilidad anticipada de los costos de transporte de carga terrestre a lo largo de los años en diferentes departamentos. Esta banda refleja la incertidumbre asociada a las estimaciones, mostrando la variabilidad natural de los datos. Una banda amplia

indica una mayor variabilidad e incertidumbre en las estimaciones, mientras que una banda estrecha sugiere mayor certeza y una variabilidad más controlada.

Asimismo, se evidencia en la Figura 4, que, en departamentos como Atlántico, Risaralda, Quindío y Sucre, la banda de confianza se ensancha con el paso del tiempo. Esto indica una creciente variabilidad e incertidumbre en los costos, posiblemente afectada por factores externos o cambios en las condiciones económicas y logísticas.

En contraposición, en departamentos como Boyacá, Casanare, Cesar y Bolívar, la banda se mantiene uniforme y limitada a lo largo del período estudiado, reflejando condiciones estables en las variables que determinan el transporte terrestre en estas regiones.

Otros departamentos, como Chocó, Caquetá y Arauca, muestran bandas de confianza con variaciones notables a lo largo del tiempo. Estas oscilaciones podrían estar relacionadas con una combinación de factores tanto internos como externos, que generan cambios en la estimación de los costos cada año.

Desde una perspectiva administrativa y en el contexto colombiano, estos hallazgos revisten una importancia crítica. Revelan que, si bien Colombia actúa como una entidad unificada en el ámbito nacional, las realidades económicas y logísticas varían considerablemente de un departamento a otro. La variabilidad y estabilidad en los costos de transporte de carga terrestre no solo influyen en las decisiones a nivel de infraestructura y logística, sino que también tienen implicaciones directas en la competitividad regional, la planificación económica y el bienestar de las comunidades locales. Por ejemplo, departamentos con mayor estabilidad en sus costos podrían ser percibidos como zonas más confiables para la inversión, mientras que aquellos con mayor variabilidad podrían requerir intervenciones específicas para estabilizar su economía y logística.

Estos descubrimientos resaltan la necesidad de una gestión administrativa diferenciada, donde las políticas y estrategias se adecuen a las realidades particulares de cada departamento, promoviendo así un desarrollo equilibrado y sostenible en todo el país.

6. Factores influyentes en la gestión administrativa.

En el marco de la gestión administrativa local, esta sección realiza un profundo análisis de los indicadores asociados a la infraestructura vial entre 2016 y 2021. A través de la aplicación de dos pruebas estadísticas, la de Kolmogorov-Smirnov y la de Jonckheere-Terpstra, se busca no solo comprender la distribución de los datos, sino también identificar tendencias significativas en las medianas de los indicadores a lo largo del periodo estudiado. La gestión local debe considerar que cambios en la densidad y el estado de la red vial tienen consecuencias directas en costos operativos, tiempos de desplazamiento y seguridad vial. El monitoreo y comprensión de estos indicadores es esencial, pues proporcionan una perspectiva sobre cómo la infraestructura vial impacta tanto en los costos de transporte terrestre como en la competitividad a nivel regional.

Red vial primaria por área

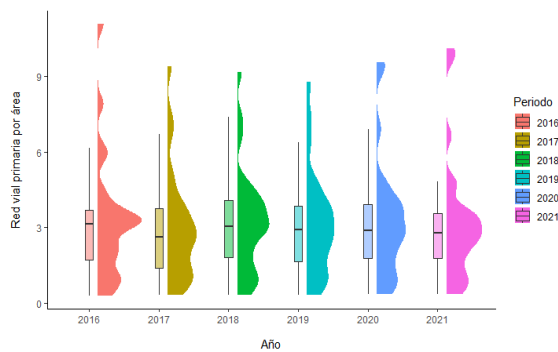
La Figura 5 A muestra que durante 2016 y 2017, aproximadamente el 75% de los departamentos tuvo una densidad en la red vial primaria por área menor a 3.77 km. El Atlántico destacó con 11.05 km en 2016 y 9.39 km en 2017. En 2019 y 2020, más de la mitad de los 26 departamentos estudiados mostraron una densidad menor a 2.90 km. En particular, Chocó, Caquetá, Meta y Casanare tuvieron menos de 1 km, siendo esta una tendencia constante de 2016

a 2021. Las pruebas estadísticas (Kolmogorov-Smirnov y Jonckheere-Terpstra) no revelaron cambios significativos en este indicador, señalando un estancamiento en la gestión de la red vial primaria por área.

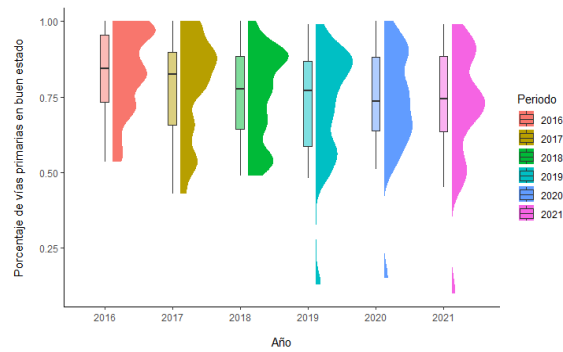
Figura 5

Distribución de los indicadores de gestión de infraestructura vial entre 2016 y 2021

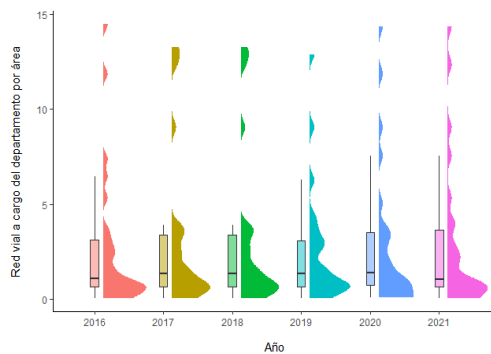
(A) Red vial primaria por área



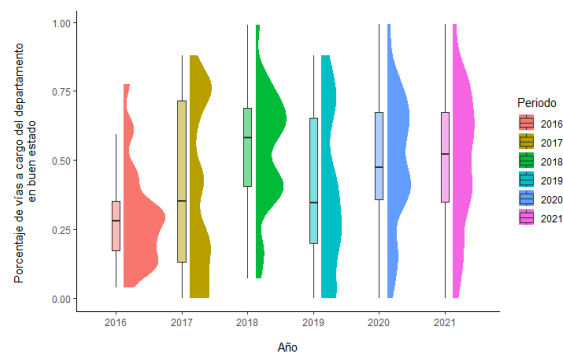
(B) Porcentaje de vías primarias en buen estado



(C) Red vial a cargo del departamento por área



(D) Porcentaje de vías a cargo del departamento en buen estado



Fuente: Cálculos propios con base a la información proveniente del Índice Departamental de Competitividad 2023.

La "red vial primaria por área" mide la densidad de las carreteras principales en relación con el área del departamento. Una alta densidad es sinónimo de buena conectividad y puede reducir costos de transporte.

Dada la actual globalización e interdependencia regional, estos datos son clave para la gestión departamental de infraestructuras. El estancamiento observado podría limitar la atracción de inversiones y el comercio, impactando la movilidad. Por ello, es crucial reevaluar y reforzar estrategias de gestión vial, no solo manteniendo sino innovando y adaptando las redes viales a futuros desafíos y oportunidades.

Porcentaje de vías primarias en buen estado

El análisis del "Porcentaje de vías primarias en buen estado", reflejado en la Figura 5 B, evidencia un cambio notorio en el desempeño de la infraestructura vial entre 2016 y 2021. Mientras en 2016 la diferencia intercuartílica (tercer cuartil menos primer cuartil) mostraba que el 22% de las vías primarias se encontraban en buen estado, este rango se expandió al 25% en 2021. A nivel departamental, se destaca que durante 2016 y 2017, cerca del 75% (19 de 26) de los departamentos analizados reportaron un 96% y 90% de sus vías primarias en condiciones óptimas, respectivamente. Sin embargo, esta cifra ha ido en decremento en años subsecuentes, subrayando una declinación en la calidad de estas vías. Reviste particular preocupación el caso del departamento de Arauca, dado que, durante el período comprendido entre 2019 y 2021, se constató que menos del 20% de sus principales vías se encontraban en condiciones favorables.

La prueba Jonckheere-Terpstra indica una tendencia decreciente en la mediana del porcentaje de vías en buen estado desde 2016 hasta 2021. Esto sugiere que, en términos generales,

los departamentos del país están experimentando un deterioro en la calidad vial. Este declive no solo refleja una inversión insuficiente en infraestructura, sino que podría estar inflando los costos de transporte terrestre, debido al mayor desgaste de los vehículos y posibles demoras.

La tendencia decreciente en la calidad de las vías primarias puede ser indicativa de una falta de coordinación entre las políticas nacionales y la gestión administrativa local, así como de una inversión inadecuada en mantenimiento y mejora. Este retroceso podría tener un impacto negativo no solo en el costo del transporte y la eficiencia logística, sino también en la seguridad vial y la conectividad entre regiones. A largo plazo, este deterioro podría obstaculizar el desarrollo económico, reducir la competitividad de los territorios y afectar la calidad de vida de los ciudadanos. La evidencia acentúa la necesidad urgente de una revisión y mejora en la planificación, inversión y supervisión de la infraestructura vial, con un enfoque en alinear las estrategias nacionales y locales para asegurar una red de transporte resiliente y eficiente.

Red vial a cargo del departamento por área

La Figura 5 C ilustra la densidad de la red vial a cargo de cada departamento en relación con su superficie territorial. Lo que salta a la vista es una tendencia uniforme en la mayoría de los departamentos: valores consistentemente bajos en este indicador. Esta uniformidad sugiere que la cobertura de carreteras bajo la gestión de los departamentos, probablemente secundarias y terciarias es limitada en extensión geográfica.

Entre 2016 y 2021, aproximadamente el 75% de los departamentos mantuvieron una densidad vial por debajo de los 4 km. Esta información resalta las áreas de desafío y las oportunidades para el mejoramiento de la gestión vial en estas zonas.. Sin embargo, los

departamentos de Quindío, Caldas, Atlántico y Cundinamarca destacan al exceder esta norma, con algunas densidades viales superiores a los 8 km, lo que indica una gestión y cobertura vial más efectiva.

A pesar de las variaciones entre departamentos, las pruebas estadísticas complementarias revelan una estabilidad en este indicador durante el período de análisis. Esta constancia sugiere que, a nivel general, no ha habido avances significativos en la gestión y el mantenimiento de la red vial en relación con la extensión territorial de los departamentos desde 2016 hasta 2021. Estos hallazgos recalcan la imperiosa necesidad de una revisión estratégica y de considerar acciones enfocadas en el mantenimiento y mejoramiento vial. Un compromiso renovado en este aspecto no solo puede impulsar la economía local, sino que también puede traducirse en un bienestar tangible para los ciudadanos y fomentar un desarrollo regional sostenible.

Desde una perspectiva más amplia, estos hallazgos tienen profundas implicaciones en la planificación y gestión administrativa local. Si bien una alta densidad vial sugiere potencialmente una mejor conectividad, especialmente hacia zonas rurales y agrícolas, la persistente tendencia de baja densidad revela posibles deficiencias en la asignación de recursos y en la priorización de la infraestructura vial. Este escenario puede tener un efecto dominó, influyendo en la eficiencia logística, la competitividad económica y, finalmente, en la calidad de vida de los habitantes.

Porcentaje de vías a cargo del departamento en buen estado

De acuerdo con la Figura 5 D, la cual representa el porcentaje de vías bajo la responsabilidad del departamento que se encuentran en condiciones favorables, se evidencia un cambio significativo en la amplitud del rango intercuartílico a lo largo del tiempo.

Específicamente, este indicador se ha ampliado pasando de un 18% en 2016 a un 32% en 2021. Sin embargo, es en el año 2017 cuando se registra la amplitud más considerable, llegando a aproximadamente un 58%..

En un análisis detallado, en el 2017, y más tarde entre 2019 y 2021, destaca por tener el menor porcentaje de vías en buen estado a cargo del departamento. Los departamentos de Arauca, Sucre, Córdoba y Nariño no registraron vías en condiciones óptimas durante estos años. En contraste, el departamento del Huila muestra una gestión vial ejemplar, manteniéndose en el 99% de sus vías en buen estado en 2018, 2019 y 2020.

La prueba Jonckheere-Terpstra confirma que la mediana de este indicador ha experimentado un crecimiento estadísticamente significativo entre 2016 y 2021. Esta mejora en las condiciones de las carreteras tiene implicaciones directas en los costos operativos del transporte terrestre. Una infraestructura vial robusta y bien mantenida no sólo favorece la seguridad, al reducir el riesgo de accidentes asociados al estado del camino, sino que también potencia la competitividad económica. Esto se debe a que vías en buen estado facilitan un transporte y una logística más eficientes en la región.

Estos hallazgos resaltan la importancia de la gestión administrativa local en la manutención y mejoramiento de las vías departamentales, ya que puede maximizar no solo la utilidad sino también la vida útil de las carreteras, generando beneficios tangibles para la comunidad y la economía local. En contraste, una administración deficiente podría traducirse en costos operativos elevados y, en última instancia, en la pérdida de la competitividad de la región. Por lo tanto, es esencial que las entidades locales reconozcan, valoricen y perfeccionen su rol en la gestión de este recurso crucial.

7. Análisis de Modelos

7.1. Modelo de datos panel

Esta sección detalla los resultados del modelo de análisis de datos panel, diseñado para examinar la relación entre el costo de carga de transporte terrestre y la gestión administrativa. El modelo también se centra en identificar características endógenas y constantes de cada departamento que pueden influir en los costos de transporte.

Tabla 2

Impacto de los indicadores de infraestructura vial en el costo de transporte terrestre.

Variable	Coefficiente	E. Estándar	Valor t	Pr(> t)
Red vial primaria por área.	18.631	14.207	1.311	0.192
Porcentaje de vías primarias en buen estado.	-302.087	64.801	-4.662	7.865e-06 ***
Red vial a cargo del departamento por área.	-6.606	5.888	-1.122	0.264
Porcentaje de vías a cargo del departamento en buen estado.	77.390	29.181	2.652	0.009 **
Coeficiente de determinación R^2 : 0.20685				
Estadístico F: 8.21504 con 4 y 126 grados de libertad, p-valor: 6.4048e-06				

Fuente: Cálculos propios con base a la información proveniente del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC) y el Índice Departamental de Competitividad 2023 (IDC).

Nota: ***, **, * y . Corresponde a variables significativas con niveles de significancia del 0.1%, 1%, 5% y 10% respectivamente.

Porcentaje de vías primarias en buen estado

La importancia de este indicador reside en su impacto negativo sobre el costo del transporte. Al aumentar en una unidad el porcentaje de vías primarias en buen estado, el costo de carga de transporte terrestre se reduce en \$302.087. Según investigaciones de Alonso-Villar (2007) y Banister & Berechman (2001), esta reducción es atribuible a una serie de beneficios, como la minimización del desgaste de los vehículos, la reducción del tiempo de viaje, y la disminución de riesgos y costos asociados a accidentes. La implicación directa es la necesidad de que la gestión administrativa local priorice la conservación y mejora de estas vías. Como señalan Combes & Lafourcade (2005), mantenerlas en condiciones óptimas no solo mejora la movilidad, sino que conduce a economías significativas en costos de transporte.

Porcentaje de vías a cargo del departamento en buen estado

Contrariamente al indicador anterior, esta muestra un efecto inverso: el aumento en el estado de las vías a cargo del departamento incrementa el costo del transporte terrestre en \$77.390 por unidad. Esta tendencia, corroborada por Deichmann & Gill (2008) y Fajgelbaum & Schaal (2020), podría reflejar barreras administrativas o técnicas en la gestión departamental. Incluso con vías en buen estado, podrían existir ineficiencias o costos administrativos que impacten en el costo del transporte. La implicación aquí es la urgencia de revisar y optimizar los procesos de gestión administrativa local, evaluando la eficiencia en el uso de recursos y el impacto de las inversiones en la competitividad regional.

Una hipótesis que podría explicar este fenómeno es la influencia de los peajes en estas carreteras. Los peajes son instaurados con el objetivo de financiar la construcción, mantenimiento

y operación de carreteras. En teoría, el ingreso obtenido de los peajes debería ser reinvertido para garantizar vías en excelente condición. Sin embargo, si estos recursos no se gestionan adecuadamente o si los costos administrativos y operativos de los peajes son altos, podrían no traducirse en mejoras efectivas en la infraestructura vial. De hecho, esto podría generar costos adicionales que se reflejen en un incremento en el costo del transporte terrestre, incluso si las vías están en buen estado.

Indicadores de la densidad de la red vial

Los hallazgos evidenciados en la Tabla 2, muestran que la red vial primaria por área y la red vial a cargo del departamento por área, no resultan ser indicadores que impacten a los costos de carga de transporte terrestre.

El análisis de la densidad de la red vial va más allá de la cantidad de vías. Como argumentan Parra-Velandia & Ordoñez-Cetina (2020) y Pérez Marín (2020), es fundamental considerar la calidad y la estrategia detrás de la infraestructura. Intuitivamente, más vías podrían significar mejor conectividad y menores costos; sin embargo, la realidad puede ser diferente.

Basados por Sunkel (1998), Usiña (2014) y Vallejo & Aguilar (2004), es evidente que la gestión administrativa local debe reevaluar sus estrategias actuales. Se necesita un enfoque que considere tanto la calidad como la cantidad de vías, enfocándose en maximizar la eficiencia y reducir costos. La calidad de la gestión y la estrategia coherente en la infraestructura vial son fundamentales para lograr estos objetivos.

7.2. Modelo de datos panel espacial

En esta sección, analizamos las interacciones espaciales entre departamentos a través del modelo de datos panel espacial. Este enfoque reconoce que las regiones no operan en aislamiento y que sus decisiones pueden repercutir en departamentos adyacentes. La adopción de una perspectiva espacial es esencial, ya que las decisiones administrativas en un departamento específico pueden generar externalidades, influenciando indirectamente los costos de transporte en las áreas circundantes.

Tabla 3

Impacto de los determinantes de infraestructura vial en el costo de transporte terrestre.

Variable	Coefficiente	E. Estándar	Valor t	Pr(> t)
Red vial primaria por área	-0.195	4.187	-0.047	0.963
Porcentaje de vías primarias en buen estado	-97.079	20.483	-4.740	2.143e-06 ***
Red vial a cargo del departamento por área	1.797	2.002	0.897	0.369
Porcentaje de vías a cargo del departamento en buen estado	-7.267	8.265	-0.879	0.379

Fuente: Cálculos propios con base a la información proveniente del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC) y el Índice Departamental de Competitividad 2023 (IDC).

Nota: ***, **, * y . Corresponde a variables significativas con niveles de significancia del 0.1%, 1%, 5% y 10% respectivamente.

Porcentaje de vías primarias en buen estado

La interdependencia regional en la calidad de la infraestructura vial se destaca como un elemento cardinal en la economía del transporte, un punto destacado por autores como (Alonso-Villar (2007) y (Banister & Berechman (2001)). Estos estudiosos apuntan a cómo una red vial de calidad puede significar reducciones sustanciales en los costos asociados al transporte. Nuestro análisis concuerda con estos hallazgos, destacando que un avance en la calidad de las vías primarias de departamentos contiguos puede traducirse en una rebaja de cerca de \$97.079 en los gastos de carga de transporte.

Indicadores de las condiciones de las vías y la densidad de la red vial

La densidad y condiciones generales de la red vial no demostraron tener un impacto estadísticamente significativo sobre los costos de carga de transporte. Aunque a primera vista, una infraestructura densa y en buen estado parece ser sinónimo de eficiencia, Deichmann & Gill (2008) y Fajgelbaum & Schaal (2020) ilustran cómo barreras administrativas y técnicas pueden diluir estos beneficios.

La integración regional, como proponen Puente-Ajovín & Sanz-Gracia (2021) y (Rodríguez (2016), se destaca no solo como una necesidad, sino como una estrategia. No basta con solo poseer vías de calidad o en gran cantidad; es vital que las regiones colaboren y adopten una visión unificada, abordando conjuntamente los desafíos tanto físicos como administrativos. En este escenario, las recomendaciones de Sunkel (1998), Usiña (2014) y Vallejo & Aguilar (2004) adquieren una relevancia renovada: para un transporte terrestre eficiente, la gestión administrativa local, con un enfoque holístico y enfocado en la integración regional, es de suma importancia.

Estos hallazgos nos llevan a concluir que la cooperación y colaboración entre departamentos aledaños se torna esencial para maximizar los beneficios de la infraestructura vial y, en última instancia, para una gestión de transporte más rentable y sostenible.

8. Conclusiones

La infraestructura vial es una de las piedras angulares del desarrollo y la integración regional. A través de este estudio, hemos abordado profundamente la dinámica, desafíos y oportunidades inherentes a la construcción y mantenimiento de las redes viales en distintos departamentos. Las conclusiones que se desprenden de este análisis, junto con las recomendaciones subsiguientes, se presentan a continuación.

Comenzando con la percepción tradicional, uno podría inferir que un aumento en el número de carreteras o vías directamente implica una mejor conectividad y, por ende, costos de transporte reducidos. Sin embargo, nuestra investigación sugiere que la realidad es mucho más matizada. No es suficiente simplemente tener vías; la calidad y la estrategia detrás de su implementación son factores críticos. Una gestión administrativa local que no reevalúa y adapta sus estrategias corre el riesgo de no aprovechar al máximo la infraestructura existente, lo que puede resultar en eficiencias subóptimas y costos elevados.

El análisis espacial presentado refuerza la idea de que las regiones y departamentos no son entidades aisladas. Actúan dentro de un ecosistema interconectado donde las decisiones de un departamento pueden tener ramificaciones, positivas o negativas, en sus vecinos. Este fenómeno de externalidades espaciales es crucial y debe ser considerado en cualquier estrategia de

infraestructura. Las decisiones administrativas en un departamento tienen el potencial de influir, directa o indirectamente, en los costos de transporte en áreas circundantes.

Del mismo modo, nuestro estudio ha puesto de relieve un hallazgo crucial: un incremento en la calidad de las vías primarias en departamentos vecinos puede traducirse en ahorros significativos en los costos de carga de transporte. Este dato subraya la interdependencia inherente entre departamentos y la importancia de una infraestructura vial de alta calidad. Sin embargo, es esencial recalcar que no todas las variables relacionadas con la infraestructura vial mostraron un impacto estadísticamente significativo en los costos. A pesar de que una infraestructura vial densa y en buen estado podría ser percibida como un indicador de eficiencia, existen barreras, tanto administrativas como técnicas, que pueden mitigar o incluso anular estos beneficios.

En la coyuntura actual, la integración regional se destaca no sólo como una necesidad imperante, sino también como una estrategia crítica. No es suficiente con tener vías de calidad; las regiones deben colaborar y adoptar una visión unificada, abordando de manera colectiva tanto los desafíos físicos como los administrativos. En este contexto, el énfasis en una gestión administrativa local, holística y centrada en la integración, se vuelve indispensable. La cooperación y colaboración interdepartamental son vitales para extraer los máximos beneficios de la infraestructura vial y, por ende, para una gestión de transporte más eficiente y sostenible.

Frente a estos hallazgos, es imperativo proponer una serie de recomendaciones de política pública. En primer lugar, se debe incentivar una reevaluación proactiva de las estrategias de infraestructura vial en todos los niveles de gobierno. Las políticas y programas deberían enfocarse en la calidad de la infraestructura en lugar de simplemente su cantidad. En segundo lugar, las autoridades pertinentes deberían promover activamente la cooperación interdepartamental,

reconociendo y abordando las externalidades espaciales. Además, es esencial trabajar en la identificación y reducción de barreras que impidan capitalizar los beneficios de una infraestructura vial de calidad. Por último, pero no menos importante, es vital que se fomente una mentalidad de integración regional, donde las entidades gubernamentales, tanto locales como nacionales, trabajen juntas para enfrentar desafíos y aprovechar oportunidades.

9. Referencias

- Alonso-Villar, O. (2007). A reflection on the effects of transport costs within the new economic geography. *Review of Urban & Regional Development Studies: Journal of the Applied Regional Science Conference*, 19(1), 49-65.
- Arroyave, E. A. M., & Rodríguez, K. G. (2022). Transformaciones de la movilidad y la accesibilidad de los territorios a partir de la construcción de infraestructura vial. Caso autopistas para la prosperidad en Antioquia. *Manifestaciones*, 255.
- Banister, D., & Berechman, Y. (2001). Transport investment and the promotion of economic growth. *Journal of transport geography*, 9(3), 209-218.
- Combes, P.-P., & Lafourcade, M. (2005). Transport costs: Measures, determinants, and regional policy implications for France. *Journal of economic geography*, 5(3), 319-349.
- Croissant, Y., & Millo, G. (2008). Panel Data Econometrics in R: The plm Package. *Journal of Statistical Software*, 27(2), 1-43. <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i02>
- Deichmann, U., & Gill, I. (2008). Geografía económica de la integración regional. *Finanzas & Desarrollo Revista trimestral del Fondo Monetario Internacional*, 45-47.
- Fajgelbaum, P. D., & Schaal, E. (2020). Optimal transport networks in spatial equilibrium. *Econometrica*, 88(4), 1411-1452.
- Hernández, R. (2018). La encrucijada de la integración regional y el nuevo regionalismo. *Revista Estudios de Políticas Públicas*, 4(1), 149-159.
- Martincus, C. V., Carballo, J., & Cusolito, A. (2017). Roads, exports and employment: Evidence from a developing country. *Journal of Development Economics*, 125, 21-39.

- Millo, G., & Piras, G. (2012). splm: Spatial Panel Data Models in R. *Journal of Statistical Software*, 47(1), 1-38.
- Olper, A., & Raimondi, V. (2009). Patterns and determinants of international trade costs in the food industry. *Journal of Agricultural Economics*, 60(2), 273-297.
- Parra-Velandia, V. J., & Ordoñez-Cetina, K. S. (2020). Innovación: Un componente esencial de la infraestructura de transporte vial para incrementar los niveles de competitividad de Colombia en la alianza del pacífico. *Catálogo editorial*, 120-135.
- Pérez Marín, C. A. (2020). *Competitividad de la infraestructura del transporte de carga en Colombia frente a Chile*.
- Puente-Ajovín, M., & Sanz-Gracia, F. (2021). Transport costs in new economic geography models: A more realistic approach. *International Journal of Economic Theory*, 17(3), 221-233.
- R Core Team. (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rodrigue, J.-P. (2016). Transport geography. *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology: People, the Earth, Environment and Technology*, 1-9.
- Signorell, A. (2023). *DescTools: Tools for Descriptive Statistics*. <https://CRAN.R-project.org/package=DescTools>
- Sunkel, O. (1998). Desarrollo e integración regional: ¿ otra oportunidad para una promesa incumplida? *Revista de la CEPAL*.

Torralba Barreto, D. R., Cheyne García, J. A., Correa Zabala, M. M., León, L. N., Cifuentes, M.

A., Salinas, E. C., & Ramírez Álvarez, E. (2023). *Costos de Transporte de Carga Terrestre en los Departamentos de Colombia: Implicaciones y Recomendaciones para Políticas Públicas*.

Usiña, J. (2014). La política pública y el transporte multimodal: Ejes de desarrollo e integración regional. *Revista Anales*, 1(372), 93-100.

Vallejo, H., & Aguilar, C. (2004). Integración regional y atracción de inversión extranjera directa: El caso de América Latina. *Revista Desarrollo y Sociedad*, 53, 139-164.

10. ANEXO

A. Análisis realizados e información empleada

Tabla 4

Estadísticas descriptivas del costo de transporte y sus determinantes de infraestructura.

Indicador	Año	Mínimo	1 cuartil	Mediana	Promedio	3 cuartil	Máximo	IQR
Costos de transporte terrestre a mercado interno (COP).	2016	89.33	137.77	172.56	183.99	227.32	315.00	89.55
	2017	89.92	167.13	197.06	214.73	269.84	386.09	102.71
	2018	101.70	175.40	222.10	236.50	299.30	402.70	123.90
	2019	117.20	208.70	274.30	272.80	328.80	469.30	120.10
	2020	134.30	254.20	315.90	306.90	359.50	502.40	105.30
	2021	51.90	276.70	367.30	358.90	417.40	584.90	140.70
Red vial primaria por área (km).	2016	0.30	1.72	3.13	3.25	3.69	11.05	1.97
	2017	0.33	1.39	2.63	3.03	3.77	9.39	2.38
	2018	0.32	1.81	3.04	3.26	4.09	9.17	2.28
	2019	0.34	1.67	2.90	3.15	3.85	8.77	2.18
	2020	0.36	1.77	2.90	3.28	3.91	9.55	2.14
	2021	0.37	1.78	2.78	3.21	3.55	10.10	1.77
Porcentaje de vías primarias en buen estado (%).	2016	54.00	73.00	84.00	83.00	96.00	100.00	23.00
	2017	43.00	66.00	83.00	78.00	90.00	100.00	24.00
	2018	49.00	64.00	78.00	75.00	89.00	100.00	25.00
	2019	13.00	59.00	77.00	73.00	87.00	99.00	28.00
	2020	15.00	64.00	74.00	73.00	88.00	100.00	24.00
	2021	10.00	64.00	75.00	72.00	89.00	99.00	25.00
Red vial a cargo del departamento por área (km).	2016	0.06	0.63	1.07	2.73	3.10	14.47	2.47
	2017	0.06	0.64	1.33	3.04	3.38	13.28	2.74
	2018	0.06	0.64	1.34	3.04	3.38	13.28	2.74
	2019	0.06	0.64	1.33	2.45	3.06	12.88	2.42
	2020	0.09	0.72	1.37	2.97	3.50	14.35	2.78
	2021	0.05	0.66	1.01	2.93	3.63	14.35	2.97
Porcentaje de vías primarias a cargo del departamento por área (%).	2016	4.00	17.00	28.00	29.00	35.00	77.00	18.00
	2017	0.00	13.00	35.00	39.00	72.00	88.00	59.00
	2018	7.00	41.00	58.00	53.00	69.00	99.00	28.00
	2019	0.00	20.00	34.00	39.00	65.00	88.00	45.00

	2020	0.00	36.00	47.00	49.00	67.00	99.00	31.00
	2021	0.00	35.00	52.00	50.00	67.00	99.00	32.00

Fuente: Cálculos propios con base a la información proveniente del Registro Nacional de Despacho de Carga- (RNDC). Costos multiplicados por un deflactor para obtener precios constantes a diciembre 2022. Tipo de carga normal.

Tabla 5

Resultados de la implementación de la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov.

Indicador	Cambio Evaluado	Distancia	P-Valor
Red vial primaria por área	Entre 2016 y 2017	0.15	0.93
	Entre 2017 y 2018	0.19	0.73
	Entre 2018 y 2019	0.12	1.00
	Entre 2019 y 2020	0.08	1.00
	Entre 2020 y 2021	0.15	0.92
Porcentaje de vías primarias en buen estado	Entre 2016 y 2017	0.19	0.72
	Entre 2017 y 2018	0.12	0.99
	Entre 2018 y 2019	0.08	1.00
	Entre 2019 y 2020	0.15	0.91
	Entre 2020 y 2021	0.15	0.90
Red vial a cargo del departamento por área	Entre 2016 y 2017	0.08	1.00
	Entre 2017 y 2018	0.04	1.00
	Entre 2018 y 2019	0.12	1.00
	Entre 2019 y 2020	0.12	1.00
	Entre 2020 y 2021	0.12	0.99
Porcentaje de vías a cargo del departamento en buen estado	Entre 2016 y 2017	0.27	0.31
	Entre 2017 y 2018	0.38	0.04
	Entre 2018 y 2019	0.38	0.04
	Entre 2019 y 2020	0.31	0.17
	Entre 2020 y 2021	0.08	1.00

Fuente: Cálculos propios con base a la información proveniente del Índice Departamental de Competitividad 2023 (IDC).

Tabla 6

Resultados de la implementación de la prueba estadística de Jonckheere-Terpstra.

Indicador	Cambio Evaluado	Estadístico de prueba (JT)	P-Valor
Red vial primaria por área	Incremento	5115	0.445
	Disminución	5115	0.555
Porcentaje de vías primarias en buen estado	Incremento	4238	0.995
	Disminución	4238	0.005
Red vial a cargo del departamento por área	Incremento	5169	0.380
	Disminución	5169	0.620
Porcentaje de vías a cargo del departamento en buen estado	Incremento	5932	0.004
	Disminución	5932	0.996

Fuente: Cálculos propios con base a la información proveniente del Índice Departamental de Competitividad 2023 (IDC).

B. Pruebas de consistencia para el modelo de datos panel

1) Coeficiente de determinación

El coeficiente de determinación R^2 es una medida de ajuste que indica la proporción de la variabilidad total de la variable dependiente que es explicada por el modelo. Su ecuación es la siguiente:

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST}$$

Donde SSR corresponde a la suma de los residuos al cuadrado del modelo y SST es la suma total de cuadrados (suma de los cuadrados de las desviaciones de cada observación respecto a la media de la variable dependiente).

2) Prueba de Breusch-Pagan, librería PLM

La prueba de Breusch-Pagan se emplea con el fin de evaluar la presencia de heterocedasticidad en los residuos del modelo de datos panel. La heterocedasticidad se manifiesta cuando la varianza de los errores presenta una variabilidad en relación con las variables explicativas del modelo, dicha presencia de heterocedasticidad puede conducir a estimaciones ineficientes o sesgadas de los parámetros del modelo. En R, el paquete PLM (Croissant & Millo, 2008) dispone de la función PLMTEST en la cual se puede aplicar la prueba de Breusch-Pagan en el contexto de datos de panel.

La hipótesis nula evidencia que varianza de los errores es constante en todas las unidades de tiempo y en todas las unidades transversales, lo cual quiere decir que se tiene la presencia de homocedasticidad, mientras que la hipótesis alternativa evidencia que existe presencia de heterocedasticidad en el modelo. Si el *p-valor* asociado con la prueba de Breusch-Pagan es menor que el nivel de significancia elegido, entonces se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existe heterocedasticidad en el modelo, bajo este escenario es adecuado tomar medidas para corregir la heterocedasticidad.

La estadística de prueba para la prueba se compara con la distribución chi-cuadrado con q grados de libertad para evaluar si hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de homocedasticidad en favor de la hipótesis alternativa de heterocedasticidad. La estadística de prueba es:

$$BP = nT \frac{R^2}{1 - R^2} \sim \chi_q^2$$

Donde n es el número de unidades transversales, T es el número de períodos de tiempo, R^2 es el coeficiente de determinación del modelo y q es el número de variables explicativas.

3) Prueba de Hausman

La prueba de Hausman es utilizada para evaluar si es más adecuado el uso y aplicación de un modelo de efectos fijos o un modelo de efectos aleatorios para poder estimar los parámetros del modelo, la prueba evalúa la hipótesis de que los coeficientes estimados por un modelo de efectos aleatorios son consistentes y eficientes, en comparación con los coeficientes estimados por un modelo de efectos fijos (hipótesis alternativa). En R la función PHTEST proporcionada por el paquete PLM (Croissant & Millo, 2008) se emplea realizar la prueba de Hausman para modelos de datos de panel.

El estadístico de prueba corresponde a la diferencia entre los estimadores de efectos aleatorios y efectos fijos, ponderados por la matriz de covarianza de los estimadores. El estadístico se define como:

$$d = (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE})' [\widehat{Var}(\hat{\beta}_{FE}) - \widehat{Var}(\hat{\beta}_{RE})]^{-1} (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE})$$

Donde $\hat{\beta}_{FE}$ corresponde al vector de los coeficientes estimados bajo el modelo de efectos fijos, $\hat{\beta}_{RE}$ es el vector de coeficientes estimados del modelo de efectos aleatorios, $\widehat{Var}(\hat{\beta}_{FE})$ y $\widehat{Var}(\hat{\beta}_{RE})$ corresponden a la matriz de varianza-covarianza de los coeficientes estimados del modelo de efectos fijos y de efectos aleatorios respectivamente. El estadístico de prueba d sigue una distribución Chi-cuadrado con q grados de libertad, donde q es la cantidad de variables explicativas incluidas en el modelo que no están correlacionadas con los efectos aleatorios.

En relación con el criterio de rechazo, si el valor del estadístico de prueba es significativamente mayor que el valor crítico de la distribución chi-cuadrado o si el p-valor obtenido a partir del estadístico de prueba es menor que un nivel de significancia predefinido, se concluye que los coeficientes del modelo de efectos aleatorios son significativamente diferentes de los del modelo de efectos fijos, por lo tanto, se considera que el modelo de efectos aleatorios no es consistente o eficiente y es preferible emplear el modelo de efectos fijos.

4) Prueba de Durbin-Watson

Esta prueba es empleada para evaluar la presencia de autocorrelación en los residuos del modelo. La autocorrelación se refiere a la relación entre los residuos de una observación en un período de tiempo determinado con los residuos de esa misma observación en períodos anteriores o posteriores. La prueba se puede aplicar mediante la función PDWTEST en R, en donde su argumento principal es el modelo previamente estimado.

La hipótesis nula de esta prueba indica que no hay autocorrelación en el modelo, mientras que la hipótesis alternativa sugiere existencia de autocorrelación en el modelo. El estadístico de prueba es el siguiente:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^T (e_{it} - e_{i,t-1})^2}{\sum_{t=1}^T e_{it}^2}$$

Donde T es el número de periodos de tiempo, e_{it} son los residuos del modelo de la observación i en el periodo de tiempo t .

El valor del estadístico de prueba DW se encuentra entre 0 y 4. Un valor cercano a 2 sugiere una ausencia de autocorrelación en los residuos, valores menores a 2 indican una

autocorrelación positiva y finalmente, valores mayores a 2 indican una autocorrelación negativa. Por otro lado, si el *p-valor* asociado a la prueba es menor que el nivel de significancia elegido, se rechaza la hipótesis nula concluyendo que existen indicios de autocorrelación. De lo contrario, si el *p-valor* es mayor que el nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula sugiriendo que no hay autocorrelación.

5) Prueba de Shapiro-Wilk

La prueba de Shapiro-Wilk es utilizada para evaluar la normalidad en los residuos de un modelo, en R se puede emplear con el uso de la función SHAPIRO.TEST. El estadístico de prueba se define como:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde n corresponde al tamaño de la muestra, x_i son los valores ordenados de la muestra, \bar{x} es la media o promedio de la muestra y a_i especifica los coeficientes de la ponderación los cuales son calculados en función de los momentos muestrales.

La hipótesis nula se basa en que los residuos del modelo provienen de una distribución normal, mientras que la hipótesis alternativa sugiere que los residuos no siguen normalidad. Si el *p-valor* de la prueba es menor o igual a un nivel crítico de significancia predefinido, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los residuos no siguen una distribución normal. En caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula evidenciando así que los residuos siguen normalidad.

6) Prueba de Breusch-Godfrey/Wooldridge

La prueba de Breusch-Godfrey (también conocida como prueba de Wooldridge) es utilizada con el fin de evaluar la autocorrelación de los residuos en un modelo. Se puede efectuar empleando la función `PBGTEST` del paquete `PLM` (Croissant & Millo, 2008) en R. La prueba examina si los residuos del modelo de datos de panel presentan autocorrelación serial, esto implica que los residuos están correlacionados con sus propios valores rezagados en el tiempo. La hipótesis nula implica que existe autocorrelación serial en los residuos, mientras que la hipótesis alternativa evidencia la no presencia de autocorrelación serial. Su estadístico de prueba es el siguiente:

$$\frac{BG}{W} = nR^2 \sim \chi_k^2$$

Donde n es el número total de observaciones en el modelo de datos de panel. R^2 es el coeficiente de determinación (R cuadrado). Por defecto la prueba sigue una distribución Chi-Cuadrado con k grados de libertad igual al número de rezagos incluidos en el modelo.

Si el valor p es menor que un nivel de significancia predefinido se rechaza la hipótesis nula y se concluye que hay evidencia de autocorrelación serial en los residuos del modelo, mientras que, si el p -valor es mayor que el nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula y se sugiere que no hay autocorrelación serial.

7) Prueba de Breusch-Pagan, librería *lmtest*

La prueba es empleada para determinar si la varianza de los errores de un modelo es constante o varía en relación con los valores de las variables explicativas. La prueba puede aplicarse por medio de la función `BPTTEST` en R. El estadístico de prueba corresponde a:

$$BP = nR^2 \sim \chi_q^2$$

Donde n es el número total de observaciones en el modelo. R^2 es el coeficiente de determinación (R cuadrado) obtenido en la regresión auxiliar de los residuos al cuadrado sobre las variables explicativas. La prueba sigue una distribución chi-cuadrado con q grados de libertad que corresponden al número de variables explicativas en el modelo original.

Si el *p-valor* asociado al estadístico de prueba es menor que el nivel de significancia seleccionado, se rechaza la hipótesis nula de homocedasticidad y se concluye que existe heteroscedasticidad en el modelo. Mientras que, si el *p-valor* es mayor que el nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula y se sugiere que no hay suficiente evidencia para afirmar la presencia de heteroscedasticidad.

C. Pruebas de consistencia para el modelo de datos panel espacial

1) Prueba de Hausman Espacial

La prueba de Hausman (1978) evalúa si es más adecuado el uso y aplicación de un modelo de efectos aleatorios espaciales (hipótesis nula) o de efectos fijos espaciales (hipótesis alternativa) por medio de la comparación de estimadores. Mutl and Pfaffermayr (2011) presentan una extensión del procedimiento para el caso espacial mediante un estadístico definido de la siguiente manera:

$$H = NT(\hat{\theta}_{FGLS} - \hat{\theta}_W)^T (\hat{\Sigma}_W - \hat{\Sigma}_{FGLS})^{-1} (\hat{\theta}_{FGLS} - \hat{\theta}_W) \sim \chi_k^2$$

Donde $\hat{\theta}_{FGLS}$ es el estimador de mínimos cuadrados generalizados espacial, $\hat{\theta}_W$ es el estimador de cercanía y $\hat{\Sigma}_W - \hat{\Sigma}_{FGLS}$ son sus correspondientes estimaciones de matrices de varianza-covarianza. El estadístico asintóticamente se distribuye chi-cuadrado con k grados de libertad los cuales representan la cantidad de variables explicativas del modelo.

En R, se puede aplicar la función SPHTEST de la librería SPLM (Millo & Piras, 2012) la cual toma como argumentos los dos modelos que se desean comparar.

2) Prueba LM

Las pruebas de multiplicadores de Lagrange son un grupo de pruebas conjuntas, condicionales y marginales de Baltagi, Song and Koh (2003), las cuales son aplicadas con el fin de evaluar si el modelo realizado requiere considerar los efectos aleatorios o no.

Algunas de estas pruebas evalúan si el modelo evidencia una estructura que carece de efectos aleatorios (hipótesis nula) y asumiendo que no existe correlación espacial (LM1), mientras que otras prueban la no autocorrelación espacial (hipótesis nula) suponiendo que no hay presencia de efectos aleatorios (LM2).

Este tipo de pruebas no calculan en modelo como tal, por lo tanto, no requieren directamente los residuales del modelo, aumentando así su cálculo. Una de las desventajas radica en que pueden llegar a ser muy sensibles en la variación de los datos ya que solo depende de la muestra de datos en cuestión.

La función BSKTEST de R, permite realizar las pruebas conjuntas, marginales y condicionales para todas las combinaciones de efectos aleatorios y correlación espacial.

3) Prueba de Breusch-Pagan

La prueba es empleada para determinar si la varianza de los errores de un modelo es constante o varía en relación con los valores de las variables explicativas. La prueba puede aplicarse por medio de la función BPTEST en R. El estadístico de prueba corresponde a

$$BP = nR^2 \sim \chi_q^2$$

Donde n es el número total de observaciones en el modelo. R^2 es el coeficiente de determinación (R cuadrado) obtenido en la regresión auxiliar de los residuos al cuadrado sobre las variables explicativas. La prueba sigue una distribución chi-cuadrado con q grados de libertad que corresponden al número de variables explicativas en el modelo original.

Si el p-valor asociado al estadístico de prueba es menor que el nivel de significancia seleccionado, se rechaza la hipótesis nula de homocedasticidad y se concluye que existe heteroscedasticidad en el modelo. Mientras que, si el p-valor es mayor que el nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula y se sugiere que no hay suficiente evidencia para afirmar la presencia de heteroscedasticidad.