

Efecto de las vías férreas sobre el crecimiento económico. Estudio de caso colombiano en comparativa a países industrializados y no industrializados durante el periodo 1999-2019.

Yon Edwards Bolívar Morales

Cristian Camilo Cifuentes Ramírez

Trabajo presentado como requisito para optar por el título de Economista.

Tutor:

PhD Humberto Bernal Castro



Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Facultad de Administración y Economía

Programa de Economía

Bogotá D.C. - Colombia

2023

Contenido

Resumen.....	3
Abstract.....	3
1. Introducción.....	4
2. Revisión de Literatura Teórica	5
3. Revisión Literatura Empírica	10
4. Hechos Estilizados.....	17
<i>Población</i>	<i>17</i>
<i>Población Económicamente Activa</i>	<i>18</i>
<i>Kilómetros de vías férreas.....</i>	<i>19</i>
<i>Toneladas por kilómetros de vías férreas</i>	<i>20</i>
5. Modelo Econométrico	21
Resultados Modelo aplicado países industrializados	24
Resultados Modelo aplicado países no industrializados	26
Resultados Modelo aplicado Colombia.....	28
6. Análisis de resultados final	31
7. Conclusiones	32
8. Recomendaciones	33
9. Referencias.....	35

Figuras

Figura 1 – Tasa de crecimiento poblacional países industrializados (variación %)	17
Figura 2 – Tasa de crecimiento poblacional países no industrializados (variación %)	17
Figura 3 – Porcentaje de población económicamente activa en países industrializados	18
Figura 4 – Porcentaje de población económicamente activa países no industrializados.....	18
Figura 5 – Numero de Kilómetros de vías férreas en países industrializados	19
Figura 6 – Numero de Kilómetros de vías férreas en países industrializados	19
Figura 7 – Toneladas por km de vías férreas países industrializados	20
Figura 8 – Toneladas por km de vías férreas países no industrializados	20

Tablas

Tabla 1 - Modelo de los dos sectores:	7
Tabla 2 - Caracterización de las vías ferras y con el crecimiento económico.	9
Tabla 3 - Síntesis de Información de documentos.....	15
Tabla 4 - Descripción de las variables.....	23
Tabla 5 - Test de Breush – Pagan, países industrializados	24
Tabla 6 - Resultados Modelo países industrializados.....	25
Tabla 7 - Test de Breush – Pagan, países no industrializados	26
Tabla 8 - Resultados Modelo países no industrializados.....	27
Tabla 9 - Test de Breush – Pagan, Colombia.....	28
Tabla 10 - Resultados Modelo aplicado para Colombia.....	29
Tabla 11 - Comparación de resultados	31

Resumen

Las vías férreas son un componente esencial de la infraestructura de transporte global. Este estudio se enfoca en analizar el impacto de las vías férreas en el crecimiento económico de una variedad de países, incluyendo tanto naciones industrializadas como no industrializadas, también se hace un análisis para el caso colombiano, para aportar valor regional. Se utilizaron los modelos Schumpeteriano y ampliado de Romer analizados económicamente con datos panel de efectos fijos. Se investiga la relación entre la infraestructura ferroviaria y el crecimiento económico; los resultados revelan una falta de relación significativa en el caso colombiano debido a la carencia de vías férreas, mientras que, en países no industrializados, se evidencia una correlación positiva, no obstante, para países industrializados, el efecto es mayor dados los niveles tecnológicos y de infraestructura.

Palabras clave: Crecimiento económico, Infraestructura, Vías férreas, Efecto, Inversión.

Abstract

Railways are an essential component of the global transportation infrastructure. This study focuses on analyzing the impact of railroads on economic growth in a variety of countries, including both industrialized and non-industrialized nations, and analyzes the Colombian case, to provide regional value. The Schumpeterian and extended Romer models were used, analyzed econometrically with fixed effects panel data. The relationship between railroad infrastructure and economic growth is investigated; the results reveal a lack of significant relationship in Colombian case due to the lack of railroads, while, in non-industrialized countries, a positive correlation is evidenced, however, for industrialized countries, the effect is greater given the technological and infrastructure levels.

Keywords: Economic Growth, Infrastructure, Railways, Impact, Investment.

JEL: C33, E10, E22, H52, H54, L92, N10, N70, O41

1. Introducción

Las condiciones geográficas y naturales de los países inciden de manera directa en la estructura orgánica y productiva dentro de la economía, porque los factores en la mayoría de los casos están dispersos por toda la extensión territorial de un país. Esta dispersión de los factores de producción se da con base en las condiciones necesarias para la producción de un bien; las economías requieren redes de infraestructura de comunicaciones, energía o transporte bien desarrolladas para expandir su mercado interno y competir internacionalmente Rozas y Sánchez (2004). Dada la necesidad de infraestructura, resulta útil generar respuestas al respecto, también, es importante resaltar a Boopen (2006) quien asegura la importancia de investigar en vías férreas, dado que la ausencia de material académico resulta en la toma ineficiente de decisiones políticas.

Así bien, la contribución académica de la presente investigación se encuentra principalmente en la cuantificación del efecto de las vías férreas para el caso de estudio y en la comparación de los grupos de países, seleccionados a partir de las variables que lo catalogan industrializado o no industrializado, como niveles de renta per cápita, tecnológicos y de población, según postula Betancur (2013), por lo tanto, en el caso aplicado de análisis en la comparativa entre Colombia y los grupos de países industrializados y no industrializados la problemática se centra en la estimación de los efectos y la comparativa entre estos, para ello, se plantea la resolución de la pregunta problema: ¿Durante el periodo 1999-2019, cuál ha sido el impacto las vías férreas en el crecimiento económico de Colombia en comparativa a los países industrializados y no industrializados?, se considera entonces la hipótesis de que las vías férreas tienen relevancia en el crecimiento económico, lo cual causaría un efecto mayor en países que si las poseen en comparación a los que no tienen un sistema férreo desarrollado, por lo cual, se plantea el objetivo general de analizar el efecto de las vías férreas en el crecimiento económico para Colombia y para los casos de países industrializados y no industrializados, alcanzado a partir de los objetivos específicos, primero, identificación del comportamiento en las variables durante el periodo de análisis, posteriormente, estimación de la importancia de las vías férreas en el crecimiento económico, que en conjunto, resultan en el último objetivo, la comprensión en términos económicos y econométricos que se obtiene a partir de la información que se recopila a lo largo del documento.

Finalmente, el estudio se compondrá de una primera recopilación teórica, mediante el cual se comprende el crecimiento económico y su relación con las vías férreas. En la segunda sección se realiza la revisión de la literatura en el estado del arte, que indica el recorrido histórico mediante el cual el tema ha sido estudiado bajo la misma percepción, bajo distintos parámetros y distintos casos de aplicación. Para la tercera sección, se genera un análisis que expone el comportamiento de las variables principales en el tiempo de estudio para identificar los cambios más sustanciales. A continuación, en la cuarta sección, se genera un modelo econométrico que corrobore a concluir el efecto de las vías férreas en el crecimiento económico. Finalmente, la quinta sección contendrá recomendaciones de política económica y conclusiones generales del estudio.

2. Revisión de Literatura Teórica

Para comprender en síntesis lo planteado en el proyecto, es necesario comprender las causales del crecimiento económico de los países desde la teoría económica (convencional y no convencional), por lo cual, se realiza una síntesis histórica de los principales modelos económicos que explican por qué y cómo crecen los países, partiendo de supuestos que, suelen tener aplicabilidad y mostrarse de manera acertada respecto la comprensión de los procesos que conllevan el crecimiento económico.

En este sentido, para comprender la convencionalidad en términos de la teoría, los modelos cumplen con las condiciones de la **función neoclásica** que menciona Sala -i- Martin (1990) como 3 fundamentales; los rendimientos constantes a escala u homogeneidad de grado 1, rendimientos marginales decrecientes y finalmente las **condiciones de Inada**, donde las productividades marginales, al tender a 0, tiende a infinito y al tender a infinito, tiende a 0. En conjunto, estas condiciones en consideración corroborarán al modelo que ajuste a la teoría planteada y ayudará a comprender su campo de descripción.

Inicialmente, el modelo **neoclásico** de **Solow- Swan**, donde la ecuación fundamental para el crecimiento del capital viene dada como:

$$\dot{k}_t = sf(k_t) - (\delta + n)k_t \quad (1)$$

Por lo que, la tasa de crecimiento del capital ($\dot{k}_t$), tiene relación directa y positiva con la tasa de ahorro (s). El capital presente (k_t), posee ambigüedad, dado que, por parte

del ahorro es positivo, mientras que por parte de la depreciación del capital (δ) y la tasa de crecimiento de la población (n) tiene efectos negativos, por la pérdida de valor del capital presente y por el nivel de población y la tecnología encontrarla inmersa en el capital como una constante el largo plazo.

Ahora bien, la tasa de crecimiento del modelo en el largo plazo resulta siendo 0, dado que cumple con las condiciones de Inada anteriormente mencionadas. Este modelo resulta de ajuste dado que es la base fundamental de la teoría del crecimiento económico y las vías férreas como factor del crecimiento forman parte del capital.

Posteriormente, el modelo de Romer, Mankiw y Weil (1992), se propone como el modelo **ampliado de dos sectores**; denominados capital físico (K_t) y capital humano (H_t), los cuales causan ahora 2 tipos de ahorro, de capital físico (s_K) y de capital humano (s_H) presentado las ecuaciones fundamentales:

$$\dot{\hat{k}} = s_K \hat{k}_t^\eta \hat{h}_t^\theta - (\delta + n + g) \hat{k}_t \quad (2)$$

$$\dot{\hat{h}} = s_H \hat{k}_t^\eta \hat{h}_t^\theta - (\delta + n + g) \hat{h}_t \quad (3)$$

Por lo que, mostraría una relación para ambos, explicada así, la tasa de crecimiento del capital a través del tiempo, viene explicada de manera directa con el ahorro que este mismo genera, además, depende directamente del otro sector del capital; explicado económicamente como la interdependencia de los sectores, donde el capital humano causa capital físico y el capital físico causa capital humano, por otro lado, ambos sectores del capital se encuentran sujetos a la participación del capital (η, θ) estando ambos valores entre 0 y 1 en representación al 100%. Posteriormente, dependerá de manera inversa del capital, mismo factor de la depreciación del capital (δ), siendo equivalente para ambos sectores, la tasa de crecimiento de la población (n), por razones ya explicadas, finalmente de la tasa de crecimiento de la tecnología (g) que resulta siendo exógena, lo cual se puede resumir finalmente en la tabla 1 como la concatenación de las ideas anteriormente expuestas:

Tabla 1 - Modelo de los dos sectores:

Sector	Directa	Inversa
K_t	S_k, H_T, K_t	δ, n, g, K_t
H_t	S_h, K_t, H_t	δ, n, g, H_t

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, se obtiene la tasa de crecimiento en el largo plazo para cada tipo de capital:

$$\left(\frac{S_H^\theta S_k^{1-\theta}}{\delta + n + g} \right)^{\frac{1}{1-\eta-\theta}} = \hat{k}^{EE}; \left(\frac{S_H^{1-\eta} S_k^\eta}{\delta + n + g} \right)^{\frac{1}{1-\eta-\theta}} = \hat{h}^{EE} \quad (4,5)$$

Siendo este, el estado óptimo del modelo, donde se sigue conservando la caracterización neoclásica, tendiendo a cero en el largo plazo, por lo que, resulta de ajuste para la investigación dada la necesidad del enfoque en el capital físico en particular, siendo las vías férreas parte de la infraestructura y midiendo especialmente este enfoque.

Así bien, se introducen los **modelos de crecimiento endógeno** donde la tecnología toma relevancia, mostrando como primer acercamiento el **modelo AK**, donde la función de “ y_t ” resulta siendo lineal tal que $y_t = Ak_t$, por lo que ahora la ecuación fundamental resultaría:

$$\dot{k}_t = sAk_t - (\delta + n) \quad (6)$$

Dando así, dependencia directa de la tasa de ahorro (s) y la tecnología (A) de tipo endógena, que resulta siendo parte del modelo en el largo plazo y dependencia de manera inversa del capital presente (k_t), la depreciación del capital (δ) y la tasa de crecimiento de la población (n).

Su estado estacionario resultaría por ser un caso atípico donde:

$$sA = (\delta + n) \quad (7)$$

Y la tasa de crecimiento en el largo plazo del capital finalmente sería una función a trozos:

$$\gamma_k = \begin{cases} \gamma_k > 0 & \text{si } sA > (\delta + n) \\ \gamma_k < 0 & \text{si } sA < (\delta + n) \end{cases} \quad (8)$$

Por lo que resulta importante resaltar que la tasa de crecimiento del capital es la misma para la renta dado su homogeneidad en este aspecto, resultando de importancia y ajuste para la

investigación, dado que ofrece una comprensión de la tecnología dentro del crecimiento y el impacto que esta genera, siendo útil para comprender las diferencias en crecimiento vía tecnología férrea.

Finalmente, el modelo **Schumpeteriano de destrucción creativa** por medio de la innovación bajo la solución de mercado con una condición de optimización de la utilidad, donde los bienes finales solo dan como resultado consumo e inversión, siendo el PIB:

$$MAX(C_t) \int_{t=0}^{\infty} e^{-\rho t} C_t dt \quad (9)$$

Por lo que, la innovación resultaría ser una función a trozos tal que:

$$A_t = \begin{cases} \gamma A_{t-1} & \text{con Pr } \Pr = \mu_T \\ A_{t-1} & \text{con Pr } \Pr = 1 - \mu_T \end{cases}, \gamma > 1 \quad (10)$$

Lo que en conjunto causa que la tasa de crecimiento de la economía sea:

$$\frac{GDP_t}{GDP_t} = \left(\frac{\dot{A}_t}{A_t} \right) = \gamma_A \quad (11)$$

Y la tasa de crecimiento de la innovación resulta:

$$\begin{cases} \gamma_A > 0 & \text{si } \frac{\gamma A_{t-1} - A_{t-1}}{A_{t-1}} \\ \gamma_A = 0 & \text{si } \frac{A_{t-1} - A_{t-1}}{A_{t-1}} \end{cases} \quad (12)$$

Y una tasa crecimiento en el largo plazo de:

$$E[\gamma_y] = \lambda^{\frac{1}{1-\sigma}} (\sigma \pi L)^{\frac{\sigma}{1-\sigma}} (\gamma - 1) \quad (13)$$

Por lo tanto, en el modelo, la tasa de crecimiento es causada por las ideas y/o por la innovación que se aplique en las creaciones de productos, por lo que la tecnología resulta ser de tipo endógena, además de limitar el uso de variables como el ahorro para el crecimiento de los países.

Finalmente, se resume en la tabla 2 los modelos de crecimiento anteriormente expuestos y se lleva a cabo una descripción de cada uno de los modelos referentes a la base de la investigación.

Tabla 2 - Caracterización de las vías férreas y con el crecimiento económico.

Modelo	Año	Ecuación fundamental	Autor (es)	Características del modelo y su relación con las vías férreas y trenes
Solow Swan	1979	$\dot{k}_t = sf(k_t) - (\delta + n)k_t$	Robert Solow	Dentro del modelo de Solow Swan se encuentran las vías férreas y los trenes dentro de K como una generalidad entre todos los tipos de capital físico.
Modelo de los dos sectores	1992	$\dot{\hat{k}} = s_k \hat{k}_t^\eta \hat{h}_t^\theta - (\delta + n + g)\hat{k}_t$ $\dot{\hat{h}} = s_H \hat{k}_t^\eta \hat{h}_t^\theta - (\delta + n + g)\hat{h}_t$	Romer	En el modelo, se hace la diferenciación entre los dos tipos de capital (físico y humano), donde los kms de vías férreas y los trenes se pueden encontrar inmersos dentro del capital físico.
Modelo AK	1991	$\dot{k}_t = sAk_t - (\delta + n)$	Rebelo	En el modelo AK, se encuentra el capital atado a la tecnología, por lo cual, el capital de infraestructura en vías férreas y trenes se encuentra segregado dentro del capital total que viene acompañado por la tecnología causando su crecimiento.
Modelo Schumpeteriano	1911	$E[\gamma_\lambda] = \lambda^{\frac{1}{1-\sigma}}(\sigma\pi L)^{\frac{\sigma}{1-\sigma}}(\gamma - 1)$	Schumpeter	En el modelo Schumpeteriano, el capital férreo y de trenes se encuentra de manera endógena en la tecnología, donde la misma se encarga de generar el crecimiento del capital.

Fuente: Elaboración Propia

Nota: esta tabla hace una caracterización para los modelos en pro de comprender holísticamente el capital dentro del crecimiento.

En conjunción, se encuentra que, los modelos con mayor ajuste al tema de la investigación son, por un lado, el modelo de Solow ampliado a dos sectores, ya que se hace una discriminación entre los tipos de capital y puede causar un análisis específico respecto al capital en infraestructura férrea y, por otro lado, el modelo Schumpeteriano, el cual brinda un análisis enfatizado en la innovación, el cual resulta de utilidad dadas las diferencias que según Loncán, H. (2011), explica respecto a las vías férreas en países industrializados y no industrializados, que además de estructuras férreas más densas, poseen mayor nivel tecnológico, que incrementa la productividad y los *Spillovers* en el crecimiento económico de los países.

3. Revisión Literatura Empírica

A lo largo de la historia, el crecimiento y desarrollo han sido objetivos fundamentales para las sociedades. El crecimiento económico, como parte integral de este propósito, conlleva un aumento en los ingresos y una mejora en la calidad de vida de los individuos que conforman la sociedad. Diversos autores han investigado esta temática, centrándose especialmente en el análisis de la relación y comportamiento del crecimiento económico en función de la infraestructura ferroviaria.

Gómez (2008), analiza el papel de la infraestructura de transporte para el caso de Colombia, indica que hay una relación histórica de interdependencia entre transporte y crecimiento económico de los países, el trabajo analiza de forma específica el caso colombiano en la segunda mitad del siglo XX, el objeto del documento es demostrar la relevancia del transporte en el crecimiento de los países, dado que la teoría moderna del crecimiento lo trata de manera marginal. Ahora bien, los resultados del estudio muestran cifras favorables de la participación del transporte en el alza de las tasas de crecimiento del PIB, para el caso colombiano el transporte en sus cuatro modos (carretero, fluvial, férreo y aéreo) ha tenido una fuerte relación con el crecimiento económico durante el periodo de análisis del artículo (1950-2000), finalmente hay una relación positiva entre el comercio y la inversión en transporte. El artículo brinda un análisis para un periodo previo al presente trabajo que muestra la existente relación del transporte y crecimiento económico en Colombia.

En su tesis doctoral, Zepeda (2022) sigue una línea de análisis similar a la del profesor Gómez. Su trabajo se enfoca en un análisis regional para México, donde examina los efectos de la inversión en transporte portuario, ferroviario y de carretera. Zepeda realizó un análisis comparativo de los niveles de crecimiento económico en los diferentes estados de México. Para profundizar en el estudio del transporte ferroviario, empleó una metodología basada en el modelo de análisis de covarianza "ANOVA". Los resultados obtenidos en este sector fueron consistentes con investigaciones previas, aunque identificó un desafío en la cuantificación de los beneficios esperados de la privatización, los cuales no fueron totalmente cuantificables. En sus conclusiones, Zepeda destaca que, si bien la eficiencia operativa de este sector ha aumentado, atribuye este resultado principalmente al crecimiento del mercado en sí. El trabajo de Zepeda es valioso en cuanto su análisis diferenciador, hecho de manera regional, además brinda distintas concepciones usando distintas metodologías ajustadas a su estudio, brinda un aporte oportuno a la revisión literaria de la presente investigación y brinda una visión propia de uno de los países en análisis.

Por otro lado, Flores y Rojas (2020) analizan la relación de demanda de transporte y crecimiento para Perú durante el 2000 hasta el segundo trimestre de 2017. En su trabajo consideran las variables como variables de la demanda de infraestructura aeroportuaria, ferroviaria, portuaria y vial, bien la metodología empleada fue un modelo ARDL¹ con datos trimestrales. Los resultados mostraron una relación bidireccional entre la demanda de transporte de carga y pasajeros con el crecimiento económico del país. En ese sentido, el artículo sugiere que los responsables de la política pública en Perú deben promover la implementación de procesos eficientes de concesión e inversión en infraestructura, evitando retrasos e inestabilidad gubernamental. Esto, a su vez, fomentaría un mayor nivel de inversión, lo que contribuiría a un mayor crecimiento económico. El trabajo llevado a cabo por Flores y Rojas aborda variables similares a las que son objeto de estudio en la investigación actual. Esto proporciona una orientación metodológica concreta para la indagación que se persigue en el presente estudio, lo que se traduce en una contribución sustancial tanto desde la perspectiva empírica como metodológica.

¹ ARDL: modelo Autorregresivo de Rezagos Distribuidos.

El caso de la India es analizado en el trabajo de Pradhan y Bagchi (2013) en su investigación de economía del transporte para la India, en el trabajo examinan el efecto de la infraestructura de transporte de carretera y de vías ferroviarias para el periodo 1970 hasta 2010, para examinar los datos usaron un modelo VECM² (Los resultados muestran que las vías férreas, existe una causalidad unidireccional entre infraestructura ferroviaria, crecimiento económico y formación bruta de capital interno), este resultado revela que la reducción de infraestructura ferroviaria en la combinación de transporte del país conduciría a una caída en el crecimiento económico y formación bruta de capital del país, dentro de su análisis destacan la importancia del diseño e implementación efectiva de políticas públicas de transporte para la India, ya que es una economía de rápido crecimiento. El trabajo de Pradhan y Bagchi ofrece un análisis muy completo frente a la relación de la infraestructura de transporte con el crecimiento económico, al igual que la gran mayoría de material literario analizado en el presente trabajo, el análisis que realiza Pradhan y Bahchi presenta similitud en cuanto a variables consideradas, esto brinda una guía en materia metodológica.

En su artículo centrado en el caso de Letonia, Skorobogatova y Kuzmina (2017), resaltan la importancia fundamental de la infraestructura de transporte en el sistema estatal europeo. Destacan el uso internacional de mecanismos de medición para evaluar el desarrollo de dicha infraestructura. El enfoque del documento se basa en la necesidad de una metodología global de medición de desempeño que mejore la toma de decisiones en este ámbito. En las conclusiones de su investigación, evidencian la relevancia del transporte en el progreso económico de Letonia, señalando sus efectos directos e indirectos en la eficiencia y el crecimiento económico. La relación estrecha entre la calidad de la infraestructura de transporte y el desempeño macroeconómico del país. Una infraestructura bien desarrollada proporciona ventajas a través de impulsores macroeconómicos de la productividad. Una visión diferenciadora en comparación de investigaciones sobre el tema se toma en cuenta índices como Índice de Competitividad Global e Índice de desempeño logístico ofrecen un nuevo panorama al momento de relacionar el crecimiento económico con el transporte.

Los trabajos sobre la relación de crecimiento y transporte para el continente africano son escasos, es por eso por lo que Radhia y Bouzid (2013), en su investigación, buscan

² VECM: Modelo de Corrección de Error Vectorial

evidenciar la relación y causalidad entre crecimiento económico y la infraestructura de transporte en Túnez desde 1980 hasta 2013 mediante la metodología ARDL. Para la investigación usaron datos anuales sobre el PIB, en dólares estadounidenses, a precios constantes de 2005, además de otros datos como toneladas de mercancía y millones de viajeros transportados por km y longitud de red vial y férrea. La investigación reveló que la elasticidad de producción de la infraestructura de transporte en Túnez es positiva y significativa. En concreto, un incremento del 10% en la longitud de las vías férreas y carreteras puede generar un crecimiento económico del 5,2%. Este hallazgo subraya la relevancia de la infraestructura de transporte para la economía tunecina. La relación entre transporte y crecimiento económico es bidireccional, positiva y estadísticamente significativa. El trabajo brinda la perspectiva y análisis para un área geográfica no tan considerada, el estudio realizado es indicativo y muestra que en el continente africano se presente la relación positiva de las dos variables principales de este estudio y ofrece un aporte metodológico considerable a la presente investigación.

De forma similar, Donaldson y Hornbeck (2016), examinan el impacto de los ferrocarriles sobre el crecimiento económico estadounidense, se basan en la teoría comercial del equilibrio general, los cambios en el "acceso al mercado" de los condados capturan el impacto agregado de los cambios locales en los ferrocarriles. Donaldson y Hornbeck usan una nueva red espacial de rutas de transporte de carga, calculando los costos de transporte, lograron estimar una disminución calculada en el acceso al mercado a partir de la eliminación de todos los ferrocarriles en 1890, reduce el Producto Nacional Bruto en un 6,3%, aproximadamente el doble de las estimaciones de Fogel en 1964. Sin los ferrocarriles, el valor total de las tierras agrícolas de EE. UU. habría sido un 73 % menor. La estimación para el caso estadounidense, en periodos anteriores al análisis del presente estudio, brindan un patrón de comportamiento entre la relación existente de redes férreas y crecimiento económico para este país y evaluar la evolución de dicha relación.

Se considera a China como uno de los países con mayor crecimiento y desarrollo de infraestructura del siglo 21, el crecimiento de infraestructura férreas o sus TAV³ Mengjie et al (2020) en su trabajo estudian la rápida expansión de los TAV, el estudio prueba

³ Trenes de Alta Velocidad (TVA).

empíricamente esta hipótesis y analiza el impacto de los TAV en la disparidad económica entre 2002 y 2016 en China utilizando un modelo econométrico espacial. Los resultados confirman el papel de los TVA como fuerza impulsora en la promoción del crecimiento económico local. El estudio concluye en que cada ciudad debe planificar razonablemente su red de TVA para promover el crecimiento económico y reducir la disparidad económica, teniendo en cuenta las diferentes dotaciones de recursos, especialmente los factores geográficos y de población. El estudio del impacto los ferrocarriles de alta para China brindan un panorama actual de la implicación de la construcción de ferrocarriles de alta velocidad y como estas pueden impactar de manera positiva en el desarrollo y crecimiento de los países.

Para una mayor comprensión, la siguiente tabla brindará un resumen de la información de los artículos y trabajos citados dentro de la revisión de literatura empírica de este documento.

Tabla 3 - Síntesis de información de documentos

Estudio	Temporalidad de los datos	Modelo	Variables	Resultados
Abrahan Gómez (2008) - El papel del transporte en el crecimiento económico colombiano en la segunda mitad del siglo XX	1950-2000	Pruebas estadísticas de cointegración de variables y Modelo de Crecimiento AK	Tasa de Crecimiento del PIB Nivel de crecimiento férreo	El análisis estadístico muestra que para la segunda mitad del siglo XX el crecimiento económico y el sector de transporte han tenido una fuerte asociación, para obtener una mejor visión y detalle del caso colombiano se debe hacer un análisis de tipo sectorial
Enrique Zepeda (2022) - Infraestructura de transporte y crecimiento económico para México	1960-2015	ANOVA (Análisis de Covarianza)	Desempeño funcional, Inversión en infraestructura, Niveles de Crecimiento	El estudio de Zepeda, logro evidenciar los efectos positivos del transporte férreo de manera regional, e indica que la eficiencia del transporte férreo en el país ha aumentado por el crecimiento del mercado en sí.
Alex Flores & Víctor Chang (2020) - Relación entre la demanda de transporte y el crecimiento económico: Análisis dinámico mediante el uso del modelo ARDL	2000-2017	Modelo ARDL	TN de Carga Transportada Pasajeros Transportados x Km Inversión y PIB	Descubren la relación bidireccional del transporte aéreo y el crecimiento económico en Perú, así mismo evidenciaron como la crisis financiera del 2008 y fenómenos climatológicos afectaron de manera negativa la demanda de transporte en el país.
Rudra Pradhan & Tapan Bagchi (2013) - Effect of transportation infrastructure on economic growth in India: The VECM approach	1970-2010	VECM Modelo de Corrección de Error Vectorial	Formación Bruta de capital Km de vías Férreas, PIB y tasas de crecimiento	Para el caso de la India demuestran una causalidad unidireccional entre el transporte férreo y el crecimiento económico, del país. Para la India, la infraestructura de transporte no solo influye en el crecimiento económico, sino también en la formación bruta de capital.

Estudio	Temporalidad de los datos	Modelo	Variables	Resultados
Skorobogatova & Kuzmina (2017) - Transport infrastructure development performance.	2010-2015	Evaluación de Desempeño Logístico	Índice de Competitividad Global Índice de desempeño logístico	El transporte tiene efectos directos e indirectos para el crecimiento y eficiencia económica, habiendo una conexión mutua entre calidad de la infraestructura de transporte y el desempeño macroeconómico del país.
Radhia A, Bouzid A (2017) - Transport Infrastructure and Economic Growth: New Evidence from Tunisia and ARDL Bounds Testing	1980 - 2013	Modelo ARDL	Longitud de la red vial, Millones Pasajeros x Km, TN de Carga Transportada x Km	El artículo proporciona una explicación empírica de la contribución del transporte al crecimiento económico de Túnez, este estudio encuentra que la infraestructura de Transporte tiene una relación positiva y significativa con el crecimiento económico en el País.
Donaldson, D., & Hornbeck, R (2016) Railroads and American economic growth: new data and theory.	1850 - 1950	Teoría Comercial del Equilibrio General	PNB, Km de Vías férreas, Tn de Carga Mercancías, Km de tierra agrícola	El estudio muestra que los ferrocarriles tuvieron un impacto mayor que las estimaciones previas y que las mejoras en otras formas de transporte no podrían sustituir completamente su función. Aunque el análisis se centra en el sector agrícola, reconoce que los beneficios de los ferrocarriles se extienden a otros sectores y áreas geográficas.
Mengjie et al (2020) Impacts of high-speed railways on economic growth and disparity in China	2002 - 2016	Modelo de Econometría Espacial	PBI, Inversión Extranjera, N. de líneas TAV, N. de Habitantes x ciudad, TN carga x Km TAV	Los resultados confirman que los HSR impulsan el crecimiento económico, pero no respaldan la presencia de efectos significativos de derrame de los HSR. El análisis entre ciudades indica que los HSR pueden agravar la disparidad económica en China.

Fuente: Elaboración Propia.

4. Hechos Estilizados

Población

El primer hecho estilizado es la tasa de crecimiento de la población de cada uno de los países de estudio; Observados en las figuras 1 y 2, se realizó la clasificación por grupo de países, se analiza el grupo de países industrializados (China, Estados Unidos y Rusia) y el grupo de países no industrializados (Colombia, Egipto, India y México). Los datos muestran que desde 1999 hasta 2019, la variación poblacional en los países industrializados ha sido baja, oscilando entre -0,5% y 1,2% y para el grupo de países no industrializados se ha mantenido entre 1,0% y 2,5%.

La experiencia histórica de los países desarrollados muestra que su avance coincidió con un crecimiento poblacional de alrededor del 1% por año en el último siglo. Las poblaciones que experimentan un aumento del 1% anual se duplican aproximadamente en un lapso de 70 años. Ahora bien, las tasas de crecimiento de la población de los países subdesarrollados del orden de un 3 % al año son incompatibles con el "desarrollo económico intensivo"⁴. Vaz da Costa (1970)

Figura 1 – Tasa de crecimiento poblacional países industrializados (variación %)

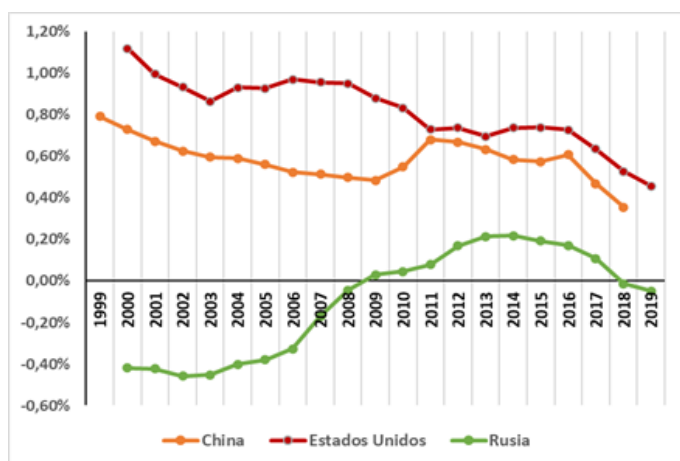
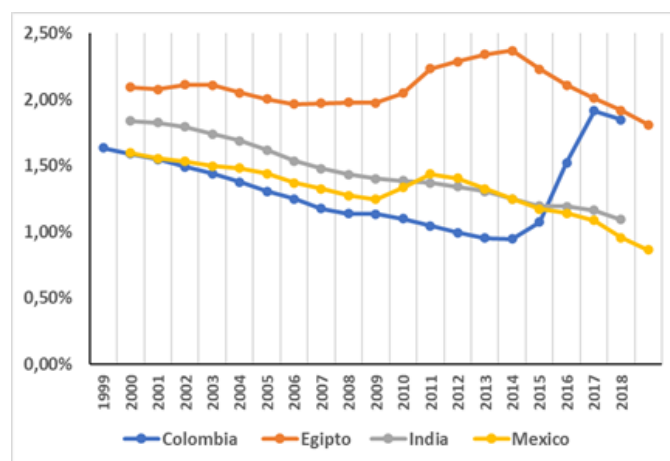


Figura 2 – Tasa de crecimiento poblacional países no industrializados (variación %)



Fuente: Elaboración propia con datos del WorkBank

⁴ El crecimiento económico intensivo es una condición del desarrollo económico. El continuo y rápido crecimiento económico de los países industrializados en aras de brindar mejores servicios a su población.

Población Económicamente Activa

La población activa total comprende a personas de 15 años o más que satisfacen la definición de la Organización Internacional del Trabajo de población económicamente activa. El grupo de países no industrializados en la figura 4, presentan una alta concentración de fuerza laboral si se le compara con la población total de los países, la concentración de Personas Económicamente activas ronda desde un 45% hasta 73%, los países de este grupo mantienen un comportamiento estable sin tener fuertes reducciones en su fuerza laboral, Egipto es el país con la mayor cantidad de personas económicamente activas, teniendo un promedio de 69,5% de población económicamente activa durante el periodo de 20 años.

En su estudio, Barrios (2003) resalta que los trabajadores no solo generan ingresos, sino que también son productores de bienes y servicios. Asimismo, señala que un aumento en la PEA puede propiciar la expansión del mercado laboral, atrayendo a un mayor número de consumidores. Esto, a su vez, puede estimular la inversión y fomentar el crecimiento empresarial. En el grupo de países industrializados, la gran parte de ellos tienen más del 50% de su población total como fuerza laboral. Estados Unidos muestra la mayor estabilidad con una PEA entre el 49% y 51%. Aunque otros países del grupo también tienen comportamiento estable, no superaron el umbral del 50% durante el periodo de estudio.

Figura 3 – Porcentaje de población económicamente activa en países industrializados

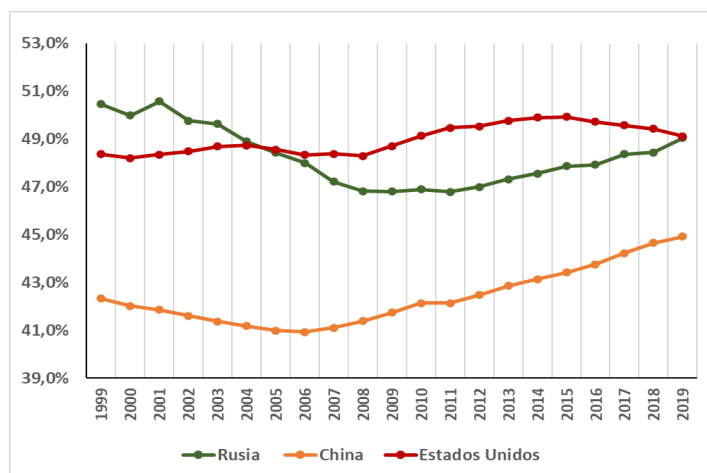
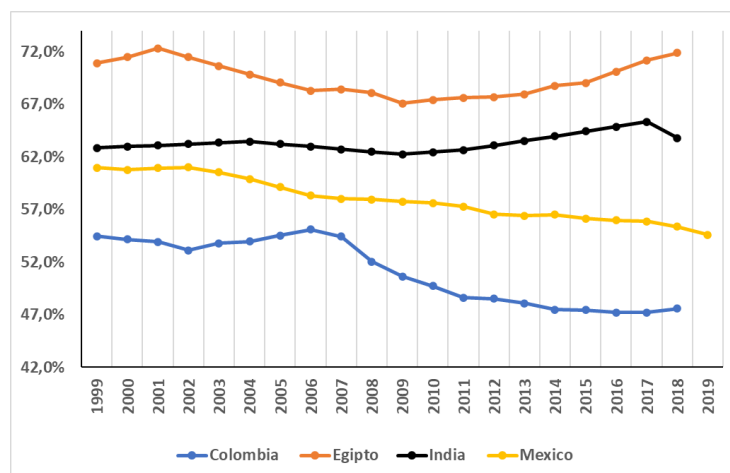


Figura 4 – Porcentaje de población económicamente activa en países no industrializados



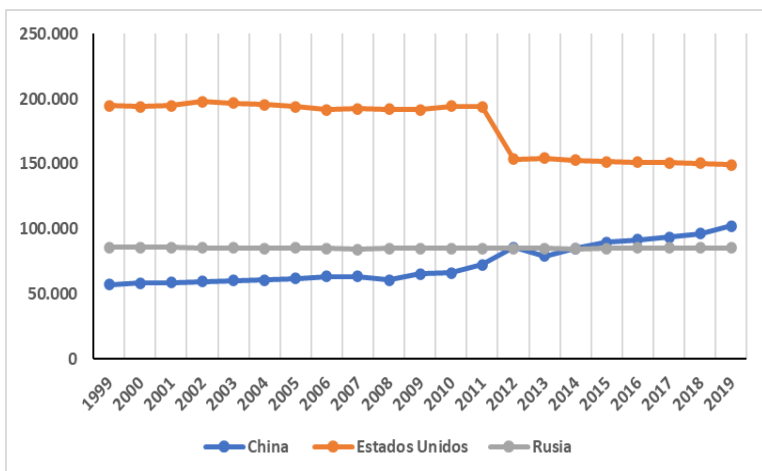
Fuente: Elaboración Propia con datos del WorkBank

Kilómetros de vías férreas

En los kilómetros de vías férreas se encuentra un comportamiento para los países industrializados en la figura 5, similar al comentado por Mengjie et al (2020), donde expone el fuerte crecimiento de algunos países como China. Skorobogatova (2016) menciona la importancia de la tecnología en infraestructura, que se encarga de los procesos logísticos, por lo que, para países industrializados con comportamiento descendente, normalmente se debe al aumento de tecnología en vías férreas, la cual, según Mengjie, genera *Spillovers* de crecimiento económico por lo cual, un efecto inverso dado el comportamiento gráfico resulta posible.

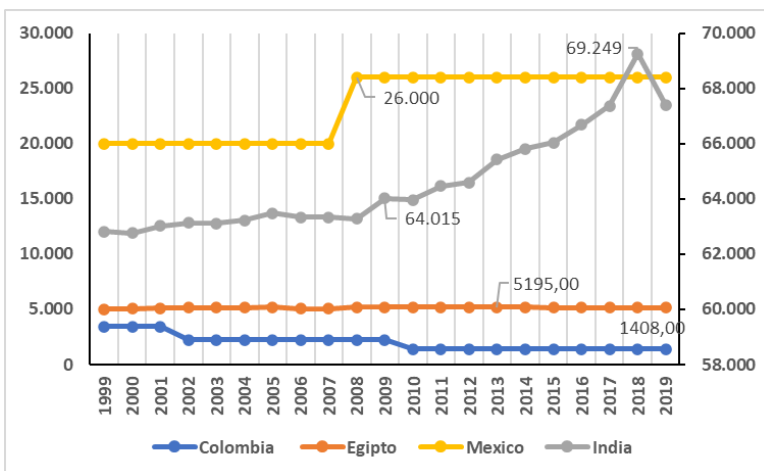
Por su parte, para los países no industrializados, en la figura 6, el comportamiento normal resulta en tendencia descendente, como explica Loncán (2011), en América latina, la construcción de infraestructura férrea resulta ineficiente dadas las condiciones geográficas de la zona, además de comentar que para países que apliquen tecnología posterior a la aplicación en otros lugares del mundo, limita las pérdidas y genera que en países con limitaciones industriales obtengan mayor crecimiento en esa área, como resulta para el caso de la India, finalmente, se puede evidenciar una significativa carencia de infraestructura férrea en la mayor parte de los países no industrializados.

Figura 5 – Número de Kilómetros de vías férreas en países industrializados



Fuente: Elaboración propia con datos del WorkBank

Figura 6 – Número de Kilómetros de vías férreas en países no industrializados



Nota: El eje izquierdo corresponde a los datos de la India, dada la disparidad de los datos con el grupo de países

Toneladas por kilómetros de vías férreas

En las toneladas por kilómetros de vías férreas, se observa un comportamiento ascendente para todos los países del caso de estudio en las Figuras 7 y 8. Esto refleja un comportamiento particular respecto a cómo se lleva a cabo el ámbito comercial. Mientras que, para los países no industrializados, las vías férreas se usan para el transporte masivo de materias primas; para los países industriales, dados los avances tecnológicos, como menciona Loncán (2011), el principal objeto resulta siendo el transporte de personas. Esto puede marcar la diferencia en el ámbito comercial, por lo que la aseveración se presume extendida al comercio, para limitar el sesgo que el transporte público puede causar.

Finalmente, hay que tener en cuenta que Loncán (2011), afirma que en los países no industrializados resulta común que el comercio sea netamente interino, y que los efectos positivos de la exportación resultan ineficaces para este tipo de mercancías en naciones que no fortalecen su infraestructura ferroviaria. Esto lleva a una disyuntiva significativa en el entorno comercial, ya que, a pesar de los efectos positivos que podrían generarse a partir del volumen de carga transportada, se omite considerar el impacto potencial debido a la falta de desarrollo de la estructura ferroviaria en estos países.

Figura 7 – Toneladas por km de vías férreas países industrializados

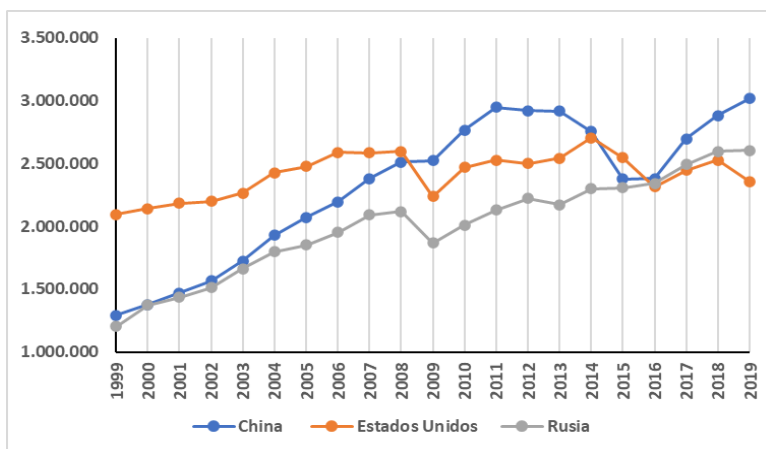
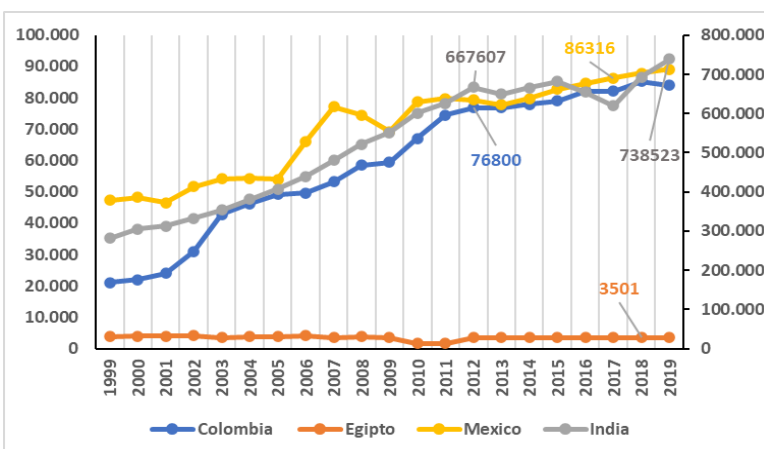


Figura 8 – Toneladas por km de vías férreas países no industrializados



Nota: El eje izquierdo corresponde a los datos de la India, dada la disparidad de los datos con el grupo de países

Fuente: Elaboración Propia con datos del WorkBank

5. Modelo Econométrico

En el presente apartado se presenta el modelo econométrico acorde la hipótesis planteada al inicio del proyecto, donde se propone la siguiente ecuación:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_{KMFw_t} X_{KMFw_t} + \beta_{\left(\frac{TN}{KM}\right)_t} X_{\left(\frac{TN}{KM}\right)_t} + \beta_{PTTS_t} X_{PTTS_t} + \beta_{FBK_t} X_{FBK_t} + \beta_{PT_t} X_{PT_t} + \beta_{PEA_t} X_{PEA_t} + \varepsilon_t \quad (14)$$

Donde:

β_0 = Intercepto.

β_i = Efecto marginal de la Variable.

X_i = Variable de impacto.

$KMFw_t$ = Kilometros de vías férreas en el tiempo.

$\left(\frac{TN}{KM}\right)_t$ = Toneladas por kilometros de vías férreas en el tiempo.

$PTTS_t$ = Numero resgistrado de patentes en el tiempo.

FBK_t = Formación bruta de capital en el tiempo.

PT_t = Población total en el tiempo.

PEA_t = Población económicamente activa en el tiempo.

ε_t = Error estándar.

Donde la teoría indicaría para el caso que a partir del modelo de los 2 sectores, el capital férreo, al ser capital físico, tendría la tendencia a causar crecimiento al igual que las toneladas transportadas porque esto resulta en la actividad principal por la cual las vías férreas causan crecimiento económico según explica Loncán (2011), por otra parte, las patentes se ajustan al modelo Schumpeteriano de crecimiento, como la tecnología como factor del crecimiento, según lo presenta Mengjie et al (2020), en su trabajo para China, posteriormente la formación bruta de capital, que por medio de los modelos de crecimiento económico es un estimulante para la economía, y finalmente la PEA que tiene un efecto positivo en el crecimiento dado que son la población productiva.

Respecto a la caracterización de los individuos, se toman a cada panel de información como los subconjuntos de información, donde, el primer panel será de países industrializados, serán, China, EE. UU. y Rusia, y el segundo panel de países no industrializados estarán México, India y Egipto, este dado sus niveles de renta que generan un análisis congruente y se pueda complementar la comparación para ambos casos. Para el caso de Colombia se genera un modelo individual basado en la diferenciación de los datos que presenta frente al grupo de países industrializados y no industrializados, en aras de una mejor implementación en los modelos y análisis de resultados.

En conjunto, se propone un modelo econométrico de datos panel con efectos fijos, siendo la categorización de datos panel la forma en que la recopilación de información se ordenará, con dos paneles principales y una comparativa regional. Esto se da en el trabajo de Boopen (2006), en el caso aplicado a África hizo uso de 2 paneles diferentes para la comparativa entre provincias y ciudades, dado que muestra la posibilidad de sesgo que existe por los patrones de renta, consumo y demás.

Esta es una ecuación equivalente para los tres casos en los que se aplicará el modelo. Los resultados, y su significancia, se tomarán en cuenta para las conclusiones y recomendaciones. En la siguiente tabla, se exponen cada una de las variables, incluidas las de control, para ampliar el razonamiento de cada una de ellas.

En cuanto a recopilación de información, es conveniente la recopilación de datos en series de tiempo provenientes de fuentes secundarias de información, comprendidas como información que ha sido procesada para dar un resultado con mayor valor en consideración con la información base Cabrera (2010). Así bien, se considera el uso de información de disposición pública, encontrada la mayor parte en el “*Banco Mundial*”, página de acceso público con información fiable, dada la funcionalidad institucional que posee. Banco Mundial, (2023), con el objetivo de recopilar en fuentes gubernamentales que complementen los datos anteriormente vistos.

Tabla 4 - Descripción de las variables

<i>Variable</i>	<i>Características</i>	<i>Fuente</i>
<i>PIB Constante US\$ 2015</i>	Variable dependiente, valor en US\$ de la producción total de bienes y servicios durante un año predeterminado	DataBank 2023 - Banco Mundial
<i>KM Líneas férreas</i>	Variable continua e independiente, representada en Km totales de infraestructura o red, construida y en operación	DataBank 2023 - Banco Mundial
<i>TN – KM</i>	Variable continua e independiente, son los millones de Toneladas de bienes y mercancías transportadas por kilómetro de línea férrea	DataBank 2023 - Banco Mundial
<i>Gasto Público en Educación</i>	Variable continua, representa el gasto público en educación como porcentaje total del PIB	DataBank 2023 - Banco Mundial
<i>Patentes</i>	Variable continua, representa el número de solicitudes de patentes de residentes locales.	DataBank 2023 - Banco Mundial
<i>Recaudo Impuestos</i>	Variable Continua, es el recaudo impositivo y fiscal como porcentaje total del Producto Interno Bruto PIB en un año	DataBank 2023 - Banco Mundial
<i>Ahorro Bruto % PIB</i>	Variable continua, es la diferencia entre la renta disponible y el consumo y sustituye al ahorro interior bruto,	DataBank 2023 - Banco Mundial
<i>FBK %PIB (Formación Bruta de Capital)</i>	Variable Continua, representa los desembolsos en concepto de adiciones a los activos fijos de la economía más las variaciones netas en el nivel de los inventarios.	DataBank 2023 - Banco Mundial
<i>Población Total</i>	Variable continua e independiente, representa el número total de habitantes dentro de un área geográfica específica	DataBank 2023 - Banco Mundial
<i>Población Económicamente Activa</i>	Variable continua e independiente, comprende a personas de 15 años o más que aportan trabajo para la producción de bienes y servicios durante un período específico.	DataBank 2023 - Banco Mundial

Fuente: Elaboración propia

Resultados Modelo aplicado países industrializados

Con el fin de incrementar la fiabilidad de los resultados, se ejecutó la prueba de Breusch-Pagan (Tabla 5) como una herramienta utilizada para evaluar la presencia de heteroscedasticidad en el modelo de regresión. La prueba da como resultado un P-value = 0,008, para el modelo original, por lo que al observar que existía sesgo de heteroscedasticidad, se realizó la corrección de White para ajustar el modelo, arrojando valores reales y corregidos con respecto a sus varianzas.

Tabla 5 - Test de Breush – Pagan, países industrializados

Test de Breush-Pagan	
<i>BP (Breusch-Pagan)</i>	15,50
<i>df</i>	5
<i>P-value</i>	0,008

Fuente: Elaboración propia.

En conjunto, con los resultados del modelo expuestos en la tabla 6 se puede concluir que para los km de vías férreas y Tn/Km obtienen significancia, y un crecimiento adicional ante el aumento en una unidad del 1,27 en los kilómetros y el 1,15 en las toneladas, es decir, son factores productivos que tienen efecto positivo en el crecimiento económico, la diferencia viene explicada dado que para estos países la estructura férrea se encuentra establecida y densificada, además, según Skorobogatova (2016), las vías férreas de alta velocidad que se encuentran en los países con mayores rentas per-cápitas, son un estimulante del crecimiento, fortaleciendo la aseveración de los spillovers, expuesta por Mengjie et al (2020).

Por su parte, el resultado arrojado por las patentes como causales del crecimiento; arrojando un crecimiento adicional del 0,025 por cada unidad de tecnología que se aumente, justifica a la tecnología como una causal del crecimiento.

Finalmente, las variables como la formación bruta de capital y la población económicamente activa arrojan como resultado que la formación obtiene un valor negativo, dado que en el tiempo esta se ve afectada por la depreciación y un aumento de una unidad en la FBK generaría una disminución del 0,025 en el tiempo y la PEA, tiene un efecto positivo esperado que causa el aumento del 1,02 ante el aumento de 1 unidad en la misma.

Ahora bien, la tabla 6 muestra los resultados de los países industrializados, para el periodo de análisis 1999-2019. Se observa que se retiraron todas las variables que no fueran⁵ significativas para dar respuesta a la premisa principal, sin embargo, el modelo no se alteró dado que el testó corrigió arrojando los mismos resultados.

Tabla 6 - Resultados Modelo países industrializados

Variable	Betas sin corrección de White	Betas con corrección de White
<i>Km Líneas Férreas</i>	1,272*** (0,162)	1,272*** (0,162)
<i>TN x KM</i>	1,159*** (0,160)	1,159*** (0,160)
<i>Patentes</i>	0,254*** (0,605)	0,254*** (0,605)
<i>FBK</i>	-0,025*** (0,003)	-0,025*** (0,003)
<i>Población Económicamente Activa</i>	1,024** (0,066)	1,024** (0,066)
<i>R²</i>	0,984	0,984
<i>Adjusted R²</i>	0,982	0,982

*Niveles de Significancia: (***)p < 0,01, (**)p < 0,05, (*)p < 0,1*

(.): Error estándar de las variables β

Fuente: Cálculos propios con datos del WorkBank.

La relevancia de la variable “Km de vías férreas” en el modelo refleja los resultados del trabajo de Aschauer (1990), en el cual se evidencia el impacto de la inversión en infraestructura de transporte, incluyendo el transporte aéreo, ferroviario y vial. Aschauer señala que el impacto en el producto interno es positivo en países con altos ingresos, donde la inversión en infraestructura es considerablemente mayor. Este nivel de inversión tiene una notable influencia en el crecimiento económico de estas naciones, lo que respalda los resultados esperados en el modelo de países industrializados.

⁵ Las variables no significativas para el grupo de países industrializados fueron:

1. Gasto Público en educación
2. Población Total

Resultados Modelo aplicado países no industrializados

Para brindar una mayor precisión de los resultados, se realizó la prueba de Breusch-Pagan observada en la tabla 7, que se utiliza para evaluar la presencia de heteroscedasticidad en el modelo de regresión. La prueba da como resultado $P\text{-value} = 0,059$, siendo un nivel de significancia mayor a 0,05, lo que significa que no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que no hay heteroscedasticidad en el modelo de regresión.

Tabla 7 - Test de Breush – Pagan, países no industrializados

Test de Breush-Pagan	
<i>BP (Breusch-Pagan)</i>	14,98
<i>df</i>	8
<i>P-value</i>	0,060

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, con los resultados referenciados en la tabla 8 la variable de Km de líneas férreas presenta una significancia, lo que indica que en un aumento en una unidad de Km de líneas férreas se asocia directamente en un aumento de 0,452 en la tasa de crecimiento de la renta, por el contrario la variable Gasto Público como porcentaje del PIB tiene significancia alta, lo que traduce que ante un aumento en una unidad de gasto público generaría una disminución aproximada de 0,074 en el PIB, teniendo un impacto negativo en PIB.

En conjunto, el Ahorro bruto, como porcentaje del PIB, tiene significancia dentro del modelo, esto indica que, ante un aumento en una unidad de Ahorro, se presenta una disminución de 0,0021 unidades de PIB. Del mismo modo, la Variable FBK presenta significancia, esto indica que ante un aumento en una unidad de FBK se presenta una disminución de 0,0042 en PIB.

Tabla 8 - Resultados Modelo países no industrializados

Variable	Betas sin corrección de White	Betas con corrección de White
<i>Km Líneas Férreas</i>	0,452 ** (0,140)	0,452** (0,159)
<i>TN x KM</i>	-0,009 (0,050)	-0,009 (0,045)
<i>Gasto público en Educación</i>	-0,074*** (0,012)	-0,0735 *** (0,014)
<i>Patentes</i>	0,021 (0,017)	0,021 (0,017)
<i>Ahorro Bruto</i>	-0,002*** (0,0004)	-0,002*** (0,0004)
<i>FBK</i>	-0,004* (0,002)	-0,004** (0,001)
<i>Población Total</i>	-0,993** (0,311)	-0,992* (0,434)
<i>Población Económicamente Activa</i>	1,312** (0,377)	1,312* (0,510)
<i>R²</i>	0,993	0,993
<i>Adjusted R²</i>	0,992	0,992

*Niveles de Significancia: (***)* $p < 0,01$, *(**)* $p < 0,05$, *(*)* $p < 0,1$

(.): Error estándar de las variables β

Fuente: Cálculos propios con datos del WorkBank

En contraste al analizar los resultados de los países no industrializados, para el periodo de análisis 1999-2019. Se observa que se obtuvieron valores no significativos en las variables TN x KM, Patentes, Zepeda (2022) indica que no hay relación entre el aumento de carga y el crecimiento económico para países en desarrollo, los resultados para este grupo demuestran lo indicado por Zepeda. En contraste, el grupo de países industrializados, estas variables muestran una relación significativa con el crecimiento económico, según Skorobogatova (2016), las vías férreas de alta velocidad, que se encuentran en los países con mayores rentas per-cápitas, son un estimulante del crecimiento. Esto sugiere que, en este grupo, el crecimiento económico está relacionado con factores distintos a los mencionados anteriormente.

Resultados Modelo aplicado Colombia

Con el objetivo de mejorar la exactitud de los resultados, se llevó a cabo el análisis de Breusch-Pagan en la tabla 9, el cual se emplea para examinar la existencia de heteroscedasticidad en el modelo de regresión. La prueba da como resultado P-value = 0,0001, para el modelo original, por lo que al observar que existía sesgo de heteroscedasticidad, se realizó la corrección de White para ajustar el modelo arrojando valores reales y corregidos con respecto a sus varianzas

Tabla 9 - Test de Breush – Pagan, Colombia

Test de Breush-Pagan	
<i>BP (Breusch-Pagan)</i>	31,961
<i>df</i>	8
<i>P-value</i>	0,0001

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 10 muestra los resultados obtenidos para el caso de Colombia durante el periodo de análisis 1999-2019. Se observa que la variable Km Líneas Férreas no presenta significancia en el modelo para el caso colombiano.

Ahora bien, las variables de como la FBK y la PEA arrojan como resultado que la formación obtiene un valor negativo, dado que en el tiempo esta se ve afectada por la depreciación y un aumento de una unidad en la FBK generaría en el tiempo un decremento del 0,025 y la PEA, tiene un efecto positivo esperado que causa aumento del 1,02 ante el aumento de 1 unidad en la misma.

Finalmente, es posible comparar la situación colombiana con la de los países tanto industrializados como no industrializados. Colombia exhibe características presentes en ambos casos, compartiendo la relación TN/KM con los países no industrializados, lo cual respalda la afirmación de Zepeda (2022) de que no existe una relación directa entre el aumento de la carga y el crecimiento económico. Este comportamiento se observa únicamente en el caso de Colombia y el grupo de países no industrializados.

Sin embargo, la relación de Colombia con variables como patentes, ahorro bruto como porcentaje del PIB (Ahorro Bruto como porcentaje del PIB), FBK, población total y

población económicamente activa (PEA) se asemeja más al comportamiento del grupo de países industrializados. Aunque estas variables no tienen el mismo impacto en la variación del PIB, a lo largo del tiempo muestran un efecto positivo. Por ejemplo, cuando se considera la población total y la PEA, se evidencia que su contribución positiva es significativa. Un aumento de una unidad en la población total generaría un incremento de 1,53 unidades en el PIB, y un aumento de una unidad en la PEA resultaría en un aumento de 1,24 unidades en el PIB.

Tabla 10 - Resultados Modelo aplicado para Colombia

Variable	Betas sin corrección de White	Betas con corrección de White
<i>Km Líneas Férreas</i>	0,0432 (0,0336)	0,0434 (0,0354)
<i>TN x KM</i>	0,2130*** (0,0430)	0,2130*** (0,0380)
<i>Gasto público en Educación</i>	0,01122 * (-0,0047)	0,01122 * (0,0052)
<i>Patentes</i>	0,0645*** (0,0017)	0,0645*** (0,0098)
<i>Ahorro Bruto</i>	0,00005 *** (0,0004)	0,00005*** (0,0007)
<i>FBK</i>	0,0098*** (0,0024)	0,0098*** (0,0083)
<i>Población Total</i>	1,5340*** (0,2688)	1,5343*** (0,2695)
<i>Población Económicamente Activa</i>	1,240*** (0,1449)	1,240*** (0,1287)
<i>R²</i>	0,994	0,994
<i>Adjusted R²</i>	0,993	0,993

*Niveles de Significancia: (***)p < 0,01 , (**)p < 0,05, (*)p < 0,1*

(.): Error estándar de las variables β

Fuente: Cálculos propios con datos del WorkBank

En resumen, los resultados de Colombia difieren a las expectativas iniciales, ya que se esperaría que el comportamiento propio de sus variables se asemejara al de los países no industrializados. Sin embargo, Colombia presenta patrones en sus variables que se asemejan tanto al grupo de países no industrializados como al grupo de países industrializados. Ramírez et al. (2021) destaca históricamente la baja inversión en infraestructura de transporte en Colombia, con un reciente aumento en la inversión privada que no ha compensado la disminución de la inversión pública, especialmente en carreteras.

La infraestructura de transporte se caracteriza por su falta de integración, con segmentos desconectados y conexiones intermodales subdesarrolladas. Ramírez et al. (2021) señalan que la falta de finalización de troncales importantes y las demoras en la construcción de carreteras de doble calzada son comunes. Además, afirman que existen problemas institucionales en la planificación y regulación, lo que ha llevado a que la infraestructura de transporte en Colombia esté rezagada a nivel internacional. Esto ha tenido un impacto negativo en el crecimiento económico y ha obstaculizado el comercio interno y externo.

El cambio de paradigma en el transporte, de la red ferroviaria a la infraestructura de carreteras, según Pérez (1998) el cambio de la red ferroviaria a la infraestructura de carreteras tuvo lugar entre las décadas de los treinta y cincuenta. Este cambio fue el resultado del abandono, deterioro y desmantelamiento de las líneas férreas, principalmente debido a la falta de planificación para integrar de manera complementaria los distintos modos de transporte, en lugar de considerar la sustitución de los ya existentes. La política del Ministerio de Obras Públicas, ahora Ministerio de Transporte, no priorizó un sistema intermodal que propusiera una renovación continua y el mantenimiento de la infraestructura ferroviaria que, en aquel entonces, estaba completamente operativa, desde la mitad del siglo XX se consideró el sistema férreo como un sistema obsoleto en el país, en el que no era necesario invertir.

Esta transición histórica ha llevado a que el transporte terrestre sea responsable de movilizar alrededor del 90% de la carga en el país, indica la ANI (2022). El transporte ferroviario se encuentra concentra alrededor de un 5% a 8%, pero esto se debe al gran volumen de materias primas transportadas por este medio (Carbón en su totalidad). En la actualidad el gobierno contempla un plan maestro, el cual planea revivir la era de los trenes en Colombia con un moderno sistema. El Plan Maestro Ferroviario busca reducir los costos de transporte de carga en un 26 por ciento para el año 2030 y aportar al mejoramiento de la cadena logística de las empresas; así como a la descongestión vial de las carreteras y al cuidado del medioambiente ANI (2022).

6. Análisis de resultados final

La Tabla 11, presenta la comparativa de los tres casos analizados; cada uno destaca por su singularidad en relación con la infraestructura ferroviaria. En los países industrializados, la variable kilómetros de líneas férreas tienen una relación positiva y significativa con el crecimiento económico. La existencia de redes de ferrocarriles de alta velocidad amplifica este impacto, especialmente en naciones con una densa red de estas infraestructuras. El transporte, como señala Skorobogatova (2017), es esencial para el crecimiento económico y el desarrollo sostenible de los países.

En contraste, los países no industrializados muestran una relación positiva, pero inferior y de igual forma significativa, con la variable de kilómetros de líneas férreas, representando una tercera parte del aporte a su crecimiento económico comparado con los países industrializados. La inversión en infraestructura para estos países es más lenta y menos significativa debido a las limitaciones de capital ferroviario, lo que se traduce en un menor impacto en el crecimiento económico para estos países.

Finalmente, el caso de Colombia resalta por su escasa presencia de líneas férreas, lo que se traduce en un nulo impacto en el crecimiento económico para el país por esta vía resultando en un impacto inferior al 0.04. Según Garzón, D. (2016), en economías con bajo gasto público en infraestructura, el crecimiento económico también es bajo. A diferencia de otros países latinoamericanos que invirtieron en carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos durante el periodo comprendido de 1985 a 2014, Colombia ha tenido una inversión mínima en vías férreas, lo que ha limitado su potencial de crecimiento económico a través de este medio de transporte, ya que las pocas vías férreas activas se utilizan principalmente para transportar minerales como el carbón.

Tabla 11 - Comparación de resultados

Variable	Betas países no industrializados	Betas países industrializados	Betas Colombia
<i>Km Líneas Férreas</i>	0,452 ** (0,140)	1,272*** (0,162)	0,043 (0,035)

*Niveles de Significancia: (***)* $p < 0,01$, *(**)* $p < 0,05$, *(*)* $p < 0,1$

Fuente: Cálculos propios con datos del WorkBank

7. Conclusiones

En la revisión teórica se encuentra que, los modelos de crecimiento económico, poseen dentro de su estructura el capital como factor fundamental del mismo, así bien, los modelos con mayor ajuste al momento de realizar la investigación son el modelo de crecimiento de ampliado, el cual resulta en una versión extendida del modelo tradicional de Solow-Swan que hace énfasis en el capital físico y en la necesidad de este para el crecimiento económico, y el modelo de crecimiento Schumpeteriano, el cual da peso a la tecnología dentro del crecimiento económico y es explicativa a la hora de comprender Spillovers causados por el capital férreo en países industrializados.

En la literatura empírica, se destaca un enfoque con base al crecimiento económico en relación con la infraestructura de transporte, especialmente en el análisis de la relación entre el crecimiento económico y la infraestructura ferroviaria. Varios estudios analizados en la presente investigación han abordado esta temática en diferentes contextos geográficos y períodos de tiempo. Los resultados de estos estudios han revelado una relación positiva entre la inversión en infraestructura de transporte, incluyendo carreteras, ferrocarriles y puertos, y el crecimiento económico.

En particular, se destacan los casos de países como Colombia, México, Perú, India, Letonia, Túnez, Estados Unidos y China, donde se evidencia el impacto positivo de la infraestructura de transporte en el desarrollo económico y la reducción de disparidades regionales de estos territorios. Estos estudios han empleado diversas metodologías, como análisis de covarianza, modelos ARDL, VECM, efectos fijos y modelos econométricos espaciales, para analizar la relación entre el transporte y el crecimiento económico. En conjunto, estos trabajos ofrecen una base sólida para comprender cómo la inversión en infraestructura de transporte puede influir de manera positiva en el crecimiento económico y el desarrollo de un país, destacando la importancia de políticas públicas eficaces en este ámbito.

En cuanto a los hechos estilizados, se observa que la variación poblacional en los países analizados ha sido heterogénea. En el grupo de países industrializados, que incluye a China, Estados Unidos y Rusia, las tasas de variación poblacional han oscilado entre un -0.5% y 1.5% desde 1999 hasta 2019, ha sido generalmente baja. Por otro lado, en el grupo de países no industrializados, que están conformados por Colombia, Egipto, India y México, se observa un comportamiento más positivo, aunque las tasas de variación poblacional han disminuido con el paso del tiempo. Frente a la PEA, los países no industrializados tienen una alta concentración de fuerza laboral, con porcentajes que van desde 45% hasta 73%, destacando a Egipto con el mayor promedio de personas económicamente activas durante el período analizado. En los países industrializados, la concentración de fuerza laboral supera o iguala el 50% de la población total, siendo Estados Unidos la más estable en este aspecto, mientras que el resto de los países mantienen una baja variación porcentual en su población económicamente activa, sin superar el 50% durante el período de estudio.

Los resultados del modelo finalmente muestran como evidencia la existencia de relación directa para vías férreas y crecimiento económico, para los países industrializados, causa un impacto de 1,27, mientras que para países no industrializados muestra un impacto de 0,45 y para Colombia arroja un valor de 0,043, inferior a cualquiera de los casos resultando no significativo, por lo que se puede concluir que, Colombia posee un costo de oportunidad de inversión en vías férreas que le cuesta entre 0,45 y 1,27 puntos de impacto en el crecimiento económico de largo plazo, además, los niveles tecnológicos resultan obteniendo relación directa con el crecimiento económico por vías férreas, siendo fundamentales en el nivel de impacto.

8. Recomendaciones

El estudio realizado ha profundizado en el impacto de la infraestructura ferroviaria en el crecimiento económico, abarcando una amplia gama de aspectos, desde la extensión de kilómetros de vías férreas construidas hasta el análisis de la población económicamente activa. Los resultados obtenidos han evidenciado de manera contundente la relevancia y el potencial que las vías férreas tienen para impulsar el crecimiento económico en distintas regiones. En virtud de los hallazgos encontrados y con el propósito de ofrecer una guía metodológica y académica para investigaciones futuras centradas en la interrelación entre el crecimiento económico y la infraestructura ferroviaria, se presentan a continuación una serie de recomendaciones.

Estas sugerencias se fundamentan en los resultados de este estudio y buscan proporcionar un marco sólido para investigaciones posteriores, dirigidas a comprender mejor los mecanismos que vinculan el crecimiento económico con el desarrollo de las vías férreas. Las recomendaciones presentadas a continuación tienen como objetivo orientar y proporcionar una estructura de trabajo para futuros análisis y estudios, con el fin de profundizar en el impacto y la influencia de las vías férreas en el crecimiento económico.

1. Se sugiere realizar un análisis de eficiencia para identificar la cantidad óptima de vías férreas necesarias por país. Este análisis permitirá establecer criterios fundamentados en la eficiencia del sistema ferroviario en función de la demanda y otros indicadores relevantes.
2. Se recomienda ampliar los periodos de estudio más allá de respuestas a eventos como pandemias u otros sucesos recientes. Un análisis histórico más amplio proporcionará una visión más amplia del desarrollo y evolución del transporte ferroviario, permitiendo identificar tendencias a largo plazo.
3. Se recomienda realizar un análisis detallado y específico del mercado de transporte ferroviario en Colombia a lo largo de su historia. Este análisis permitirá comprender mejor el desarrollo, los desafíos y las oportunidades en el contexto nacional.
4. Se sugiere futuros estudios que permitan medir el costo de oportunidad entre el uso de vías férreas y otros medios de transporte en Colombia. Esto facilitará la evaluación de ventajas y desventajas, así como la toma de decisiones informadas en materia de transporte.

9. Referencias

Agencia Nacional de Infraestructura, ANI. (2022) Informe anual de gestión. Recuperado de: <https://www.ani.gov.co/informacion-de-la-ani/informe-anual-de-gestion>.

Aschauer, David. (1990). Highway capacity and economic growth. *Economic perspectives*, 14(5), 4-24.

Aschauer, David (1990); “Why Is Infrastructure Important?”; Proceedings of Conference; Federal Reserve Bank of Boston; Boston.

Banco Mundial, World Development Indicators. (2023). *Ferrocarriles, mercancías transportadas (millones de toneladas-km)* [Data File] Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/IS.RRS.GOOD.MT.K6>

Banco Mundial, World Development Indicators. (2023). *Formación bruta de capital (% del PIB)* [Data File] Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NE.GDI.FTOT.ZS>

Banco Mundial, World Development Indicators. (2023). GDP (current US\$) [Data File] Recuperado de: <https://data.Banco Mundial.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>

Banco Mundial, World Development Indicators. (2023). *Líneas férreas (total rutas-kilómetros)*[Data File] Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/IS.RRS.TOTL.KM>

Banco Mundial, World Development Indicators. (2023). *Población activa total* [Data File] Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SL.TLF.TOTL.IN>

Banco Mundial, World Development Indicators. (2023). *Población Total* [Data File] Recuperado de: <https://data.Banco Mundial.org/indicator/SP.POP.TOTL>

- Banco Mundial, World Development Indicators. (2023). *Solicitudes de patentes, residentes*
[Data File] Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/IP.PAT.RESD>
- Barrios (2003). Dinámica demográfica y población económicamente activa. *Población y Desarrollo*, (25), 71-80
- Betancur, G. S. (2013). *La informalidad laboral: causas y diferencias entre países industrializados y no industrializados*. Fundación Universidad de América.
- Boopen, S. (2006). Transport infrastructure and economic growth: Evidence from Africa using dynamic panel estimates. *The empirical economics letters*, 5(1), 37-52.
- Cabrera Méndez, M. (2010). Introducción a las fuentes de información.
- Cantos, P. et al. (2005). Transport infrastructures, spillover effects and regional growth: evidence of the Spanish case. *Transport reviews*, 25(1), 25-50.
- Cepal. (2004). *Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: revisión conceptual*. Cepal.org. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/6441-desarrollo-infraestructura-crecimiento-economico-revision-conceptual>
- Crafts, N. (2009). Transport infrastructure investment: implications for growth and productivity. *Oxford Review of Economic Policy*, 25(3), 327–343.
- Dehghan Shabani, Z., & Safaie, S. (2018). Do transport infrastructure spillovers matter for economic growth? Evidence on road and railway transport infrastructure in Iranian provinces. *Regional science policy & practice*, 10(1), 49-63.
- Donaldson, D., & Hornbeck, R. (2016). Railroads and American Economic Growth: A “Market Access” Approach *. *Quarterly Journal of Economics*, 131(2), 799–858.
- Fedesarrollo. (2021). *Descifrar el futuro, La economía colombiana en los próximos diez años* (1.a ed., Vol. 1), cap. 6, 418 – 429.

- Flores, A., & Rojas, V. A. C. (2020). Relación entre la demanda de transporte y el crecimiento económico: Análisis dinámico mediante el uso del modelo ARDL. *Revista de Economía y Finanzas*, 43(122).
- Garzón, D. E. (2016). Qué incidencia tiene la ausencia de infraestructura en transporte en el crecimiento económico de un país. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/10654/14198>.
- Gómez, S. A. S. (2008). El papel del transporte en el crecimiento económico colombiano en la segunda mitad del siglo XX. *Apuntes del CENES*, 27(46), 141-182.
- Loncán, A. (2011). The contribution of railways to economic growth in Latin America before 1914: a growth accounting approach.
- Mengjie. et al. (2020). Impacts of high-speed railways on economic growth and disparity in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 138, 158-171.
- Mankiw, N. G., Romer, D., & Weil, D. N. (1992). A contribution to the empirics of economic growth. *The quarterly journal of economics*, 107(2), 407-437.
- Machado, R. (2017). Crecimiento económico e infraestructura de transportes y comunicaciones en el Perú. 40(79), 9–46.
- Pérez, E. (1998). Los ferrocarriles y el desarrollo regional y urbano de Colombia. *Bitácora urbano territorial*, 2(1), 8-19.
- Pradhan, R. P., & Bagchi, T. P. (2013). Effect of transportation infrastructure on economic growth in India: The VECM approach. *Research in Transportation Economics*, 38(1), 139–148.
- Radhia. A, Bouzid. A. (2017). Transport Infrastructure and Economic Growth: New Evidence from Tunisia an ARDL Bounds Testing Approach - Radhia Amairia, Bouzid Amaira, 2017. *Journal of Infrastructure Development*.

- Ramírez., M, Collazos, .M., García-García, J., Hahn, L., Ligia Alba Melo-Becerra, Montenegro-Trujillo, A., Montes-Urbe, E., Lancheros, P., Hernán, J., & Zárate-Solano ,.H. (2021). La inversión en infraestructura de transporte y la economía colombiana. *Banrep.gov.co*, 99.
- Rozas, P., & Sánchez, R. (2004). *Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: revisión conceptual*. CEPAL.
- Sala-i-Martin, X. (2000). Apuntes de crecimiento económico. Antoni Bosch Editor.
- Skorobogatova, O., & Kuzmina-Merlino, I. (2017). Transport infrastructure development performance. *Procedia Engineering*, 178, 319-329.
- Vaz da Costa, R. (1970). crecimiento de la población y desarrollo económico. *Demografía y economía*, 4(2), 210-226
- Wang, C., Lim, M. K., Zhang, X., Zhao, L., & Lee, P. T. W. (2020). Railway and road infrastructure in the Belt and Road Initiative countries: Estimating the impact of transport infrastructure on economic growth. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 134, 288-307.
- Zepeda, E. (2022). Infraestructura de transporte y crecimiento económico. *Tesis.ipn.mx*.