

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



Medición del efecto de la inversión en infraestructura de
transporte vial sobre el crecimiento económico agregado en el
Perú

Tesis para obtener el grado académico de Magíster en Economía que
presenta:

Daniel Denis Alarcón Canchari

Asesor:

José Abraham Tavera Colugna

Lima, 2021

RESUMEN

La experiencia en la gestión de proyectos de inversión en infraestructura de servicios públicos conlleva al particular análisis y recurrente debate sobre el efecto del incremento de la infraestructura de transporte vial sobre el crecimiento económico. A partir de ello, surge la pregunta por una medición de la magnitud de este efecto. Así, nuestro objetivo de investigación es identificar una relación de largo plazo con la cual se obtenga una medición del efecto del incremento de la extensión de carreteras sobre el crecimiento agregado de la economía peruana. Para este propósito, recurrimos a la teoría de crecimiento endógeno con función de producción tipo Cobb-Douglas, aplicando una metodología de estimación de cointegración de series de tiempo y estimación de modelos de corrección de error. Utilizamos variables como la extensión en kilómetros de carreteras pavimentadas, PBI, gasto público y exportaciones, en términos per cápita y de población económicamente activa, de 1950 a 2019, con periodicidad anual. La hipótesis de estudio plantea que los efectos de la productividad a través de la tecnología serán positivos en el largo plazo sobre el producto per cápita; asimismo, los *shocks* de infraestructura de transporte tendrán un efecto no nulo de largo plazo sobre el producto per cápita. Los resultados en las pruebas estadísticas iniciales fueron favorables en cuanto a permitir la estimación del modelo, e indicaron un adecuado tratamiento de las variables y de su relación de largo plazo en el modelo propuesto. Como conclusión, la evidencia en nuestro estudio es consistente para el caso de la economía peruana, en cuanto a las predicciones del modelo de crecimiento endógeno. Por lo tanto, resulta que el avance en la extensión de carreteras tiene un efecto positivo y de largo plazo en el crecimiento económico en el Perú. No obstante, este efecto es no persistente en el PBI per cápita.

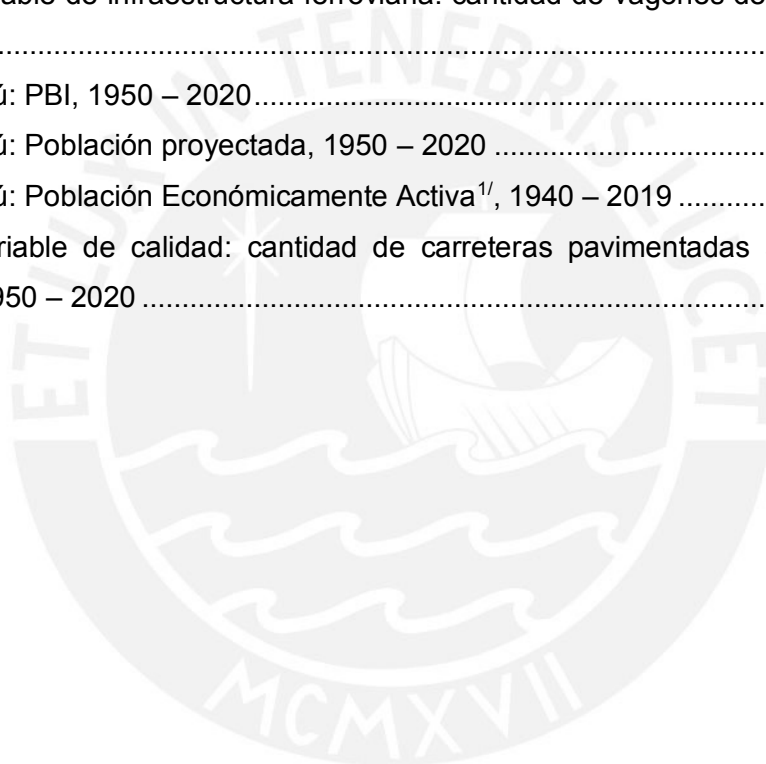
Palabras clave: infraestructura, inversión, carreteras, crecimiento económico, series de tiempo, cointegración, elasticidad infraestructura-producto.

Contenido

RESUMEN	i
Siglas	v
1. Introducción	1
2. Objetivos de la investigación	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. Marco Teórico	4
3.1. Modelo de crecimiento endógeno	7
4. Revisión de literatura empírica	8
4.1. Literatura empírica internacional	9
4.2. Literatura empírica nacional	11
4.3. Resumen de revisión de literatura empírica	15
5. Hipótesis	17
6. Metodología	18
6.1. Datos	20
7. Resultados	22
7.1. Resultados de las pruebas de raíz unitaria	24
7.2. Pruebas de cointegración	26
7.3. Resultados de las pruebas de cointegración	27
7.4. Resultados de la estimación del Modelo de Corrección de Errores	30
7.5. Resultados de las pruebas de hipótesis de los parámetros de las ecuación del modelo estimado	35
8. Conclusiones	38
9. Inferencias de política económica	39
Referencias	41
Anexos	45
Anexo 1: Especificación teórica del modelo	45
Anexo 2: Parámetro para el efecto de largo plazo en el modelo	50
Anexo 3: Base de datos	51

Gráfico 1 Relación entre el PBI en soles de 2007 y los indicadores de infraestructura de transportes, 1981 – 2020	13
Gráfico 2 Relación entre el PBI en USD y los indicadores de infraestructura de transportes, 1981 – 2020	14
Gráfico 3 Evolución de las series del PBI (USD) y Carreteras (km) en logaritmos per cápita: 1950 – 2019	21
Gráfico 4 Residuos de las estimaciones del modelo simplificado por FMOLS.....	27
Gráfico 5 Serie de cantidad total de carreteras y carreteras pavimentadas, 1950 – 2020	32
Gráfico 6 Impulso respuesta de las variables infraestructura y producto	38
Ilustración 1 Perú: extensión total de carreteras pavimentadas, 2020	23
Tabla 1 Resumen de principales estudios que relacionan infraestructura e infraestructura de transporte con crecimiento económico de largo plazo.....	15
Tabla 2 Hipótesis de investigación.....	18
Tabla 3 Estadísticas de variables de infraestructura de transportes	19
Tabla 4 Correlación entre las variables de infraestructura de transportes y el crecimiento económico, 1985 – 2020	20
Tabla 5 Pruebas ADF, PP y KPSS de raíz unitaria	25
Tabla 6 Prueba de Zivot – Andrews de raíz unitaria con quiebre estructural	25
Tabla 7 Prueba de cointegración de Engle-Granger I	28
Tabla 8 Prueba de cointegración de Engle-Granger II	28
Tabla 9 Prueba de cointegración de Engle-Granger III	29
Tabla 10 Prueba de cointegración de Johansen todas las series, 1950 – 2019	29
Tabla 11 Prueba de cointegración de Johansen serie PBI e infraestructura, 1950 – 2019	30
Tabla 12 Prueba de cointegración de Johansen serie PBI e infraestructura, 1974 – 2019	30
Tabla 13 Resultados de la estimación del modelo de corrección de errores I	30
Tabla 14 Estimación de ecuación de cointegración por FMOLS	34
Tabla 15 Resultados de la estimación del modelo de corrección de errores II	34
Tabla 16 Prueba de hipótesis de los parámetros de ajuste del Modelo de Corrección de Errores de las ecuaciones de cointegración	36

Tabla 17 Prueba de causalidad de Granger de las variables infraestructura y producto	37
Tabla 18 Resumen de restricciones de parámetros de la especificación teórica del modelo de crecimiento	48
Tabla 19 Variable de infraestructura vial: cantidad de kilómetros de carreteras pavimentadas, 1940 – 2020	51
Tabla 20 Variable de infraestructura portuaria: cantidad de embarcaciones, 1982 – 2020	52
Tabla 21 Variable de infraestructura aeroportuaria: cantidad de aeronaves, 1981 – 2020	53
Tabla 22 Variable de infraestructura ferroviaria: cantidad de vagones de carga, 1985 – 2020	54
Tabla 23 Perú: PBI, 1950 – 2020	55
Tabla 24 Perú: Población proyectada, 1950 – 2020	56
Tabla 25 Perú: Población Económicamente Activa ^{1/} , 1940 – 2019	57
Tabla 26 Variable de calidad: cantidad de carreteras pavimentadas sobre total de carreteras, 1950 – 2020	58



Siglas

ADF	<i>Augmented Dickey–Fuller</i>
AIC	<i>Akaike information criterion</i>
APP	Asociación Público-Privada
BCRP	Banco Central de Reserva del Perú
FMOLS	<i>Fully Modified Ordinary Least Square</i>
IMF	<i>International Monetary Fund</i>
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas
MINCETUR	Ministerio de Comercio Exterior y Turismo
KPSS	Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin
LRV	Long-run variance
MCO	Mínimos Cuadrados Ordinarios
MMG	Método Generalizado de Momentos
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MGM	Método Generalizado de los Momentos
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OLS	<i>Ordinary Least Squares</i>
OSITRAN	Organismo Supervisor de la Infraestructura de Transportes
PEA	Población Económicamente Activa
PBI	Producto Bruto Interno
PNIC	Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad
PP	Phillips–Perron
RVN	Red Vial Nacional
SINAC	Sistema Nacional de Carreteras
SC	<i>Schwarz information (criterion)</i>
SUR	<i>Seemingly Unrelated Regressions</i>
SSR	<i>Sum squared resid</i>
VI	Variables instrumentales

1. Introducción

Según el Banco Mundial (2017), la infraestructura de transporte es fundamental en el desarrollo económico y social, debido a que cuenta con el potencial de mejorar la vida de las personas al facilitar el acceso a lugares de trabajo, mercados y servicios esenciales de salud y educación, mejorando así la competitividad de la economía.

No ajeno a esos principios, las políticas públicas en la ejecución de proyectos de inversión en infraestructura de transporte han motivado diversos debates y cuestionamientos a su implementación. Estos temas son la planificación de las inversiones y la priorización de proyectos, el combate contra los sobrecostos y sobreplazos, así como la eficiencia en la utilización de los recursos públicos. De esta forma, el debate reciente es sobre el real impacto en la productividad, el beneficio de la población, o, de forma general, su efecto en la producción nacional.

Aun así, en años recientes el Estado ha impulsado diversos cambios estructurales en la promoción de proyectos; y por su lado, el sector privado ha incrementado su participación a través de diversas concesiones de infraestructura de servicios públicos en distintos modos de transporte, y que conllevan a importantes planes de inversión, así como a retos en la regulación de la provisión de las infraestructuras de transporte, su acceso y calidad. No solo eso, el mercado de las empresas constructoras también se incrementó en los últimos años, debido a la necesidad de construcción de carreteras y sus continuos programas de mantenimiento o conservación.

Asimismo, en años recientes, el crecimiento de la economía peruana, la apertura comercial y el incremento de la demanda interna fue impulsado por una serie de factores, entre ellas la inversión y las actividades de importación y exportación, es decir, actividades asociadas principalmente con la infraestructura de transportes. Esta última, forma parte de aquel concepto de Distribución Física Internacional, y es también considerada como un facilitador del comercio exterior, infraestructuras de soporte, o infraestructura logística, que mejoran la conectividad, en especial al interior del país (MINCETUR, 2020).

No obstante, según el MEF (2019), la brecha en infraestructura de largo plazo para transportes asciende a 160,958 millones de soles. Mientras que, por el lado de la regulación, los retos no son menores, puesto que las concesiones viales y las inversiones que implican también se han incrementado considerablemente en los últimos veinte años (OSITRAN, 2020).

En ese contexto, resulta relevante analizar la relación entre la inversión en infraestructura vial, y la producción agregada en el corto y largo plazo. Más aún, si la reciente política apunta a la correcta planificación de inversiones de obra pública, así como a la promoción de la participación de inversión privada mediante esquemas de Asociación Público-Privada, que asumen riesgos de inversión y establecen compromisos de plazos en la construcción y mantenimiento, con importantes montos de inversión y transferencia de tecnología en la gestión de los proyectos de infraestructura de transportes.

Sin embargo, las APP en carreteras concesionadas han traído consigo modificaciones contractuales que llevan a cuestionar sobre la calidad en su diseño y finalidad, así como los costos y beneficios finales sobre los usuarios, por lo que un alto impacto en el crecimiento de la economía pasa por un APP exitosa, medida esta a través de principios como el valor por dinero. En nuestro estudio, proponemos otra medida con la cual, a través de la elasticidad infraestructura-producto, se extraiga el mayor valor por dinero en la formulación y explotación de las inversiones en carreteras concesionadas.

En ese contexto, las decisiones de política económica en el sector públicos, así como las estrategias para el financiamiento de las empresas del mercado de construcción y gestión de proyectos, requieren de criterios objetivos y mediciones que contribuyan a la evaluación y sustentación de los beneficios del incremento de la infraestructura de transportes sobre el crecimiento económico.

De esta forma, la teoría económica aborda la relación entre crecimiento e infraestructura a través del *stock* de capital y no mediante montos de inversión. Es decir, las variables en la modelación son de capital físico, con lo cual se relaciona la inversión con las infraestructuras de transporte.

El acercamiento a estas relaciones se modela desde las teorías de la nueva economía geográfica y la teoría de crecimiento endógeno, mediante la cual se especifica una función de producción que incluye progreso técnico, *stock* de capital y el empleo.

La hipótesis de estudio plantea que los efectos de la productividad a través de la tecnología serán positivos en el largo plazo sobre el producto per cápita; asimismo, los *shocks* de infraestructura de transporte tendrán un efecto no nulo de largo plazo sobre el producto per cápita.

La metodología utiliza los procedimientos de Canning y Pedroni (1999), Canning y Pedroni (2004) y Vásquez y Bendezú (2008), mediante el cual se estima un modelo de crecimiento endógeno en el que se evalúa la cointegración de las series, se analizan las

series mediante un modelo de corrección de errores en dos etapas, para luego derivar un modelo bivariado al cual se le aplicará la metodología de regresiones aparentemente no relacionadas, para las variables infraestructura y producto. Luego de ello, se analizan la significancia de los parámetros de ajuste.

La base de datos utilizada se compone de las series actualizadas y corregidas de Vásquez y Bendezú (2008) con nuevas observaciones hasta el 2019. Se incluye el PBI per cápita en USD construido a partir de información del BCRP e INE. Asimismo, se utilizan la cantidad de kilómetros de carreteras asfaltadas en la Red Vial Nacional, la cual es información publicada por el MTC, así como una variable de calidad de la infraestructura de transporte vial. Otras variables de control fueron los totales de gasto público y las exportaciones.

2. Objetivos de la investigación

El objetivo general de la investigación se consigue a través de una metodología en la cual se prueba que existe una relación significativa y positiva de largo plazo entre la infraestructura y el producto agregado, la cual se produce mediante *shocks* de progreso técnico provenientes de las inversiones. En términos específicos, los objetivos son los siguientes:

2.1. Objetivo general

El objetivo general del trabajo de investigación es:

- Medir el efecto de largo plazo del incremento de la inversión en carreteras sobre el crecimiento agregado para la economía peruana en el período 1950 – 2019.

2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del trabajo de investigación son:

- Estimar la elasticidad infraestructura-producto entre el *stock* de infraestructura vial y el PBI para la economía peruana en el período 1950 – 2019.
- Identificar el sentido de la causalidad entre el crecimiento económico y el *stock* de infraestructura vial para la economía peruana en el período 1950 – 2019.

- Exponer lineamientos de política económica considerando los resultados y conclusiones de la investigación.

3. Marco Teórico

En el enfoque de la Nueva Economía Geográfica, Krugman (1991) explica los mayores retornos de la inversión en infraestructura y la presencia de rendimientos de escala crecientes a través de una serie de condiciones económicas, como el menor costo de transportes por la aglomeración de economías en determinadas regiones productivas.

Explicar las determinantes del crecimiento de largo plazo requiere alejarse de los supuestos neoclásicos que impiden la introducción de progreso tecnológico en los modelos (Sala-i-Martin, 2000). A partir de esto, la adopción de una función de producción que sea lineal en el *stock* de capital permite explicar la dinámica en la inclusión de factores como el trabajo que implican, necesariamente, de inversión para su desarrollo.

Por su parte, la nueva teoría del crecimiento endógeno surge como una crítica a la explicación del progreso técnico en los modelos neoclásicos, en los que se asumen estos cambios como exógenos, a diferencia del progreso técnico endógeno (Jiménez, 2010). Con esta diferencia, en la teoría de crecimiento endógeno la función de producción de la economía no sigue las pautas de rendimientos marginales decrecientes en el capital.

Estos enfoques, como parte de la teoría económica que relaciona la inversión en infraestructura de servicios públicos con el crecimiento, incluyen como variable principal el *stock* de infraestructura. Al respecto, la revisión de literatura de Calderón y Servén (2004) encuentra que el efecto de la infraestructura sobre el producto proviene de la inclusión de los *stocks* de infraestructura y sus servicios como parte esencial de una función de producción agregada, además del trabajo como el capital humano, y otro capital físico diferente de la infraestructura.

El estudio de Aschauer (1989), uno de los iniciales en la relación entre infraestructura y producto, encuentra que el *stock* de infraestructura pública proveniente de las políticas de gasto público incrementan la demanda agregada de la economía, así como incrementa la productividad en el largo plazo.

En ese orden de ideas, nuestra investigación se sustenta en la teoría de crecimiento endógeno, caracterizado por retornos constantes o crecientes y cambio tecnológico en el largo plazo, y de acuerdo con la revisión de literatura, en específico con el modelo de

crecimiento endógeno propuesto por Barro (1990) y Romer (1986). En los modelos de estos autores, el crecimiento de largo plazo, el conocimiento y el cambio técnico endógenos son insumos de una función de producción con productividad marginal creciente. En ese sentido, los efectos de los agentes económicos se amplifican en aquellas economías más desarrolladas y con mayores niveles de capital.

Considerando este planteamiento del crecimiento endógeno, Barro (1990) modifica asumiendo retornos constantes sobre el capital, e incluye una función de producción específica de tipo Cobb-Douglas mediante la cual se evalúan el efecto de largo plazo del gasto del gobierno en *stock* de capital financiado por impuestos y el crecimiento económico.

Este último recibió, por parte de Canning y Pedroni (1999), la infraestructura de capital como insumo en la función de producción, para el cual existe un nivel que maximiza la tasa de crecimiento de la economía. Empíricamente, estos autores encuentran que los efectos de largo plazo de la provisión de telefonía y carreteras pavimentadas tiene un efecto distinto de cero a nivel individual, es decir, por economía. Este efecto, depende también de si el *stock* de infraestructura en la economía se encuentra por arriba o si se encuentra por debajo de un nivel óptimo.

Como se reseña en Vásquez y Bendezú (2008), la modelación se caracteriza por la utilización de medidas físicas de la infraestructura como la cantidad de kilómetros en las vías, al ser una adecuada aproximación de los *stocks* de infraestructura puesto que recogen la cantidad de inversión en los costos y gastos del gobierno. Esto también se condice con la recomendación de Canning y Pedroni (1999), sobre la inadecuada utilización de indicadores monetarios y la problemática referente a los precios en series de tiempo en el análisis de la economía peruana.

La segunda característica del modelo proviene del tratamiento de las series de tiempo, debido a que la infraestructura y el PBI se comportan como series no estacionarias. Al respecto, Canning y Pedroni (1999) y Vásquez y Bendezú (2008) advierten que la primera diferenciación de las series anula la evaluación en la relación de largo plazo entre la infraestructura y el producto agregado en caso de cointegración. Debido a esto, Canning y Pedroni (1999) elaboran el modelo de relación de largo plazo entre el crecimiento en los *stocks* de infraestructura y el crecimiento económico.

De lo anterior, la metodología propuesta permite identificar los efectos de corto plazo y de largo plazo de los *shocks* provenientes de los incrementos de la infraestructura de transporte, la cual se expande a partir de la asignación de recursos a la construcción de redes viales de alcance nacional. Esto se hace relevante en la discusión del sentido en

la causalidad de las variables, sobre todo en el largo plazo. Es decir, si el efecto de la infraestructura afecta al producto, o viceversa, o en ambos sentidos.

Por otra parte, la presencia de la relación de cointegración en el largo plazo entre el producto y la infraestructura presupone la existencia de mecanismos de corrección de errores, en el cual alguna de estas variables se ajusta a su nivel de equilibrio en el largo plazo. Así, el planteamiento básico es a partir de una función de producción tipo Cobb-Douglas, la cual se muestra a continuación:

$$Y_t = A_t K_t^\alpha F_t^\beta L_{it}^{1-\alpha-\beta} \quad (1)$$

Donde Y es la producción agregada, A es el factor de productividad, K es el capital privado físico, F es el capital de infraestructura, y L es el empleo fuerza laboral. El índice t hace referencia al tiempo. No obstante, este modelo requiere de esta función debido a su consistencia con respecto al estado estacionario del crecimiento en presencia de progreso tecnológico. La forma reducida del modelo se analiza con detalle en el planteamiento de la hipótesis y los lineamientos metodológicos.

Por supuesto, se prescinde de la diferencia entre si la inversión en infraestructura es realizada como gasto del sector público y financiado con impuestos, o si parte de una decisión de privados en diversificar inversiones, o de forma más general es financiado mediante una tasa por el uso. En teoría, consideramos el caso del financiamiento de los bienes públicos; y que estos, como en el caso del consumo de carreteras por los usuarios, es un bien no rival si es que dicha infraestructura no se utiliza a toda su capacidad (Stiglitz, 2000).

Sin perjuicio de lo anterior, este marco teórico que proponemos no es exento de la crítica en la literatura. Al respecto, autores como Straub *et al.* (2008), consideran, con base en una revisión de estudios a nivel macroeconómico, que estos modelos necesitan más teoría y mejor información, lo que es recomendable ahondar a nivel microeconómico en estudios que realicen la distinción entre sectores de infraestructura.

No obstante, y en línea con este autor, rescatamos la definición de infraestructura desde la perspectiva del Banco Mundial. Esta se entiende como la inclusión de sectores económicos como la energía, el transporte, las telecomunicaciones, y agua y saneamiento. En general, una infraestructura es el medio de capital físico, o factor de producción, destinado a la provisión de servicios públicos.

Además de lo anterior, debemos considerar la relación entre la infraestructura y el transporte. Las formas de transporte comprenden, necesariamente, la infraestructura y los vehículos que utilizan estas infraestructuras, sean naves, aviones, ferrocarriles o automóviles (de Rus, Campos, & Nombela, 2003). Por lo tanto, puede decirse que el capital público de transporte es una explicación del nivel de renta de la población.

3.1. Modelo de crecimiento endógeno

La forma simplificada del modelo de crecimiento desarrollado por Canning y Pedroni (1999) y replicado para el caso peruano por Vásquez (2003) y Vásquez y BendeZú (2008), con diferencias en la base de datos y restricciones en las variables, puede plantearse de forma teórica como:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 f_t + e_t \quad (2)$$

Donde y_t es el producto, f_t es el indicador de infraestructura vial expresados en logaritmos per cápita, y t indica el período anual. El término e_t es el error estacionario, mientras que β_1 es la elasticidad de infraestructura-producto para el largo plazo. Nótese en este planteamiento que, el modelo es expresado para una sola economía y no a un bloque económico, o de datos de panel. La literatura, como se verá en lo sucesivo, es variada en el análisis sobre la aplicación a una economía en particular o un grupo de países de similar ámbito geográfico.

En nuestro modelo, de lo que se trata es de demostrar que tanto f_t como y_t cointegran mediante una combinación lineal de las variables que producen un término de error estacionario (Granger, 1981).

De la ecuación principal del producto, el término de ajuste es:

$$\hat{e}_t = y_t - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 f_t \quad (3)$$

Sobre esta expresión se aplica el método de regresiones aparentemente no relacionadas (SUR) al modelo de mecanismo de corrección de error (MCE) bivariado ampliado (Canning, 1999; Canning y Pedroni, 1999; y Vásquez y BendeZú, 2008) entre el *stock* de infraestructura y el producto:

$$\Delta f_t = c_2 + \lambda_1 \hat{e}_{t-1} + \sum_{j=1}^p \phi_{11j} \Delta f_{t-1} + \sum_{j=1}^p \phi_{12j} \Delta y_{t-1} + \varepsilon_{dt} \quad (4)$$

$$\Delta y_t = c_1 + \lambda_2 \hat{e}_{t-1} + \sum_{j=1}^p \phi_{21j} \Delta f_{t-1} + \sum_{j=1}^p \phi_{22j} \Delta y_{t-1} + \varepsilon_{ot} \quad (5)$$

En cuanto a las variables de control de cambio estructural y ciclos económicos, estos no se incluyen en las expresiones debido a que como lo mostró Vásquez y Bendezú (2008), estos controles carecen de significancia en el modelo de largo plazo, y por tal motivo lo obviamos. Asimismo, ε_{ot} y ε_{dt} son los *shocks* de oferta y demanda por infraestructura de transporte, respectivamente; mientras que c_1 y c_2 son los interceptos.

De esta forma, una prueba de significancia para λ_2 evalúa si las innovaciones de la infraestructura tienen un efecto de largo plazo sobre el producto. La misma prueba para el ratio $-\lambda_2/\lambda_1$, que se detalla en los anexos, evalúa el signo de la infraestructura de transporte sobre el crecimiento.

En términos de demanda, la afirmación de que la parte privada utiliza la infraestructura vial e incrementa su productividad es un tanto relativo, debido al estado de conservación de la infraestructura vial, la cual para el caso de las concesiones viales presenta niveles de servicio promedio, de modo que el tráfico de vehículos de carga optimiza su productividad; sin embargo, el estado en deterioro de las vías no es menor. Es por ello, que consideramos que un impacto no menor puede configurarse en el caso de la infraestructura portuaria, en la cual la carga ingresa al país y es transportada hacia su destino final, con menores costos en promedio para la parte privada. Una expansión de infraestructura portuaria significaría un incremento del rendimiento interno de los planes de inversión de mediano plazo.

En términos agregados, el modelo de crecimiento endógeno es aplicado considerando diversos tipos de infraestructura de servicios de uso público.

4. Revisión de literatura empírica

La revisión de literatura se centró en aquella de tipo empírica, a diferencia de los estudios revisados para el marco teórico. Esta literatura, con relevancia empírica, se dividió según su ámbito internacional y nacional.

4.1. Literatura empírica internacional

Considerando la literatura respecto de nuestro marco teórico de crecimiento endógeno, así como la relación entre el *stock* de capital en infraestructura y la producción, la relevancia empírica de nuestra investigación podría remontarse a, como lo indican los autores en nuestra revisión de literatura, al trabajo de Aschauer (1989), como uno de los primeros estudios que considera la relación entre la producción agregada y el *stock* y flujos de gasto público. Este estudio busca responder cómo es que el gasto público es productivo al incrementar la demanda, elevar la tasa de interés y estimular la producción.

Además, plantea que en el largo plazo existe un efecto en la productividad debido al gasto público. Asimismo, por la parte privada, el gasto público induce a un incremento en la tasa de retorno del capital privado, y por tanto, estimula el gasto en inversión privada.

El modelo de Aschauer (1989) incluye infraestructura tal como calles, carreteras, aeropuertos, infraestructura para la energía eléctrica y gas, transporte masivo, sistemas de agua y alcantarillado, pues explican fuertemente la productividad. Además, incorpora variables como el empleo, la productividad y el flujo de servicios del sector público, o *stock* de capital público. Con ello, la estimación se realiza para Estados Unidos mediante MCO para el período 1949 – 1985, encontrando que el efecto de 1% de incremento en el ratio empleo capital incrementa la productividad del capital en 0.35%, e incrementa en 0.39% la totalidad de factores. Asimismo, omitiendo la parte pública en la estimación, se encuentra que la productividad marginal del empleo cambia de positiva a negativa. No obstante, los bajos valores del estadístico de DW muestran la presencia de autocorrelación positiva de los residuos en las estimaciones.

Estimando por segunda vez el modelo en su primera diferencia, produce que el ratio empleo capital sea ligeramente significativo y positivo, mientras que el coeficiente del capital privado permanece negativo. Los resultados de Aschauer (1989) son robustos en la relación entre capital público y productividad; tal es así, que esta metodología en series de tiempo, propuesta por el autor influye hasta en los estudios más recientes.

Un estudio comúnmente referenciado en la revisión de literatura es el de Canning y Pedroni (1999), en el cual se plantea un modelo de crecimiento endógeno a partir de una forma reducida del modelo de Barro (1990), donde se introduce al capital en infraestructura como insumo del producto agregado, bajo el cual el nivel de infraestructura maximiza la tasa de crecimiento del producto.

El estudio se realizó para un conjunto de países en el período 1950 – 1962. Las medidas de capital físico fueron los kilómetros de carreteras pavimentadas, capacidad de generación de energía eléctrica y cantidad de teléfonos. La estrategia metodológica fue una estimación de cointegración de largo plazo entre la infraestructura y el producto, determinando también su sentido de causalidad. El modelo de Canning y Pedroni (1999) se utilizará en nuestro trabajo de investigación como marco teórico fundamental y de estrategia metodológica.

Un estudio próximo a la región es el de Calderón y Servén (2003), en el cual se analizan las brechas en infraestructura en América Latina, y mediante una aproximación metodológica basada en Canning (1998, 1999) continúan con el análisis del efecto de la infraestructura sobre la producción agregada, basándose en los trabajos de Canning y Bennathan (2000), Demetriades y Mamuneas (2000), y Esfahani y Ramírez (2003).

Las variables utilizadas por Calderón y Servén (2003) son, principalmente, el producto y capital humano (años de educación de la población). Además, para el indicador de infraestructura una combinación de generación de electricidad, longitud de carreteras, y número de líneas telefónicas (se considera telefonía móvil como ejercicio empírico mas no en el modelo principal), dividida por la fuerza laboral total. Así, mediante una estimación robusta a través de GMM de datos de panel en 101 países en el período 1960 – 1997, demuestran que existe un aporte significativo de la infraestructura sobre el producto en los países de América Latina. En este contexto, notamos que no solo se utiliza la población en su sentido más amplio, sino también variables de empleo asociadas a la actividad productiva de la economía.

Otro grupo de estudios es aquel que utiliza datos de panel. Entre estos, Bougheas *et al.* (2002), en su estudio que incluye a Perú, parte de una variación del modelo de crecimiento endógeno de Romer (1986), que considera la premisa de la especialización y la reducción de costos que produce la infraestructura vial sobre la tasa de crecimiento del producto en el largo plazo. La elasticidad encontrada, utilizando variables instrumentales como la inflación y la proporción de exportación sobre el PBI, resultó en 0.2637 como un escenario de límite inferior, el cual consideramos razonable en comparación con otros estudios.

Demetriades y Mamuneas (2000) afirman que además de las infraestructuras antes analizadas, también son importantes los puertos y aeropuertos como componentes en la producción. Utilizan la aproximación de Cobb-Douglas en una forma translogaritmica. Asimismo, adoptan una perspectiva internacional, de los retornos del capital y su efecto en 12 países de OCDE, utilizando estimaciones de panel mediante SUR. Esta

metodología permite estimar elasticidades en el mediano y largo plazo debido a que los factores privados se ajustaron a su nivel óptimo de producción. La especificación del modelo, como en los otros casos, utiliza trabajo, capital y gasto.

El hallazgo de este estudio presenta una de las mayores elasticidades, la cual en promedio para el caso de Noruega es de 1.969; mientras que el menor valor es para el Reino Unido con una elasticidad de 0.358. El conjunto de los doce países fue de 1.049. Esto quiere decir que, para el largo plazo, un incremento de 1% en la provisión de infraestructura pública, tiene un efecto de 1.049% sobre el producto. El resultado que resaltamos es que encuentran que el gasto de capital en infraestructura pública tiene un efecto significativo y positivo sobre el producto.

Por el lado del continente asiático, el estudio de Sahoo (2003) estima una elasticidad de la variable transporte que agrupa la cantidad de carreteras en India, de 0.2376 con relación al producto. Este estudio consideró otras variables de infraestructura como vías ferroviarias, líneas de energía eléctrica y gas, así como líneas telefónicas. De esta forma, mediante la función de producción Cobb-Douglas, el autor encuentra un efecto positivo de largo plazo entre la variable de carreteras y el crecimiento de la economía.

Straub *et al.* (2008), en su trabajo, incluye a Perú en la muestra de 93 países emergentes y clasificados según su nivel de ingresos. Metodológicamente, utilizan técnicas de panel de datos, y a diferencia de otros estudios, encuentran que el efecto de la infraestructura sobre el crecimiento del producto es tenue. Asimismo, estos autores, con base a sus resultados, consideran que estos deben ser tomados con cautela, debido a la utilización de información de variables macroeconómicas.

4.2. Literatura empírica nacional

Las investigaciones sobre los efectos de la infraestructura en el crecimiento de la economía peruana son escasas. Podemos nombrar tres estudios principales: Vásquez y Bendezú (2008), Urrunaga y Aparicio (2012), y Machado y Toma (2017). Sin embargo, el estudio más reciente es del organismo regulador OSITRAN (2020) y OSITRAN (2018), el cual es un caso particular de análisis empírico entre la infraestructura aeroportuaria asociada con la demanda y el crecimiento económico peruano.

En el caso peruano, el trabajo principal es el de Vásquez y Bendezú (2008) el cual se basa en el trabajo de Canning y Pedroni (1999). En el estudio peruano se encontró que la variable de infraestructura vial resultó ser, en términos estadísticos, exógena y de efecto leve al producto; no obstante, los efectos de innovación en infraestructura vial

tienen efectos de largo plazo sobre el producto, sin que ello signifique necesariamente una doble causalidad entre la inversión en infraestructura y el producto agregado. Este modelo, como el de Canning y Pedroni (1999) se desarrolla, de una forma menos restrictiva y con mayor información, a lo largo de nuestro estudio.

A diferencia de Canning y Pedroni (1999), Vásquez y Bendejú (2008) añaden variables de exportaciones y gasto público, entre otras que no logran especificar al detalle. En sus resultados del impulso respuesta, el *shock* de infraestructura vial disipa su efecto sobre el PBI a partir del tercer año. Asimismo, el efecto de las inversiones en infraestructura de transportes necesitaría de por lo menos un año para adaptarse a las variaciones en el crecimiento de la economía. Más aún, en términos acumulados, un incremento en la infraestructura varía la tasa de crecimiento desde 1.60% a 0.07%, para luego converger a 0.27%, estable en el año 10 de iniciado el efecto.

El estudio de Urrunaga y Aparicio (2012) contiene una importante revisión de literatura de la relación entre infraestructura y crecimiento económico. Además de ello, realizan una estimación en panel de datos a nivel regional, y utilizan como *stocks* la infraestructura en carreteras, electricidad y telecomunicaciones. En sus resultados, encuentran que la elasticidad infraestructura-producto es de 0.0395, no obstante, este resultado es a corto plazo.

En el estudio de Machado y Toma (2017), se encuentra un efecto positivo de las inversiones en infraestructura en transportes y comunicaciones sobre el producto, a nivel de 24 regiones del Perú. La metodología de estos autores fue estimaciones de datos panel con efectos fijos del 2004 al 2014. Al igual que en los estudios analizados, consideran una función de tipo Cobb-Douglas como función de producción, y con factores de capital, trabajo e inversiones.

Entre los hallazgos, Machado y Toma (2017) reportan una elasticidad de la inversión en infraestructura de transportes significativa pero pequeña, de 0.051% del producto regional, y en términos de producto por trabajador de 0.023% del producto regional.

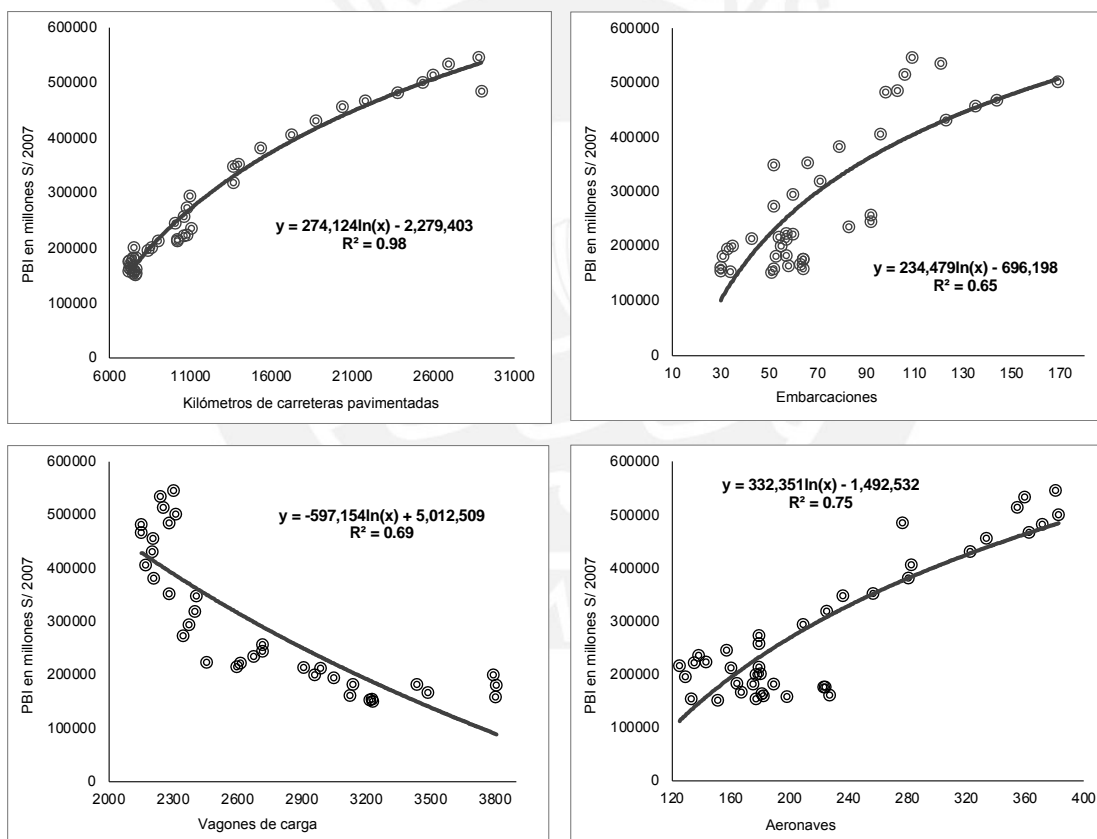
Finalmente, el análisis empírico de OSITRAN (2018) encuentra una relación en un solo sentido a través de la metodología de cointegración en un panel de datos (regiones del Perú), y utilizando un modelo de corrección de errores. Entre los hallazgos, encontraron que un incremento de 1% de la inversión en infraestructura aeroportuaria produce un incremento del 0.27% del PBI (per cápita y a nivel regional).

A modo de ejemplo para el caso peruano, el Gráfico 1 muestra las relaciones entre PBI y los indicadores de infraestructura de transportes. En el caso de carreteras, nuestro

ajuste de 0.98 resultó ligeramente mayor que el reportado en Vásquez y Bendezú (2008) de 0.93. Asimismo, los ajustes de los indicadores de infraestructura portuaria, aeroportuaria y ferroviaria muestran una alta correlación con el PBI, destacando el indicador aeroportuario, cuya variable es la cantidad de aeronaves por año, de 1981 a 2020, a nivel nacional.

De forma general, realizamos la relación en millones de soles del 2007 y en millones de dólares mediante la forma logarítmica. En ese orden, la variable con el mejor ajuste en comparación con otras variables de infraestructura de transportes resultó ser la cantidad de carreteras pavimentadas, lo cual se condice con los estudios internacionales revisados.

Gráfico 1 Relación entre el PBI en soles de 2007 y los indicadores de infraestructura de transportes, 1981 – 2020



Fuente: elaboración propia

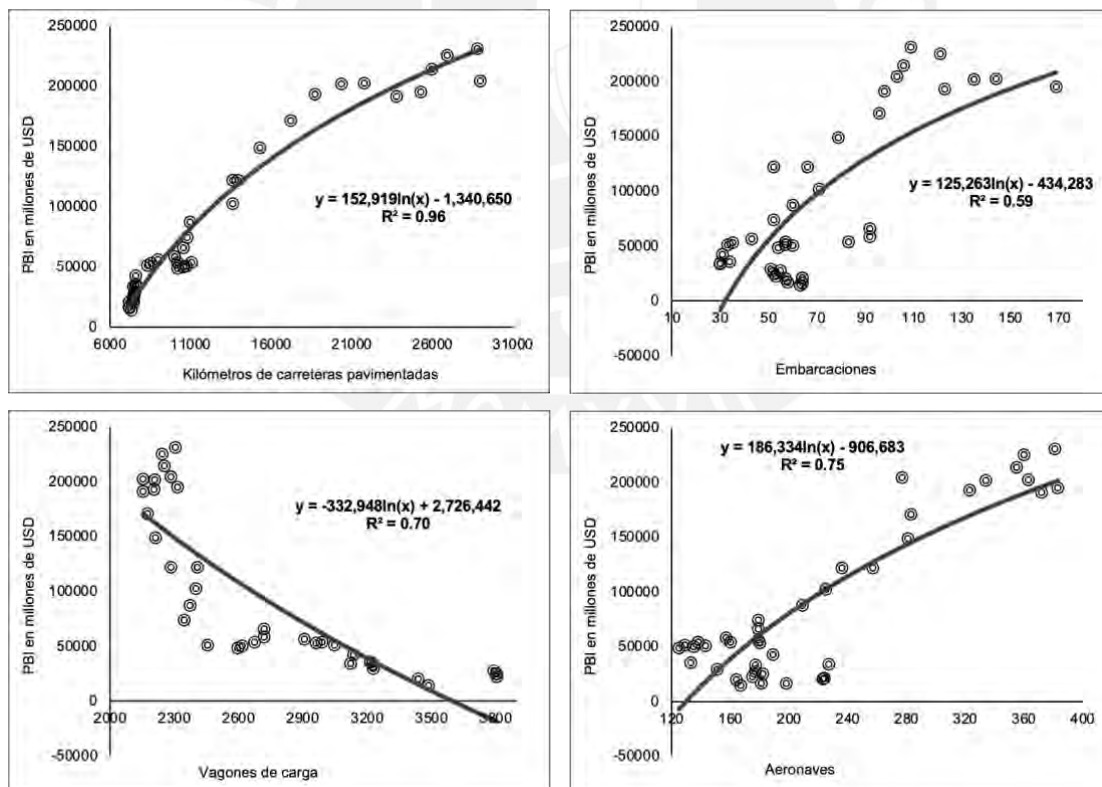
Por otra parte, la revisión de literatura también da cuenta de que las inversiones incrementarán su efecto en la medida que se complementen por el lado de la oferta mediante proyectos que potencien el transporte por carretera. Esto puede lograrse mediante una adecuada prelación en la implementación de plataformas logísticas

(Alarcón y Reyna, 2019), y acompañadas de componentes tecnológicos que midan la calidad o confort de la carretera, como el indicador de rugosidad, la reducción de accidentes, menores costos vehiculares o reducción de tiempos de viaje.

A modo de conclusión preliminar de la revisión de literatura, podemos referir que la literatura económica que relaciona la inversión en infraestructura y el nivel agregado de producción de un país identifica una función de producción que incluye tecnología, empleo e infraestructura, como variables explicativas en el crecimiento; además de complementarse con variables de gasto y de comercio o exportaciones.

La variable de infraestructura abarca una variedad como industrias de energía eléctrica, agua y saneamiento, y telecomunicaciones en estudios más recientes. No obstante, la variable de infraestructura de transporte no es restrictiva, pudiendo ser dividida por tipos o modalidad como carreteras, vías férreas, aeropuertos y puertos. Este último, puertos, en menor medida, pero no por ello menos importante.

Gráfico 2 Relación entre el PBI en USD y los indicadores de infraestructura de transportes, 1981 – 2020



Fuente: elaboración propia

Como fuere que se utilice una u otra variable, los hallazgos en las estimaciones entre infraestructura y producto sugieren una relación positiva en el largo plazo cuando se

estima para una economía, y presenta resultados más robustos en estimaciones de panel de países y con horizontes temporales reducidos.

En ese orden de ideas, nuestro estudio también aporta con mayor evidencia en la relación entre infraestructura de transportes y el producto de economía peruana, tanto en la revisión de literatura como en los hallazgos del análisis empírico.

4.3. Resumen de revisión de literatura empírica

Es importante resumir los principales estudios sobre la relación de largo plazo entre la inversión en infraestructura vial y de otras formas de *stock* de capital con el producto agregado, debido a los diferentes resultados en las estimaciones y como forma de respaldar el modelo elaborado para el caso peruano. Este resumen, presentado en la Tabla 1 se enfoca, principalmente, en infraestructura de transportes, a diferencia de los resúmenes presentados por otros autores en distintas revisiones de literatura, en las cuales se incluyen infraestructura de otras industrias como telecomunicaciones, saneamiento, o alguna otra industria productiva o de redes. El criterio de elección se basó en estudios que implementen una metodología o con alguna variación de la función de producción del tipo Cobb-Douglas, que incluyan variables asociadas a la infraestructura de transportes, y cuyo ámbito incluya al Perú. Asimismo, ampliamos el ámbito de estudio incluyendo Europa y Asia.

Tabla 1 Resumen de principales estudios que relacionan infraestructura e infraestructura de transporte con crecimiento económico de largo plazo

Autor	Ámbito	Período	Variable	Metodología	Elasticidad
Aschauer (1989)	Estados Unidos de América	1949 – 1985	Gasto público de capital no militar	MCO	0.39
Munell (1992)	Estados Unidos de América	1947 – 1988	Gasto público en infraestructura	MCO	0.34
Devarajan et al. (1996)	43 países en desarrollo (incluye Perú)	1970 – 1990	Gasto público en infraestructura y carreteras	Panel con efectos fijos	-0.037

Autor	Ámbito	Período	Variable	Metodología	Elasticidad
Garcia-Milà et al. (1996)	48 estados de Estados Unidos de América	1970 – 1983	Gasto público en carreteras	Panel de efectos fijos	-0.058
Canning (1999)	57 países en desarrollo	1960 – 1990	Cantidad de infraestructura de transportes	Panel con efectos fijos	Bajo ingreso -0.050 Alto ingreso 0.174
Canning y Pedroni (1999)	42 países desarrollados	1961 – 1990	Cantidad de km de carreteras pavimentadas	Panel con efectos fijos	0.027
Bougheas et al. (2000)	Varios países (incluye Perú)	1970 – 1975 1980 – 1985	Cantidad de km de carreteras pavimentadas y líneas telefónicas	VI	Lím. superior 1.0616 Base 0.7019 Lím. inferior 0.2637
Demetriades y Mamuneas (2000)	12 países OECD	1972 – 1971	Carreteras, entre otros	Panel y SUR	Variable Mín.: 0.358 Máx.: 1.969
Sahoo (2003)	India	1970 – 2001	Cantidad de km de carreteras, vías ferroviarias, puertos, entre otros	VAR y análisis de cointegración con VECM	0.2376
Calderón y Servén (2004)	101 países	1960 – 2000	Índice de infraestructura	Panel con efectos fijos mediante MGM	Variable: 0.0207 0.0195
Canning y Pedroni (2004)	42 países desarrollados	1961 – 1990	Cantidad de km de carreteras pavimentadas	Panel con efectos fijos	0.027

Autor	Ámbito	Período	Variable	Metodología	Elasticidad
Vásquez y Bendezú (2008)	Perú	1940 – 2003	Cantidad de km de infraestructura vial per cápita	MCE y SUR	0.218
Straub et al. (2008)	93 países (Incluye Perú)	1984 – 1995	Carretera asfaltada	Panel con efectos fijos	0.028
Urrunaga y Aparicio (2012)	Perú	1980 – 2009	Cantidad de km de carreteras pavimentadas	MGM con VI	0.0463
Allroggen y Malina (2014)	Alemania	1997 – 2006	Cantidad de aeropuertos	MVIL con VI	0.201
Machado y Toma (2017)	Perú	2004 – 2014	Carretera	Panel de datos	0.051
Dávalos et al. (2019)	Perú	1990 – 2015	Carretera asfaltada	VI y MMG	0.740

Fuente: Elaboración propia

Estos estudios, además de carreteras, emplean otras variables de transporte y telecomunicaciones; sin embargo, en la Tabla 1 se presentan los resultados de elasticidades correspondientes con la variable vial, preferentemente.

Es por ello que, con este resumen de resultados previamente estimados, conseguimos una ruta más clara en nuestro procedimiento de investigación, de forma tal que contemos con comparativas para nuestros resultados.

5. Hipótesis

Considerando la información disponible hasta 2021, y la forma simplificada del modelo de crecimiento desarrollado por Canning y Pedroni (1999), Canning y Pedroni (2004) y actualizando el caso peruano desarrollado por Vásquez (2003) y Vásquez y Bendezú (2008), desarrollamos una versión menos restrictiva en los parámetros de estimación, así como las proposiciones del modelo especificado en los anexos. De esta forma, la hipótesis de la investigación es la siguiente:

Tabla 2 Hipótesis de investigación

I.	λ_2	Es el término de ajuste de largo plazo en la Ecuación (5), y resulta ser cero si los cambios tecnológicos en la variable de infraestructura no presentan efecto de largo plazo sobre el producto.
II.	$-\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$	Presenta el mismo signo que el efecto de largo plazo de la variable de infraestructura sobre el producto.

En este caso, λ_2 es el término de ponderación del equilibrio en el largo plazo, dentro del modelo de corrección de errores en la expresión de Δy_t . Así, de acuerdo con el Teorema de Representación de Engle y Granger (1987), se espera que alguno de los términos de ponderación (λ_1 y λ_2) debe ser distinto de cero, con lo cual existe una relación en el largo plazo entre las variables de infraestructura y del producto; además de que por lo menos uno de los parámetros del modelo garantice la convergencia hacia el equilibrio mediante un valor negativo.

De acuerdo con lo anterior, bastará evaluar si los cambios tecnológicos o innovaciones tienen algún efecto mediante la significancia de λ_2 . De forma similar, el signo del efecto de la infraestructura sobre el producto se evalúa en la proporción $-\lambda_1/\lambda_2$. En la sección de resultados se amplía el análisis sobre este ratio.

6. Metodología

Los lineamientos metodológicos basados en la literatura empírica recogen la información, su tratamiento y consistencia, así como la estrategia empírica y su procedimiento y aplicación al caso peruano. A partir de ello, resulta que la variable por introducir en el modelo es el *stock* de infraestructura, en nuestro caso la cantidad de kilómetros de carreteras en la RVN.

Desde una perspectiva macroeconómica, el análisis de la infraestructura y su impacto en la productividad y el crecimiento requiere de alguna forma de función de producción. A partir de ello, se cuenta con una considerable cantidad de estudios empíricos que ponen a prueba la significancia del impacto de la infraestructura a nivel nacional como regional (OECD, 2007). Sin embargo, el punto de discusión reaparece cuando se evalúan los problemas de medición y la claridad de los resultados, además de la escasez de información homogénea, o incluso de mejor especificación como lo es la

calidad de la infraestructura. En ese orden de ideas, a continuación, desarrollamos la metodología de nuestra investigación.

Con base en la información recopilada, tenemos tantos escenarios de estimación de modelo como restricción temporal de las series, en términos de información disponible. En la Tabla 3 mostramos las estadísticas de las variables de infraestructura de transportes, según su periodicidad y disponibilidad. El detalle de la base de datos se presenta en los anexos del estudio.

Tabla 3 Estadísticas de variables de infraestructura de transportes

	Variables de infraestructura de transportes			
	Vial (1950 – 2019)	Portuaria (1981 – 2019)	Aeroportuaria (1981 – 2019)	Ferroviaria (1985 – 2019)
Promedio	8,493	72	221	2743
Máximo	28,770	169	383	3,806
Mínimo	2,695	30	125	2154
Desv. estándar	6,366.03	33.55	80.58	520.73
Observaciones	70	39	39	35

Fuente: Elaboración propia

La estrategia empírica implica el aprovechamiento de las relaciones de cointegración, en comparación con metodologías de modelos estructurales, las cuales son más complejas debido a que utilizan mayor cantidad de datos provenientes de muestras para grupos de países (Levine y Renelt, 1992); y que en su ordenamiento demandan un alto grado de estandarización. En términos de la metodología, la cointegración se refiere a una combinación lineal de variables no estacionarias, y este vector de cointegración resultante de la estimación no es único. Ante esto, inicialmente se analizan las condiciones de estacionariedad de las variables de interés.

La Tabla 4 presenta la matriz de correlación de las variables de infraestructura de transportes y de crecimiento económico. Se observa que el PBI presenta una alta correlación con la variable de infraestructura de transporte vial, y en menor proporción con las variables de infraestructura portuaria, aeroportuaria y ferroviaria, esto se mostró también en el Gráfico 1. De acuerdo con ello, la variable de infraestructura vial o carreteras resulta ser una candidata para la estimación de largo plazo. Una ventaja adicional, es que es la variable con mayor cantidad de observaciones.

Tabla 4 Correlación entre las variables de infraestructura de transportes y el crecimiento económico, 1985 – 2020

Variable	PBI	Vial	Portuaria	Ferrovial	Aeroportuaria
PBI	1.00	0.95	0.73	-0.82	0.73
Vial		1.00	0.71	-0.80	0.69
Portuaria			1.00	-0.49	0.50
Ferrovial				1.00	-0.37
Aeroportuaria					1.00

Fuente: MTC y BCRP

Elaboración: Propia

6.1. Datos

Los datos utilizados son las series de tiempo con periodicidad anual, de 1950 a 2019 como primer escenario de análisis, y como medida opcional se incluyen las observaciones del 2020.

Se utilizó el PBI per cápita en USD, construido a partir de la información publicada por el INEI y el BCRP. La información de la variable de infraestructura también proviene del INEI para el período de 1950 – 2009 y de los anuarios estadísticos del MTC del 2010 al 2020. Debido a que las series provienen de dos fuentes distintas, se realizó una revisión estadística y gráfica de la serie con el fin de comprobar su coherencia y comportamiento a través del tiempo. También se utilizó técnicas de extrapolación con el fin de completar dos observaciones faltantes.

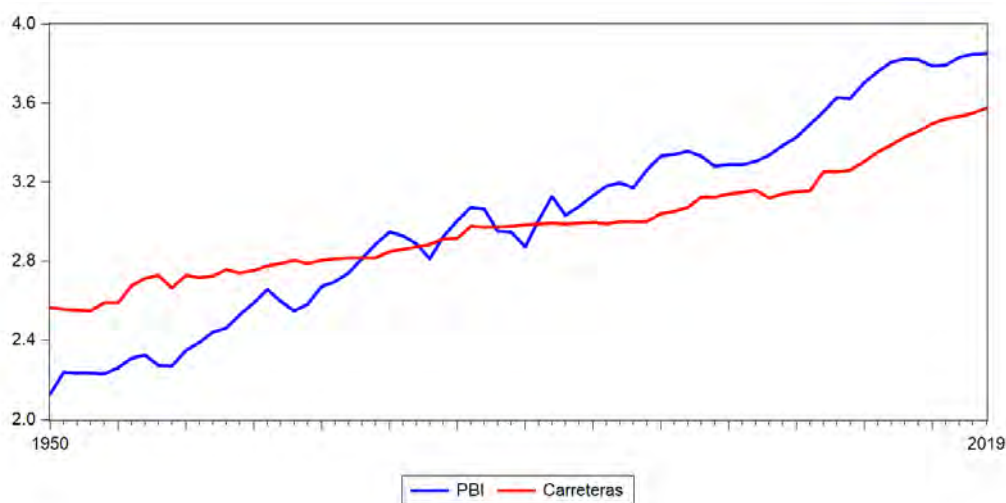
La variable de gasto público considera el gasto de capital y el gasto corriente, de conformidad con lo recomendado por Devarajan *et al.* (1996 p 321). Asimismo, los datos de infraestructura de carreteras de Vásquez y Bendezú (2008) fueron contrastados y corregidos con la información estadística disponible del MTC e INEI. En este punto, era de esperarse una diferencia entre este último estudio y lo publicado en años posteriores por el MTC.

Los datos para las variables de gasto y de exportaciones se obtuvieron a partir de los resultados del filtro de Hodrick-Prescott, debido a que permite extraer el componente de tendencia y ciclos de las series temporales. Asimismo, esta variable se construyó sobre

la base de la serie de gasto público de Seminario y Beltrán (1998) hasta 1995, adicionando información del BCRP para el período 1996 hasta 2019.

Hasta este punto, fue necesario un tratamiento de la información que conllevó a la revisión de la coherencia de los datos, sus filtros y ordenamiento, así como a la construcción de indicadores mejorados, debido a que en series de largo plazo es común encontrar cambios en la metodología de sistematización de las estadísticas.

Gráfico 3 Evolución de las series del PBI (USD) y Carreteras (km) en logaritmos per cápita: 1950 – 2019



En el caso en el que se utilice infraestructura distinta a las carreteras, la variable para *stock* de infraestructura de transporte portuario es una variable *proxy* de la cantidad de embarcaciones, o parque naviero, la cual se define por el INEI como un indicador que permite conocer, estudiar y evaluar la infraestructura en transporte marítimo. Con mayor detalle, para el caso de la variable de *stock* de infraestructura de transporte vial, esta es la cantidad de kilómetros asfaltados en la RVN, determinado por la literatura empírica.

Por otra parte, las variables del modelo se deben expresar en términos per cápita, por lo que se utilizó la población total del INEI; no obstante, también se emplea la PEA. Sobre este punto, es necesario indicar que las estadísticas del INEI en cuanto a la población cambiaron recientemente de lo publicado en el sitio *web* a comparación del estudio INEI (2021), también publicado recientemente.

Además de expresar el modelo en términos de población, cada variable se convierte en logaritmos, de modo que obtenemos el logaritmo del PBI per cápita, el logaritmo de infraestructura vial y el logaritmo de infraestructura de las otras variables de infraestructura de transportes, en términos per cápita. De esta forma, es razonable considerar que la provisión de estos servicios asociados a la infraestructura es el

consumo promedio por habitante en la economía, la cual se asocia con la parte de la demanda en el modelo de largo plazo.

Asimismo, de acuerdo con Canning (1998 p 15), es adecuado normalizar las variables por la población, debido a que las variables de *stock* de infraestructura se incrementan proporcionalmente con la población. Si la variable es infraestructura vial como carreteras o bien rival, la normalización por la población también es adecuada debido a que la cantidad del bien, dividida por la población, indica el consumo promedio en la economía.

Como idea principal en cuanto a la información utilizada, nuestra investigación sigue el lineamiento de autores como Canning y Pedroni (1999), Vásquez y BendeZú (2008), Calderón y Servén (2004) y Dávalos *et al.* (2019), en cuanto a la recomendación de la utilización de medidas físicas de infraestructura en lugar de indicadores de inversión que pudieran distorsionar los resultados debido a las variaciones en precios, o las debilidades institucionales en los países en desarrollo que contaminen la medición buscada.

Por último, es importante recordar que Canning y Pedroni (1999) utilizan el PBI de paridad de poder de compra debido a que su modelo es de tipo panel, con lo cual se hace útil la comparación del producto entre países. En nuestro caso, tal diferenciación no resulta necesaria, y se acerca más a un modelo para una sola economía, similar a Vásquez y BendeZú (2008).

7. Resultados

El propósito es investigar si las series de las variables construidas con la información disponible son consistentes con las características del modelo, para con ello evaluar con las pruebas estadísticas de los parámetros del modelo, el signo y el sentido del efecto causal de largo plazo entre la infraestructura y el producto. En detalle, evaluamos estadísticamente si f_t e y_t contienen raíz unitaria, y si estas cointegran.

La metodología que empleamos recoge las recomendaciones de los procedimientos de Canning y Pedroni (1999) y Vásquez y BendeZú (2008), el cual se inicia con el procedimiento estadístico de pruebas de raíz unitaria empleando los usuales contrastes de Dickey-Fuller aumentado, Phillip-Perron, entre otros. Las pruebas de cambio estructural se realizan mediante Zivot y Andrews (1992), con el fin de evaluar si estos cambios afectan las pruebas de raíz unitaria.

Ilustración 1 Perú: extensión total de carreteras pavimentadas, 2020



Fuente: Elaboración propia con información de MTC 2021

Las pruebas de relación de cointegración de las series se realizan mediante máxima verosimilitud por Johansen y Juselius (1990), como paso previo al análisis de la relación de las variables en el largo plazo.

Luego de estos pasos previos, se estima el modelo de crecimiento endógeno mediante corrección de errores en dos etapas, para luego derivar un modelo bivariado al cual se le aplica la metodología de regresiones aparentemente no relacionadas (SUR por sus siglas en inglés), para las variables infraestructura y producto, las cuales se detallan en la sección de hipótesis. Como lo mencionamos anteriormente, los datos utilizados provienen de una corrección, actualización e incremento de los datos de Vásquez (2003) y Vásquez y Bendezú (2008).

Los resultados abarcan las pruebas de raíz unitaria y cointegración de las series de interés, así como la estimación y las pruebas de hipótesis de los parámetros de nuestro modelo propuesto.

7.1. Resultados de las pruebas de raíz unitaria

En un primer grupo, evaluamos las series mediante la prueba de Dickey-Fuller (ADF). En un segundo grupo, mediante la prueba de Phillip-Perron (PP) para muestras con menor cantidad de observaciones, debido a la dinámica de corto plazo de las series en contraste con la hipótesis alternativa de presencia de tendencia estacionaria en las series. Como es sabido, en muestras cortas las pruebas clásicas de raíz unitaria y de cointegración pueden arrojar falsos rechazos, por lo que ampliamos la evaluación incluyendo pruebas de PP y KPSS con el fin de determinar la naturaleza de raíz unitaria de las series.

En el primer caso, de las series expresadas como logaritmos no se rechazó la hipótesis nula de que cada serie presenta raíz unitaria. En el segundo caso, las mismas series en su primera diferencia y sin tendencia, son estacionarias, como era de esperarse, debido a que la primera diferencia reduce el efecto de la tendencia. De esta forma, encontramos que las series en su primera diferencia presentan estacionariedad, es decir, son consideradas como $I(1)$. Así, en adelante asumimos que cada variable en logaritmos de los niveles es $I(1)$, mientras que el logaritmo de la primera diferencia son series $I(0)$.

Como se aprecia, con las pruebas ADF y PP no se rechaza la hipótesis de que la serie cuenta con raíz unitaria en niveles; mientras que con la prueba KPSS se rechaza la hipótesis nula de que la serie es estacionaria en niveles. En contraste, en la primera diferencia de las series, las pruebas ADF, PP y KPSS se comprueba que las series son estacionarias en su primera diferencia.

Tabla 5 Pruebas ADF, PP y KPSS de raíz unitaria

Variable	H ₀ : la serie contiene raíz unitaria		H ₀ : la serie es estacionaria
	ADF	PP	KPSS
y_t	-0.43 (0.90)	-3.14 (0.11)	1.09
Δy_t	-6.55*** (0.00)	-8.29*** (0.00)	0.11
f_t	-0.66 (0.97)	-0.63 (0.97)	1.07
Δf_t	-9.39*** (0.00)	-9.33*** (0.00)	0.32
\hat{e}_t	-1.87* (0.06)	-2.13** (0.03)	n.a.

*** 1% significancia ** 5% significancia * 10% significancia

KPSS valores críticos 1%: 0.74; 5%: 0.46; y 10%: 0.35

Además de ello, la serie de residuos del modelo de largo plazo resultó estacionaria, es decir $I(0)$, por lo que resulta razonable extender el análisis de la relación de largo plazo entre la infraestructura y el producto agregado.

Por otra parte, resulta necesario realizar las pruebas estadísticas de raíz unitaria incluyendo posibles quiebres estructurales, más aún si consideramos los importantes cambios estructurales y ciclos económicos de la economía peruana (Castillo *et al.*, 2007). Esto resulta aplicable a las series de infraestructura y producto, debido a los cambios de periodos gubernamentales y *shocks* externos presentes en la economía peruana.

Tabla 6 Prueba de Zivot – Andrews de raíz unitaria con quiebre estructural

Variable	H ₀ : la serie contiene raíz unitaria con quiebre estructural en ...		
	Intercepto	Tendencia	Ambos
y_t	Quiebre: 1983	Quiebre: 1974	Quiebre: 1983
	-4.94 (0.01)	-4.11 (0.58)	-5.12 (0.01)
f_t	Quiebre: 2007	Quiebre: 2005	Quiebre: 2003
	-3.19 (0.00)	-4.10 (0.00)	-4.33 (0.02)

Las pruebas de Zivot – Andrews realizadas para todo el período de datos indican que se encuentran quiebres considerables en la tendencia sobre intercepto, y de tendencia sobre 1983 en el producto, lo cual es razonable si consideramos la problemática de dicha década en la economía peruana como lo fue la inflación y las continuas recesiones.

Por su parte, para la infraestructura los quiebres se presentan en la década de los dos mil, lo cual se ajusta con la información estadística que muestran que por esos años hubo importantes avances en el impulso a la construcción y mantenimiento de carreteras (MTC, 2014). Esto se tradujo en programas de inversiones, que se basaron en paquetes de proyectos de construcción de carreteras y planes de mantenimiento de estas por periodos previamente programados, lo que demandó también una considerable programación de recursos públicos o gasto de capital. Así, el impacto fue directamente al mercado de empresas constructoras, las cuales concursaban por la adjudicación de diversos proyectos viales y de mantenimiento. A su vez, las empresas se financian a través de líneas de crédito, capital propio o diversos fondos de inversión en el mercado financiero nacional e internacional, dependiendo de la magnitud de los proyectos.

7.2. Pruebas de cointegración

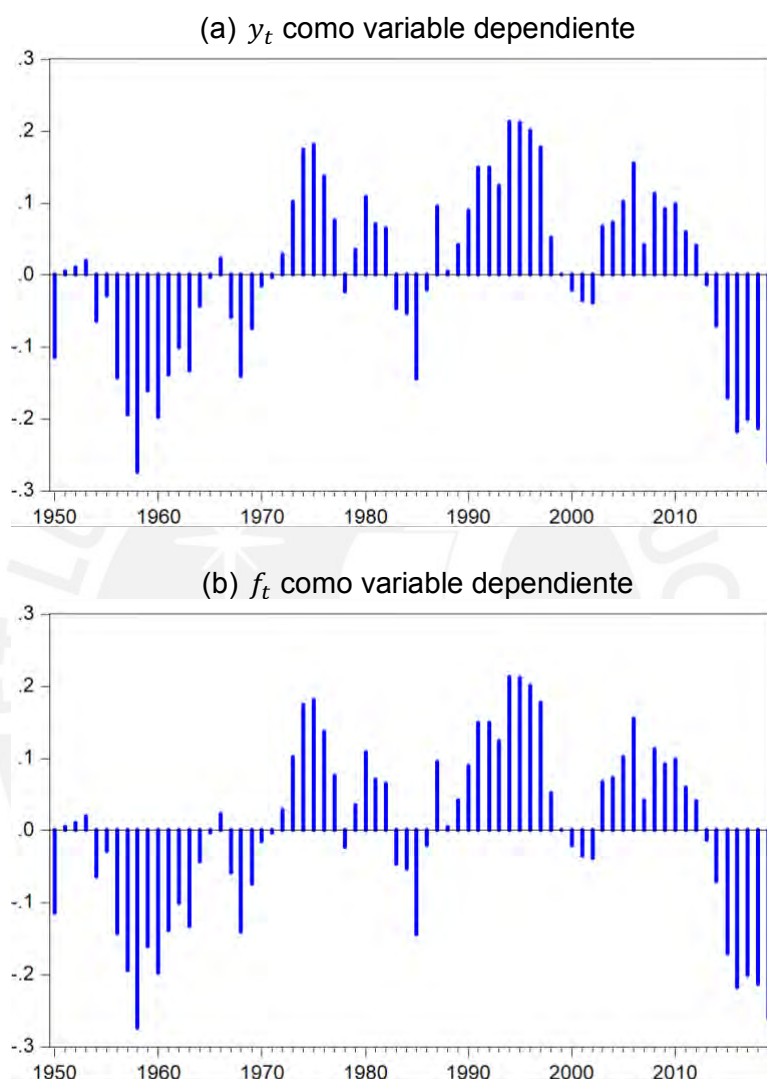
Nuestro segundo análisis es probar la posibilidad de presencia de cointegración entre las variables de infraestructura y el PBI per cápita. En caso de ausencia de cointegración entre las variables el procedimiento sería directamente proseguir con la primera diferencia de las series. Sin embargo, en la presencia de cointegración, las primeras diferencias no admiten la relación de largo plazo en los datos, por lo que el procedimiento de cointegración debe ser tomado en cuenta.

Debido a la posibilidad de causalidad inversa entre las variables, adoptamos una variación de la técnica de Pedroni (1995) la cual es robusta en causalidad en ambos sentidos de la regresión de interés. En términos reducidos, la relación es: $y_t = \beta_0 + \beta_1 f_t + e_t$, la que se especifica en la sección del modelo de crecimiento endógeno.

Donde, como lo habíamos definido, f_t es el vector de la variable de infraestructura; y_t es el ingreso per cápita; e_t representa el término de error estacionario; y β_0 es el intercepto. Con esta expresión, los residuos son utilizados para evaluar la prueba de ADF de raíz unitaria. Así, los valores antes presentados, implican que se rechaza la hipótesis nula en todos los casos, por lo tanto, en lo que sigue asumimos que cada una

de las series es no estacionaria, pero que existe una cointegración entre la variable de infraestructura y el PBI per cápita.

Gráfico 4 Residuos de las estimaciones del modelo simplificado por FMOLS



7.3. Resultados de las pruebas de cointegración

El comportamiento de los residuos de las estimaciones del modelo simplificado de largo plazo por MCO, para las variables infraestructura y producto como dependientes, se presentan el Gráfico 4. De acuerdo con ello, se aprecia que los residuos son una caminata aleatoria sin rumbo, con valores positivos y negativos. Al respecto, como se puede apreciar, estos residuos fluctúan en torno a cero, por lo que resulta en una inspección inicial y válida al análisis de cointegración de variables en el largo plazo.

A partir de lo anterior, en adelante mostramos los resultados de las pruebas de cointegración en distintos escenarios, variables y periodos.

Tabla 7 Prueba de cointegración de Engle-Granger I

Dependiente	H ₀ : las series no están cointegradas	
	Estadístico	
	<i>tau</i>	<i>z</i>
y_t	-3.98 (0.04)	-32.55 (0.00)
f_t	-0.61 (0.99)	-2.25 (0.99)

Prob. en paréntesis

La Tabla 7 presenta la prueba de cointegración considerando únicamente las variables de infraestructura y producto; mientras que en la Tabla 8 la prueba se realiza considerando, además, las variables de gasto público y exportaciones, con el fin de abarcar los escenarios de modelos.

En la Tabla 9, se consideró como variable dependiente a la infraestructura en lugar del producto, además de incluir al gasto público y las exportaciones. Los estadísticos encontrados, nos permiten afirmar la presencia de cointegración.

Tabla 8 Prueba de cointegración de Engle-Granger II

Dependiente	H ₀ : las series no están cointegradas	
	Estadístico	
	<i>tau</i>	<i>z</i>
y_t	-1.76 (0.92)	-7.53 (0.89)
f_t	-1.44 (0.96)	-6.34 (0.93)
g_t	-4.56** (0.02)	-32.40** (0.02)
x_t	-5.31*** (0.00)	-56.63** (0.00)

Prob. en paréntesis

Tabla 9 Prueba de cointegración de Engle-Granger III

Dependiente	H ₀ : las series no están cointegradas	
	Estadístico	
	<i>tau</i>	<i>z</i>
f_t	-1.44 (0.96)	-6.34 (0.93)
y_t	-1.76 (0.92)	-7.53 (0.89)
g_t	-4.56** (0.02)	-32.40** (0.02)
x_t	-5.31*** (0.00)	-56.63** (0.00)

Prob. en paréntesis

Por su parte, las pruebas de cointegración de Engle y Granger permiten identificar el rechazo de la hipótesis nula de que las series no estén cointegradas, por lo que podemos afirmar a partir de los resultados de las tablas 7, 8 y 9, que al menos para las series de infraestructura y producto agregado, las series cointegran. Así, de acuerdo con el procedimiento de la metodología, podemos continuar con la estimación del modelo propuesto.

Tabla 10 Prueba de cointegración de Johansen todas las series, 1950 – 2019

Cantidad de ecuaciones de cointegración bajo hipótesis	Estadístico			
	<i>Eigenvalue</i>	Traza	Valor crítico	<i>P-value</i>
Ninguna *	0.35	50.96	47.86	0.02
Al menos 1	0.24	23.02	29.79	0.24
Al menos 2	0.07	5.27	15.49	0.78
Al menos 3	0.01	0.48	3.84	0.49

La traza indica que existe 1 ecuación de cointegración a un nivel de aceptación de 0.05

* Se rechaza la hipótesis a un nivel de aceptación de 0.05

Una prueba adicional, considerando también lo mostrado en el Gráfico 3, es a partir del año 1974 al 2019, período en el cual las series evolucionan de forma similar y sin cruces entre ellas. Como se muestra en la Tabla 12, se sigue rechazando la hipótesis nula de que las series no presentan cointegración.

Tabla 11 Prueba de cointegración de Johansen serie PBI e infraestructura, 1950 – 2019

Cantidad de ecuaciones de cointegración bajo hipótesis	Estadístico			
	<i>Eigenvalue</i>	Traza	Valor crítico	<i>P-value</i>
Ninguna *	0.26	21.54	15.49	0.00
Al menos 1	0.05	3.48	3.84	0.06

La traza indica que existe 1 ecuación de cointegración a un nivel de aceptación de 0.05

* Se rechaza la hipótesis a un nivel de aceptación de 0.05

Tabla 12 Prueba de cointegración de Johansen serie PBI e infraestructura, 1974 – 2019

Cantidad de ecuaciones de cointegración bajo hipótesis	Estadístico			
	<i>Eigenvalue</i>	Traza	Valor crítico	<i>P-value</i>
Ninguna *	0.40	27.04	25.87	0.03
Al menos 1	0.07	3.28	12.52	0.84

La traza indica que existe 1 ecuación de cointegración a un nivel de aceptación de 0.05

* Se rechaza la hipótesis a un nivel de aceptación de 0.05

Así, debido a que los estadísticos de la prueba de Engle y Granger son mayores a los niveles de significancia, entonces no es posible rechazar la hipótesis nula que hace referencia a que las series no se encuentran cointegradas y que por lo tanto no existe una relación de largo plazo entre la infraestructura y el producto, en ambos sentidos. Con esto, se valida la continuación del procedimiento de cointegración.

7.4. Resultados de la estimación del Modelo de Corrección de Errores

A partir de la comprobación de una relación de largo plazo de las variables de interés, resulta plausible la utilización de un modelo de corrección de errores que permita contrastar las hipótesis planteadas. Asimismo, mediante estos métodos, es posible evaluar la dinámica del modelo propuesto. Los resultados se presentan en la Tabla 13 y la Tabla 15.

Tabla 13 Resultados de la estimación del modelo de corrección de errores I

Ecuación (4)		Ecuación (5)	
Variable dependiente	df_t	Variable dependiente	dy_t
Intercepto	0.009**	Intercepto	0.054***
Variable	Coefficiente	Variable	Coefficiente
$dy_t(1)$	0.060	$dy_t(1)$	0.067
$dy_t(2)$	-0.000	$dy_t(2)$	-0.159

$dy_t(3)$	-0.041	$dy_t(3)$	-0.124
$dy_t(4)$	-0.008	$dy_t(4)$	-0.130
$df_t(1)$	-0.169*	$df_t(1)$	-0.463***
$df_t(2)$	0.210**	$df_t(2)$	-0.405**
$df_t(3)$	0.264**	$df_t(3)$	-0.186
$df_t(4)$	0.090	$df_t(4)$	-0.296
g_t	0.033	g_t	0.096
x_t	0.114***	x_t	0.337***
λ_1	0.049*	λ_2	-0.072
R ² ajustado	0.078	R ² ajustado	0.241
Durbin-Watson	2.062	Durbin-Watson	1.781
SSR	0.030	SSR	0.109
Observaciones	65	Observaciones	65

*** 5% significancia ** 10% significancia * 15% significancia

Método de estimación: SUR

Se observa que el parámetro de la primera ecuación de cointegración es significativo y de signo opuesto al parámetro de la segunda ecuación, de modo tal que se evidencia la existencia de un mecanismo de corrección de errores en la relación del PBI y la infraestructura de transportes. Esto permite que, en el largo plazo, se corrijan las desviaciones del corto plazo, provenientes del equilibrio de las variables.

Por otra parte, obtener resultados negativos puede indicar no que la variable explicativa esté asociada negativamente con el crecimiento económico, y que este factor no sea productivo, si no que significa un crecimiento lento, o un nivel alto de inversión en orden de alcanzar un mayor crecimiento a través de dicha variable, como lo advierten Devajaran *et al.* (1996 p 322).

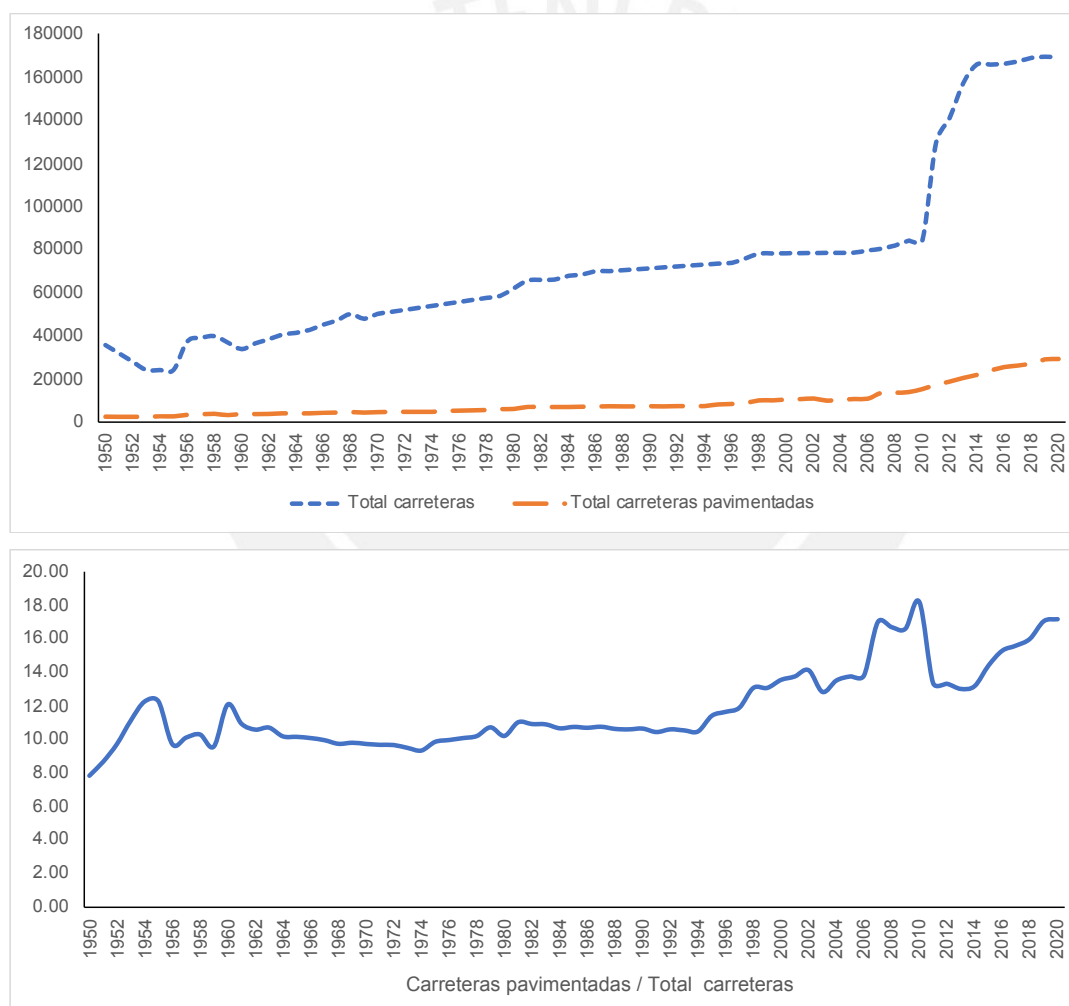
De forma complementaria, y con el fin de ensayar mejores indicadores, se estimó un modelo similar con la diferencia de que se consideró una construcción distinta para la variable de infraestructura. Esto consistió en calcular la relación entre el total de kilómetros pavimentados sobre el total de kilómetros de la RVN, para el período 1950 – 2020. Es decir, construimos un indicador de la calidad de la infraestructura, como lo sugiere un grupo de autores de nuestra revisión de literatura empírica. No obstante, los resultados del estimador de infraestructura resultaron no significativos y de gran magnitud, por lo que se descartó el modelo con este indicador.

En el Gráfico 5 se presenta la serie y el ratio antes mencionado. Lo que se aprecia es que el total de carreteras, medido por la cantidad de kilómetros en el eje vertical, crece de forma rápida y muy elevada a partir del 2010, debido principalmente a cambios en la

normativa de clasificación de carreteras (SINAC), así como al impulso de diversos programas de inversión en infraestructura vial. Esto podría sugerir que la elasticidad infraestructura-producto sea elevada en comparación con resultados revisados en la literatura.

Como complemento, se realizaron pruebas utilizando una observación adicional para todas las variables, que corresponde con el año 2020. Sin embargo, la presencia de comportamientos inesperados por efectos de la pandemia produjo resultados no significativos, por lo que es recomendable conservar el análisis en el período antes previsto (1950 – 2019).

Gráfico 5 Serie de cantidad total de carreteras y carreteras pavimentadas, 1950 – 2020



Otro modelo que utilizamos es aquel que emplea la variable Población Económicamente Activa (PEA) para la realización de las variables en términos per cápita. En este modelo empleamos también la variable exportaciones como variable explicativa, además de la infraestructura vial. Así, realizadas las pruebas de cointegración, se aceptó la presencia

de al menos una ecuación de cointegración. Asimismo, al estimar el VECM encontramos significancia al usar tanto dos como cuatro rezagos, por lo que se trata de un modelo eficiente. Estos resultados se muestran en la Tabla 15.

En cuanto a la elasticidad infraestructura-producto, esta se obtuvo de la ecuación de cointegración. En nuestro estudio, los modelos estimados se diferenciaron entre ellos por la cantidad de variables, el horizonte temporal y la elección de variable población total o la utilización de la PEA para la transformación a términos per cápita de todas variables bajo análisis. En ese sentido, una primera ecuación de cointegración que incluye todo el horizonte y todas las variables mostró un coeficiente de elasticidad infraestructura-producto de 0.162. No obstante, en este modelo la variable de gasto público y de exportaciones resultaron significativas al 10%, y al estimar el modelo con solo dos variables el coeficiente de elasticidad resultó en un valor muy elevado. Esto se puede deber a la inclusión de la población total, la cual es una proyección del INEI a partir de los censos nacionales de población.

En un segundo modelo, además de las variables de infraestructura y producto, incluimos solo la variable de exportaciones, pero esta vez considerando la PEA en lugar de la población total, mientras que el horizonte de evaluación permaneció de 1950 a 2019. Con esto buscamos que el coeficiente de elasticidad conserve la coherencia respecto de la literatura empírica, y que los estimadores de las variables presenten una mejor significancia.

Metodológicamente, la estimación de la ecuación de cointegración siguió el procedimiento FMOLS de las variables en su primera diferencia, y considerando una tendencia. Así, la ecuación resultante es: $y_t = -1.837 + 0.488f_t + 0.301x_t$. En esta, la elasticidad infraestructura-producto resultó en un valor de 0.488, la cual es coherente con los resultados presentados en la revisión de literatura empírica. Nuevamente, la diferencia principal de este coeficiente de elasticidad se puede explicar a partir de la elección de la PEA, la cual se utilizó como normalización de los términos per cápita.

Esta variable del mercado de trabajo que recoge a la cantidad de mano de obra para la producción recoge en cierta medida productividad, la cual se asocia con la expansión o crecimiento de las redes viales y crecimiento económico.

En este caso, las variables lograron una alta significancia y un adecuado ajuste. En la Tabla 14 se presentan los resultados.

Tabla 14 Estimación de ecuación de cointegración por FMOLS

Variable dependiente: y_t		Obs.: 69
Variable	Coefficiente	<i>P-value</i>
c	-1.837** (-1.883)	0.064
f_t	0.488*** (2.693)	0.009
x_t	0.301*** (2.724)	0.008

Desviación estándar en paréntesis

*** 5% significancia ** 10% significancia
 R^2 ajustado: 0.974 SSR: 0.288 LRV: 0.011

Los resultados de estos coeficientes de elasticidad, en algunos casos son cercanos a los vectores de cointegración de los resultados parciales de las pruebas de cointegración, lo cual aporta un respaldo y evidencia importante a nuestros resultados finales. Asimismo, este resultado resulta coherente con las estimaciones de los estudios revisados en la sección de revisión de literatura empírica.

Tabla 15 Resultados de la estimación del modelo de corrección de errores II

Ecuación (4)		Ecuación (5)	
Variable dependiente	df_t	Variable dependiente	dy_t
Intercepto	1.307***	Intercepto	-0.131***
Variable	Coefficiente	Variable	Coefficiente
$dy_t(1)$	0.107***	$dy_t(1)$	0.187***
$dy_t(2)$	0.041	$dy_t(2)$	-0.062**
$dy_t(3)$	-0.005	$dy_t(3)$	-0.062
$dy_t(4)$	0.015	$dy_t(4)$	-0.099
$df_t(1)$	0.211**	$df_t(1)$	-0.462***
$df_t(2)$	0.104	$df_t(2)$	-0.436***
$df_t(3)$	0.145	$df_t(3)$	-0.145
$df_t(4)$	0.010	$df_t(4)$	-0.173
x_t	0.071***	x_t	0.233***
λ_1	-0.064***	λ_2	-0.250***
R^2 ajustado	0.125	R^2 ajustado	0.321
Durbin-Watson	1.854	Durbin-Watson	2.082
SSR	0.102	SSR	0.033

Observaciones	65	Observaciones	65
*** 5% significancia ** 10% significancia * 15% significancia			
Método de estimación: SUR			

Como se puede apreciar de la tabla anterior, prescindimos de la variable gasto público. Este modelo simplificado cuenta con signo negativo para el parámetro de corrección, lo cual es el resultado esperado de ajuste en el largo plazo. Así, podemos afirmar que las desviaciones de periodos previos del equilibrio de largo plazo son corregidas en el período actual a una ‘velocidad’ de ajuste de 0.250. Además, el porcentaje de variación de la infraestructura está asociado con un incremento de 0.462% en el corto plazo sobre el PBI. Este último, similar a la elasticidad de infraestructura-producto estimada mediante la ecuación de cointegración.

7.5. Resultados de las pruebas de hipótesis de los parámetros de las ecuaciones del modelo estimado

Posterior a la estimación del modelo, es necesario probar las hipótesis de los parámetros λ_1 y λ_2 de las ecuaciones principales. El resumen de las pruebas de Wald para tres hipótesis distintas se presenta en Tabla 16.

En la práctica, para un parámetro θ , la prueba estadística de Wald es calculada como:

$$W = \frac{(\hat{\theta} - \theta_0)^2}{\text{var}(\hat{\theta})}$$

Bajo esta forma, la hipótesis nula de la prueba debe seguir una distribución χ^2 asintótica, con un grado de libertad.

De acuerdo con los resultados de la primera hipótesis, del parámetro λ_1 de la Ecuación (4), no se rechaza la hipótesis nula, con lo cual podemos inferir que la variable infraestructura vial es exógena débil al producto, es decir, no tiene un comportamiento simultáneo de relación con el PBI per cápita. No obstante, este es un resultado a nivel estadístico; y no debe entenderse como una limitante a la relación de largo plazo entre la infraestructura y el PBI, analizado a través de cointegración en el largo plazo (Enders, 2015 p 394).

En la segunda fila, la significancia de λ_2 significa que las innovaciones en la infraestructura tienen un efecto de largo plazo en el producto; asimismo, el signo del ratio $-\lambda_2/\lambda_1$ nos dice el signo de la relación de largo plazo antes mencionada. La derivación de utilización de este último ratio se detalla en los anexos.

Los resultados de la segunda hipótesis, del conjunto λ_1 y λ_2 , sí permite rechazarla con alto grado de significancia, por lo que podemos afirmar que los cambios técnicos en la infraestructura vial presentan un efecto de largo plazo en el producto per cápita, sin que ello signifique una causalidad, en el sentido de Granger, del producto hacia la infraestructura, y a través de la demanda. En esta prueba se utilizó el parámetro λ_2 de efecto de la infraestructura hacia el producto, así como el parámetro de signo del efecto, representado por el ratio $-\lambda_2/\lambda_1$.

Asimismo, en la tercera hipótesis evaluamos el signo, en el largo plazo, del efecto provocado por los *shocks* de la infraestructura vial sobre el producto. En este caso, la prueba es conjunta para que el parámetro λ_1 sea distinto de cero, así como el ratio $-\lambda_2/\lambda_1$. Así, comparamos el estadístico con la sección correspondiente a valores positivos, por lo tanto, de conformidad con los resultados, podemos aceptar que el signo del ratio es positivo.

Tabla 16 Prueba de hipótesis de los parámetros de ajuste del Modelo de Corrección de Errores de las ecuaciones de cointegración

Hipótesis	f_t	
	χ^2	<i>P-value</i>
$\lambda_1 = 0$	2.524	0.112
$\lambda_2 = 0$	12.335***	0.002
$-\lambda_2/\lambda_1 = 0$		
$\lambda_1 = 0$	151.095***	0.000
$-\lambda_2/\lambda_1 = 0$		

*** 1% significancia

En cuanto a la prueba de causalidad de Granger, desarrollamos esta a partir del VECM. En ese sentido, para nuestro caso resultó que la cantidad de rezagos apropiada considerando los criterios de AIC y SC fue de 2 y 4 rezagos. La prueba considera la primera diferencia de las series, como lo establece la metodología de series de tiempo.

En la Tabla 17 se presenta que la hipótesis nula es que la variable de la primera columna no causa en el sentido de Granger a la variable dependiente. Así, de acuerdo con las probabilidades, podemos aceptar que la variable infraestructura presenta causalidad hacia la variable del producto agregado.

Tabla 17 Prueba de causalidad de Granger de las variables infraestructura y producto

Variable dependiente: dy_t		
Excluido	χ^2	<i>P-value</i>
df_t	8.262	0.0161

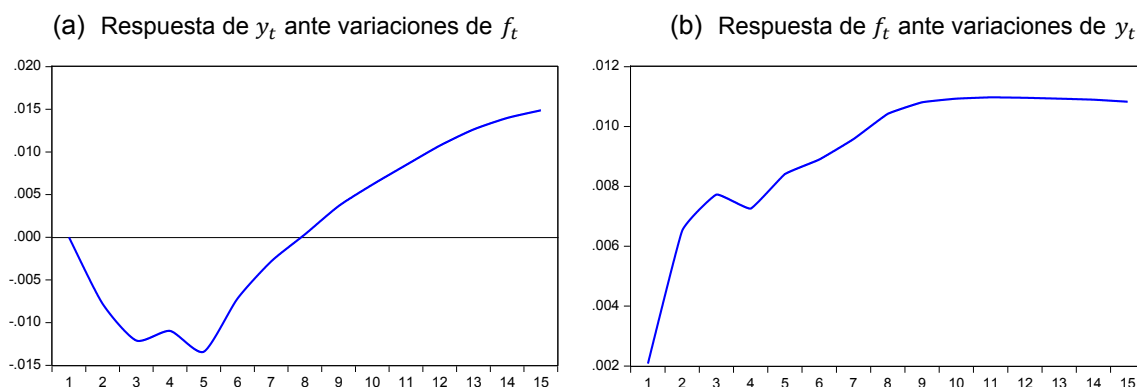
Variable dependiente: df_t		
Excluido	χ^2	<i>P-value</i>
dy_t	3.085	0.214

En el caso del sentido de causalidad de Granger del producto agregado hacia la infraestructura, esta se rechaza. Al respecto, estos resultados no contravienen lo demostrado para nuestro modelo de crecimiento endógeno, si no que se trata de una forma estadística de complementar el análisis en la relación de largo plazo; es decir, existen valores pasados de la infraestructura que contribuyen con explicar el crecimiento económico de la economía a través del producto agregado.

Finalmente, en el Gráfico 6 se muestra un horizonte de diez años para la dinámica en las respuestas a impulsos de las variaciones de la variable de infraestructura sobre el producto, y viceversa. En el primer gráfico (a) se muestra que la respuesta a impulsos del crecimiento de la red vial nacional tarda por lo menos cuatro años en encontrar una senda de crecimiento en el PBI per cápita. Esto es razonable si consideramos que los proyectos de transportes que ejecutan inversiones se desarrollan en diversos plazos dependiendo de su alcance, magnitud y esquema de financiamiento. Ello sin considerar el problema de los bajos niveles de ejecución presupuestal, destinado a construcción y conservación de importantes corredores viales. Además, las carreteras al mejorar los indicadores de costos vehiculares en transportistas y beneficios sociales en la población incrementan la productividad del trabajador lo cual se refleja en un mayor ingreso y por ello en un mejor producto agregado.

En el segundo gráfico (b), se muestra una respuesta pronta y de considerable magnitud en el crecimiento de la red vial ante impulsos de crecimiento del PBI per cápita, se presenta un crecimiento hasta el noveno año para luego estabilizarse. Una de las explicaciones que planteamos es que a nivel nacional la economía no se encuentra en su nivel óptimo de conexión de carreteras y con las principales zonas de producción, por lo que cada flujo de inversión dirigida a incrementar y mejorar el *stock* de infraestructura tiene un alto impacto en su crecimiento, lo que se mostró en los gráficos de la red vial y su evolución.

Gráfico 6 Impulso respuesta de las variables infraestructura y producto



8. Conclusiones

El análisis de nuestro modelo propuesto se diferenció de estudios previos para el caso de la economía peruana en que comprendió un estudio de variables macroeconómicas como el PBI, el gasto público y las exportaciones, para el período de 1950 a 2019, además de utilizar una menor restricción en los parámetros del modelo propuesto y la cantidad de variables empleadas, considerando también la utilización de la PEA.

Los resultados de la utilización de un Modelo de Corrección de Errores, estimado mediante regresiones aparentemente no relacionadas nos permiten afirmar que la evidencia es consistente para la economía peruana en cuanto a las predicciones de la teoría de crecimiento endógeno y sus modelos de aplicación en series de tiempo. En ese orden de ideas, resulta que la variable de infraestructura de transporte, representada por la cantidad de kilómetros en la RVN, tiene un efecto positivo y de largo plazo en el crecimiento económico en el Perú. No obstante, este efecto es no persistente en el PBI per cápita, como se muestra en el análisis de impulso respuesta.

A partir de las estimaciones, la elasticidad infraestructura-producto (coeficiente de la infraestructura en la ecuación de cointegración) es de 0.488. Esto quiere decir que un incremento del 1% en la extensión de las carreteras es asociado con un cambio del PBI per cápita de 0.488%. Este efecto se materializa a través de los diversos programas de inversión, pública y privada, lo que se condice con el crecimiento de los niveles de gasto de capital y el incremento de los presupuestos desde 1950, de forma sostenida. Estos resultados son coherentes con los hallazgos de nuestra revisión de literatura empírica.

De esta forma, la elección de la variable de carretera pavimentada frente a otras variables de infraestructura resultó adecuada para la medición de su efecto de largo plazo en el crecimiento del PBI per cápita.

Si bien los resultados pueden ser contrastados y estar sujetos a discusiones empíricas, esto se debe a la utilización de información de variables macroeconómicas o agregadas. De esta forma, es razonable considerar que la metodología empleada es adecuada y se condice con los resultados encontrados para otros ámbitos y periodos de estudio.

9. Inferencias de política económica

En la actualidad es vigente el debate sobre la cuestión de si existe la suficiente amplitud de los beneficios económicos provenientes de las inversiones en infraestructura de transportes (OECD, 2007). Este debate se genera entre los investigadores que buscan resultados certeros en metodologías de identificación y medición de los beneficios, en comparación con aquellos formuladores de políticas que buscan sustentar determinadas medidas de inversión que impulsen el crecimiento de la economía.

Los resultados en cuanto a la relación de largo plazo entre la infraestructura vial y el crecimiento del producto permiten deducir que la economía peruana aún no alcanzó el óptimo en la oferta de carreteras, lo que se condice con la evidencia de la existencia de brechas en las inversiones de infraestructura. Por lo tanto, resultan importantes las políticas de promoción de inversión con participación privada, el planeamiento de inversiones mediante esquemas de obra pública y, en general, el impulso hacia un desarrollo regional de infraestructura, en vista de que bajo esta perspectiva se busca incrementar la productividad de la economía en el largo plazo.

No solo eso, además, los retrasos en proyectos de infraestructura de considerable nivel de inversión tienen un efecto no solo en el corto plazo, si no que impactan en el crecimiento de largo plazo de la economía (IMF, 2014). En la realidad nacional, la problemática es también asociada con una deficiencia en la elaboración de los estudios de pre-inversión, lo que deviene en cuestionamientos sobre la calidad de los proyectos.

Así también, las políticas de inversión en infraestructura de transporte deben considerar infraestructura complementaria (por sus menores montos de inversión puede ser impulsada mediante mecanismos de Obras por Impuestos), debido a que los países menos desarrollados cuentan con menos desarrollo de redes de infraestructura (Straub *et al.*, 2008). Más aun, en estos países los resultados de la elasticidad infraestructura-producto muestran mayor robustez en comparación con aquellos países desarrollados.

Por lo tanto, los resultados de nuestra investigación deben ser tomados en cuenta en aquellos sectores de la gestión de proyectos de infraestructura de servicios públicos, con el fin de que los evaluadores cuenten con los criterios suficientes en la sustentación de las políticas de ejecución de proyectos que impulsen la economía.

De forma similar, la inversión privada debe considerar los resultados de nuestra investigación debido a que los presupuestos en la programación de inversiones se traducirá en paquetes de proyectos por subastarse, en los cuales la variable de interés será la tasa de retorno de la inversión. Así, mediante inversión privada y los diversos esquemas de participación se puede alcanzar un nivel de eficiencia en el largo plazo en cuanto a las redes de transporte por carretera.



Referencias

- Alarcón, D., & Reyna, J. (2019). *Estudios sobre plataformas logísticas en la Red Vial Nacional: Centros de Servicios al Transportista (Truck Center)*. Lima: MTC.
- Allroggen, F., & Malina, R. (2014). Do the regional growth effects of air transport differ among airports? *Journal of Air Transport Management*, 1 - 4.
- Aschauer, D. A. (1989). Is Public Expenditure Productive? *Journal of Monetary Economics*, 177-200.
- Banco Mundial. (22 de setiembre de 2017). *Banco Mundial*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/transport/overview#1>
- Barro, R. (1990). Government Spending in a Simple Model of Endogeneous Growth. *Journal of Political Economy*, 103-125.
- Bougheas, S., Demetriades, P., & Mamuneas, T. (2000). Infrastructure, Specialization, and Economic Growth. *The Canadian Journal of Economics*, 506 - 522.
- Calderon, C., & Servén, L. (2003). El costo en producto de la brecha de infraestructura en América Latina.
- Calderón, C., & Servén, L. (2004). *The Effects of Infrastructure Development on Growth and Income Distribution*. Banco Mundial.
- Canning, D. (1998). A Database of World Stocks of Infrastructure, 1950-95. *The World Bank Economic Review*, 12(3), 529 - 547.
- Canning, D. (1999). Infrastructure's Contribution to Aggregate Output. *Policy Research Working Paper*.
- Canning, D., & Bennathan, E. (2000). The Social Rate of Return on Infrastructure Investments. *The World Bank*.
- Canning, D., & Pedroni, P. (1999). Infrastructure and Long Run Economic Growth. *Center for Analytical Economics*.
- Canning, D., & Pedroni, P. (2004). The Effect of Infrastructure on Long Run Economic Growth.
- Castillo, P., Montoro, C., & Tuesta, V. (2007). Hechos estilizados de la economía peruana. *Estudios Económicos*, 14, 33 - 75.

- Dávalos, J., Montaud, J.-M., & Pecastaing, N. (2019). Potencial effects of scaling-up infrastructure in Peru: a general equilibrium model-based analysis. *Center for the Analysis of Trade and economic Transitions*.
- de Rus, G., Campos, J., & Nombela, G. (2003). *Economía del Transporte*. Barcelona: Antoni Bosch.
- Demetriades, P., & Mamuneas, T. (2000). Intertemporal Output and Employment Effects of Public Infrastructure Capital: Evidence from 12 OECD Economies. *The Economic Journal*, 687 - 712.
- Devarajan, S., Swaroop, V., & Zou, H.-F. (1996). The composition of public expenditure and economic growth. *Journal of Monetary Economics*, 313 - 344.
- Enders, W. (2015). *Applied econometric time series*. Alabama: Wiley.
- Engle, R., & Granger, W. (1987). Co-integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica*, 151 - 276.
- Esfahani, H. S., & Ramírez, M. T. (2003). Institutions, infrastructure, and economic growth. *Journal of Development Economics*, 443 - 477.
- Garcia-Milà, T., McGuire, T., & Porter, R. (1996). The Effect of Public Capital in State-Level Production Functions Reconsidered. *The Review of Economics and Statistics*, 177 - 180.
- Granger, C. (1981). Some properties of time series data and their use in econometric model specification. *Journal of Econometrics*, 121 - 130.
- INEI. (abril de 2021). Panorama de la Economía Peruana 1950 - 2020.
- International Monetary Fund. (Octubre de 2014). Is it time for an infrastructure push? The macroeconomic effects of public investment. *World Economic Outlook, Chapter 3*.
- Jiménez, F. (2010). Crecimiento Económico: Enfoques y Modelos. *Departamento de Economía PUCP*.
- Johansen, S., & Juselius, K. (1992). Identification of the Long-Run and the Short-Run Structure. An Application to the ISLM Model. *Institute of Mathematical Statistics*.
- Krugman, P. (1991). *Geography and Trade*. MIT Press.
- Krugman, P. (1991). Increasing Returns and Economic Geography. *Journal of Political Economy*, 483-499.

- Levine, R., & Renelt, D. (1992). A Sensitivity Analysis of Cross-Country Growth Regressions. *American Economic Review*, 82, 942 - 963.
- Lupano, J. (2013). *La infraestructura de transporte sostenible y su contribución a la igualdad en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Machado, R., & Toma, H. (2017). Crecimiento económico e infraestructura de transportes y comunicaciones en el Perú. *Economía*, XL(79), 9 - 46.
- MEF. (2019). Plan Nacional de Infraestructura para la Productividad.
- MINCETUR. (2020). *Plan estratégico nacional exportador 2025*. Lima.
- MTC. (2014). *Plan de los servicios logísticos de transporte*. Lima: Advanced Logistics Group - BID.
- Munnell, A. (1992). Infrastructure Investment and Economic Growth. *The Journal of Economic Perspective*, 189 - 198.
- OECD. (2007). Recent Evolution of Research into the Wider Economic Benefits of Transport Infrastructure Investments. *International Transport Forum, Discussion Paper No. 2007 - 9*.
- OSITRAN. (2018). Impacto de la inversión en aeropuertos en el desarrollo económico regional: Evidencia empírica de los aeropuertos. *Gerencia de Regulación y Estudios Económicos*.
- OSITRAN. (2020). *Anuario Estadístico 2019*. Lima.
- OSITRAN. (2020). *La causalidad entre el crecimiento económico y la expansión del transporte aéreo: un análisis empírico para Perú*. Jefatura de Contratos Aeroportuarios, Lima.
- Pedroni, P. (1995). Panel Cointegration Asymptotic and Finite Sample Properties of Pooled Time Series Tests, with an Application to the PPP Hypothesis. *Indiana University working papers in economics*.
- Romer, P. (1986). Increasing Returns and Long-Run Growth. *The Journal of Political Economy*, 1002-1037.
- Sahoo, S. (2003). Infrastructure and Economic Growth: An Empirical Examination. *Reserve Bank of India*.
- Sala-i-Martin, X. (2000). *Apuntes de crecimiento económico*. Barcelona: Antoni Bosch.

- Seminario, B., & Beltrán, A. (1998). Crecimiento económico en el Perú: 1896 -1995. Nuevas evidencias estadísticas. *Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico*.
- Stiglitz, J. (2000). *La economía del sector público*. Barcelona: Antoni Bosch.
- Straub, S., Vellutini, C., & Walters, M. (2008). Infrastructure and Economic Growth in East Asia. *Policy Research Working Paper*.
- Urrunaga, R., & Aparicio, C. (2012). Infraestructura y crecimiento económico en el Perú. *Revista CEPAL*(107), 157 - 177.
- Vásquez, A., & Bendezú, L. (2008). Medición del efecto de la inversión en infraestructura vial sobre el crecimiento económico agregado en el Perú. *Ensayos sobre el rol de la infraestructura vial en el crecimiento económico del Perú*, 23-75.



Anexos

Anexo 1: Especificación teórica del modelo

Consideremos una economía en la cual la provisión de infraestructura vial, entiéndase carreteras pavimentadas, son aprovechadas por los productores de bienes y servicios a través de los diferentes corredores logísticos del país y su creciente extensión hacia interior en busca de centros de producción. Es decir, es infraestructura de servicio público. Asimismo, esta infraestructura, por su origen, es financiada con recursos públicos provenientes de impuestos que se gestionan a través de proyectos de obra pública; o mediante esquemas de participación de inversión privada, conocidos como proyectos de APP.

Además, el modelo propuesto recoge como supuesto que el crecimiento económico es un efecto de la acumulación de los factores de producción, que permiten a través de la producción, el incremento del ingreso. En nuestro caso, la infraestructura de transportes, o carreteras que se extiende y acumula de manera creciente para un determinado período de tiempo.

La identificación de los determinantes de esta acumulación de factores de producción que se vinculan con el producto agregado resulta coherente si se asume una función en la cual el producto agregado, en determinado período, emplea inversión en infraestructura, capital privado y capital humano, como el trabajo. Esta función es de tipo Cobb-Douglas:

$$Y_t = A_t K_t^\alpha F_t^\beta L_{it}^{1-\alpha-\beta} \quad (6)$$

Donde A es la productividad total de factores, F es el capital de infraestructura, K es el capital privado, el capital humano es la fuerza laboral L , y t es el índice de tiempo.

De esta forma, en el siguiente período, $t + 1$, la infraestructura es una proporción de los ahorros totales. Es decir, podemos asumir que la infraestructura es una fracción del producto sY_t , de tal forma que el capital privado, en términos de inversión, se rige por la siguiente dinámica:

$$K_{t+1} = (1 - \psi_t) s Y_t \quad (7)$$

$$F_{t+1} = \psi_t s Y_t \quad (8)$$

De esta forma, considerando la participación de s , conseguimos representar el capital privado en términos de una proporción del producto, lo cual facilitará la derivación del modelo.

Si reemplazamos (7) y (8) en la función de producción (6), obtenemos la siguiente expresión en términos de la población:

$$\left(\frac{Y}{L}\right)_{t+1} = A_{t+1} s^{\alpha+\beta} (1 - \psi_t)^\alpha \psi_t^\beta \left(\frac{Y}{L}\right)_t^{\alpha+\beta} \left(\frac{L_t}{L_{t+1}}\right)^{\alpha+\beta} \quad (9)$$

Sin perjuicio de lo anterior, si aprovechamos el principio de exogeneidad de los procesos estocásticos en las series de tiempo, podemos asumir que la dinámica del cambio técnico es de la siguiente forma:

$$A_t = A_0 e^{\rho t + \varepsilon_t} \quad (10)$$

Tomando logaritmos sobre esta obtenemos:

$$a_t = a_0 + \rho t + \varepsilon_t \quad (11)$$

Donde $\varepsilon_t = \delta \varepsilon_{t-1} + w_t$ para $0 < \delta < 1$ y es una variable aleatoria estacionaria $iid(0, \sigma_w^2)$. Este punto es importante, debido a que determinará el planteamiento de la hipótesis de estimación. Nótese que la dinámica de la tecnología depende de una constante (a_0), una tendencia (ρ) y de un término aleatorio que será estacionario si $\delta < 1$, y no estacionario si $\delta = 1$.

Asimismo, también es posible suponer que la inversión dirigida a infraestructura es $\psi_t = \psi_0 + \mu_t$. En este contexto, consideramos que μ_t se comporta como una variable aleatoria $iid(0, \sigma_\mu^2)$.

De forma similar, podemos suponer que el crecimiento de la fuerza laboral se produce como:

$$\log\left(\frac{L_{t+1}}{L_t}\right) = \eta_0 + \eta_{t+1} \quad (12)$$

Donde η_t es una variable aleatoria $iid(0, \sigma_\eta^2)$.

A partir de los supuestos antes descritos, y reemplazando (11) y (12) en (9) tenemos una ecuación estocástica en diferencias y logaritmo¹:

$$y_{t+1} = b_t + (\alpha + \beta)y_t + \xi_{t+1} \quad (13)$$

Donde:

$$b_t = a_0 + \rho + \rho t + (\alpha + \beta)(\log s - \eta_0) \quad (14)$$

$$\xi_{t+1} = \varepsilon_{t+1} + \alpha \log(1 - \psi_0 - \mu_0) + \beta \log(\psi_0 + \mu_t) - (\alpha + \beta)\eta_{t+1} \quad (15)$$

Según esta última ecuación (15), la serie del producto y_t de la ecuación (13) contiene raíz unitaria si:

$$\delta = 1 \text{ con } \alpha + \beta < 1, \text{ o}$$

$$\delta < 1 \text{ con } \alpha + \beta = 1$$

Por lo tanto, alguna de estas condiciones debe comprobarse, de modo que se encuentre una explicación del comportamiento del PBI per cápita sobre la base de datos. De forma similar, para el caso de la acumulación de capital físico o infraestructura:

$$f_{t+1} = \log \psi_0 + \left(\frac{1}{\psi_0}\right)\mu_t + \log s + y_t + \zeta_{t+1} \quad (16)$$

Donde $\zeta_{t+1} = \left(\frac{1}{\psi_0}\right)\mu_t - \eta_{t+1}$

Entonces, lo anterior se puede reescribir como la ecuación principal por estimar:

$$-\Delta y_{t+1} + \zeta_{t+1} = f_{t+1} - \log \psi_0 - \log s - \eta_0 - y_{t+1} \quad (17)$$

De esta expresión podemos observar que si y_t presenta raíz unitaria, entonces Δy_t será estacionaria. Así, el modelo planteado conlleva a demostrar que tanto f_t como y_t cointegran mediante una combinación lineal de las variables, y que producen un término de error estacionario (Granger, 1981).

¹ Definimos $\log \left[\left(\frac{Y}{L} \right)_{t+1} \right] = y_{t+1}$

De acuerdo con lo anterior, los efectos de la inversión en infraestructura ζ_t sobre el crecimiento económico serían persistentes en el largo plazo. Así, el signo de este efecto dependerá de ψ_0 , y de si este factor maximiza el crecimiento. Además, se debe notar que el crecimiento esperado se maximiza cuando la participación promedio de la inversión en infraestructura se fija en un nivel ψ^* tal que maximiza parte de la expresión (13):

$$\alpha \log(1 - \psi_0 - \mu_t) + \beta \log(\psi_0 + \mu_t) \quad (18)$$

Por consiguiente, a partir de (13) y (17) es posible plantear las hipótesis de la sección 5 de Hipótesis. Finalmente, utilizando los resultados de (17) será factible la utilización de una forma simplificada del modelo de crecimiento a través de dos variables, esto se analiza en la sección de metodología.

El resumen de las combinaciones en las restricciones de los parámetros de las expresiones anteriores se resume en la siguiente tabla:

Tabla 18 Resumen de restricciones de parámetros de la especificación teórica del modelo de crecimiento

	$\delta = 1$ $\alpha + \beta < 1$	Existirá un comportamiento estacionario de primer orden para y_t, f_t
I.	$\delta < 1$ $\alpha + \beta = 1$	Existirá un vector de cointegración tal que la combinación lineal de (y_t, f_t) será estacionaria. Los efectos de la productividad a través de la tecnología serán positivos en el largo plazo sobre el producto y_t
II.	$\delta = 1$ $\alpha + \beta < 1$	Se cumple I y los <i>shocks</i> de la infraestructura ζ_t no tendrán un efecto de largo plazo sobre el producto y_t
III.	$\delta < 1$ $\alpha + \beta = 1$	Se cumple I y los <i>shocks</i> de la infraestructura ζ_t sí tendrán un efecto no nulo de largo plazo sobre el producto y_t Para <i>shocks</i> de infraestructura leves el signo del efecto será positivo si $\psi_0 < \psi^*$ y negativo si $\psi_0 > \psi^*$

Como se aprecia, nos interesa explorar la primera condición sobre si existe un vector de cointegración para la combinación de infraestructura y producto, y que sea significativo en su estimación; así como que los efectos de la tecnología sean positivos en el largo plazo.



Anexo 2: Parámetro para el efecto de largo plazo en el modelo

De acuerdo con la demostración matemática de Canning y Pedroni (1999) y Canning y Pedroni (2004), debemos partir de una matriz $\Delta Z_t = M(L)\varepsilon_t$ que represente la media móvil y estacionaria del conjunto de datos de la variable infraestructura y producto, en su primera diferencia $\Delta Z_t = (\Delta f_t, \Delta y_t)'$ en términos de los *shocks* de innovación $\varepsilon_t = (\varepsilon_{1t}, \varepsilon_{2t})'$, de tal forma que:

$$M(1) = \begin{bmatrix} M(1)_{11} & M(1)_{12} \\ M(1)_{21} & M(1)_{22} \end{bmatrix}$$

Representa la matriz de los efectos de largo plazo de los niveles de infraestructura y producto Z_t por los cambios en innovación ε_t . En la matriz se observa la relevancia del efecto en particular $M(1)_{21}$ el cual es el efecto de la infraestructura sobre el producto. En ese orden de ideas, debemos considerar el vector de ajuste de coeficientes $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2)'$, que de acuerdo con nuestro modelo propuesto de corrección de errores, implicaría que $M(1)_{21}\lambda_1 + M(1)_{22}\lambda_2 = 0$.

A partir de esta restricción de los parámetros de ajuste, tenemos que $M(1)_{21} = (-\lambda_2/\lambda_1) M(1)_{22}$ lo que implica que el ratio $-\lambda_2/\lambda_1$ deba tener el mismo signo que $M(1)_{21}$.

Anexo 3: Base de datos

Tabla 19 Variable de infraestructura vial: cantidad de kilómetros de carreteras pavimentadas, 1940 – 2020

Año	Cantidad	Año	Cantidad
1940	2056	1981	7214
1941	2208	1982	7178
1942	2333	1983	7178
1943	2389	1984	7206
1944	2589	1985	7325
1945	2594	1986	7459
1946	2610	1987	7500
1947	2651	1988	7459
1948	2679	1989	7484
1949	2724	1990	7564
1950	2793	1991	7459
1951	2760	1992	7624
1952	2727	1993	7624
1953	2695	1994	7624
1954	2973	1995	8356
1955	2973	1996	8565
1956	3630	1997	8993
1957	3942	1998	10188
1958	4098	1999	10189
1959	3523	2000	10573
1960	4089	2001	10745
1961	3987	2002	11044
1962	4061	2003	10038
1963	4340	2004	10569
1964	4207	2005	10779
1965	4334	2006	10959
1966	4547	2007	13640
1967	4683	2008	13638
1968	4869	2009	13932
1969	4683	2010	15313
1970	4873	2011	17214
1971	4935	2012	18699
1972	5016	2013	20357
1973	5017	2014	21766
1974	5017	2015	23769
1975	5385	2016	25293
1976	5538	2017	25966
1977	5695	2018	26916
1978	5857	2019	28769
1979	6256	2020	28964
1980	6317	2021	-

Fuente: Vásquez y Bendezú (2008), INEI y Oficina de Estadística del MTC (2020)

Tabla 20 Variable de infraestructura portuaria: cantidad de embarcaciones, 1982 – 2020

Año	Unidades
1982	64
1983	64
1984	58
1985	63
1986	57
1987	55
1988	53
1989	52
1990	51
1991	30
1992	34
1993	30
1994	32
1995	33
1996	35
1997	43
1998	57
1999	54
2000	60
2001	57
2002	83
2003	92
2004	92
2005	52
2006	60
2007	71
2008	52
2009	66
2010	79
2011	96
2012	123
2013	135
2014	144
2015	98
2016	169
2017	106
2018	121
2019	109
2020	103

Fuente: INEI, MTC

Tabla 21 Variable de infraestructura aeroportuaria: cantidad de aeronaves, 1981 – 2020

Año	Unidades
1981	223
1982	224
1983	198
1984	181
1985	167
1986	164
1987	177
1988	175
1989	182
1990	151
1991	177
1992	133
1993	227
1994	189
1995	129
1996	180
1997	179
1998	160
1999	125
2000	135
2001	143
2002	138
2003	157
2004	179
2005	179
2006	209
2007	225
2008	236
2009	257
2010	281
2011	283
2012	323
2013	334
2014	363
2015	372
2016	383
2017	355
2018	360
2019	381
2020	277

Fuente: INEI

Tabla 22 Variable de infraestructura ferroviaria: cantidad de vagones de carga, 1985 – 2020

Año	Unidades
1985	3487
1986	3438
1987	3792
1988	3806
1989	3804
1990	3230
1991	3228
1992	3216
1993	3124
1994	3138
1995	3049
1996	2962
1997	2909
1998	2989
1999	2596
2000	2616
2001	2457
2002	2675
2003	2719
2004	2719
2005	2346
2006	2375
2007	2401
2008	2409
2009	2283
2010	2212
2011	2174
2012	2205
2013	2208
2014	2154
2015	2154
2016	2315
2017	2254
2018	2242
2019	2304
2020	2284

Fuente: INEI

Tabla 23 Perú: PBI, 1950 – 2020

Año	PBI (Mill. USD)	Año	PBI (Mill. USD)
1940	-	1980	17492
1941	-	1981	21021
1942	-	1982	21100
1943	-	1983	16680
1944	-	1984	16967
1945	-	1985	14511
1946	-	1986	20349
1947	-	1987	27509
1948	-	1988	22525
1949	-	1989	25305
1950	1025	1990	29408
1951	1350	1991	33490
1952	1376	1992	35625
1953	1408	1993	34161
1954	1428	1994	42721
1955	1589	1995	51407
1956	1816	1996	53412
1957	1930	1997	56303
1958	1772	1998	54032
1959	1788	1999	48725
1960	2225	2000	50432
1961	2499	2001	51049
1962	2910	2002	53989
1963	3140	2003	58546
1964	3752	2004	66156
1965	4468	2005	74240
1966	5341	2006	87568
1967	4800	2007	102388
1968	4399	2008	121968
1969	4907	2009	121993
1970	6212	2010	149036
1971	6723	2011	171146
1972	7676	2012	193130
1973	9343	2013	202107
1974	11343	2014	202342
1975	13476	2015	191323
1976	13209	2016	194660
1977	12405	2017	214352
1978	10682	2018	225308
1979	14183	2019	230809

Fuente: INEI, BCRP

Tabla 24 Perú: Población proyectada, 1950 – 2020

Año	Población	Año	Población
1950	7632460	1984	19075874
1951	7826262	1986	19965797
1952	8025721	1987	20417262
1953	8232177	1988	20869717
1954	8446997	1989	21319883
1955	8671541	1990	21764515
1956	8904891	1991	22203931
1957	9146156	1992	22640305
1958	9396690	1993	23073150
1959	9657833	1994	23501974
1960	9930965	1995	23926300
1961	10217475	1996	24348132
1962	10516454	1997	24767794
1963	10825811	1998	25182269
1964	11143427	1999	25588546
1965	11467225	2000	25983588
1966	11796313	2001	26366533
1967	12132121	2002	26739379
1968	12475921	2003	27103457
1969	12829004	2004	27460073
1970	13192677	2005	27810540
1971	13567714	2006	28151443
1972	13953235	2007	28481901
1973	14348084	2008	28807034
1974	14751106	2009	29132013
1975	15161146	2010	29461933
1976	15580807	2011	29797694
1977	16010843	2012	30135875
1978	16447370	2013	30475144
1979	16886456	2014	30814175
1980	17324179	2015	31151643
1981	17760219	2016	31488625
1982	18197198	2017	31826018
1983	18635588	2018	32162184
2019	32495510	2020	32824358

Fuente: INEI

Tabla 25 Perú: Población Económicamente Activa^{1/}, 1940 – 2019

Año	PEA	Año	PEA
1940	2313507	1980	5033716
1941	2348338	1981	5189660
1942	2383170	1982	5349649
1943	2418001	1983	5509638
1944	2452832	1984	5669627
1945	2487663	1985	5829616
1946	2522495	1986	5989605
1947	2557326	1987	6149594
1948	2592157	1988	6309582
1949	2626989	1989	6469571
1950	2661820	1990	6629560
1951	2696651	1991	6789549
1952	2731482	1992	6949538
1953	2766314	1993	7109527
1954	2801145	1994	7269516
1955	2835976	1995	7429505
1956	2870808	1996	7589494
1957	2905639	1997	7749483
1958	2940470	1998	7909472
1959	2975301	1999	8069461
1960	3010133	2000	8229450
1961	3044964	2001	8389439
1962	3112345	2002	8549428
1963	3179727	2003	8709417
1964	3247108	2004	8869406
1965	3314490	2005	9029395
1966	3381871	2006	9189384
1967	3449253	2007	9349373
1968	3516634	2008	9509362
1969	3584016	2009	9669351
1970	3651397	2010	9829340
1971	3718779	2011	9989329
1972	3786160	2012	10149318
1973	3942104	2013	10309307
1974	4098049	2014	10469296
1975	4253993	2015	10629285
1976	4409938	2016	10789274
1977	4565882	2017	10949263
1978	4721827	2018	11109252
1979	4877771	2019	11269241

1/ Estimado

Fuente: INEI

Elaboración: Propia

Tabla 26 Variable de calidad: cantidad de carreteras pavimentadas sobre total de carreteras, 1950 – 2020

Año	Porcentaje	Año	Porcentaje
1950	7.8	1986	10.7
1951	8.6	1987	10.7
1952	9.7	1988	10.6
1953	11.1	1989	10.6
1954	12.2	1990	10.6
1955	12.2	1991	10.4
1956	9.7	1992	10.6
1957	10.1	1993	10.5
1958	10.3	1994	10.4
1959	9.5	1995	11.4
1960	12.1	1996	11.6
1961	10.9	1997	11.9
1962	10.6	1998	13.0
1963	10.7	1999	13.0
1964	10.1	2000	13.5
1965	10.1	2001	13.7
1966	10.0	2002	14.1
1967	9.9	2003	12.8
1968	9.7	2004	13.5
1969	9.8	2005	13.7
1970	9.7	2006	13.8
1971	9.6	2007	17.0
1972	9.6	2008	16.7
1973	9.5	2009	16.6
1974	9.3	2010	18.2
1975	9.8	2011	13.3
1976	9.9	2012	13.3
1977	10.0	2013	13.0
1978	10.2	2014	13.2
1979	10.7	2015	14.4
1980	10.2	2016	15.3
1981	11.0	2017	15.6
1982	10.9	2018	16.0
1983	10.9	2019	17.0
1984	10.6	2020	17.2
1985	10.7	2021	-

Fuente: Elaboración propia