

# CONTRIBUCIÓN HISTÓRICA DE LA INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL CRECIMIENTO ECONÓMICO, LA PRODUCCIÓN POR TRABAJADOR Y EL INGRESO PER CÁPITA EN COSTA RICA

## HISTORICAL CONTRIBUTION OF ROAD INFRASTRUCTURE INVESTMENT ON ECONOMIC GROWTH, PRODUCTION PER WORKER AND INCOME PER CAPITA IN COSTA RICA

Camilo Santa Cruz Camacho<sup>1</sup>

Mónicka Pérez Salas<sup>2</sup>

Recibido: 03/03/2023

Aprobado: 08/07/2024

### RESUMEN

En este estudio, se identificó si la inversión en infraestructura vial incide sobre el crecimiento económico en Costa Rica durante el período 1950-2017. Para ello, se construyó una función econométrica de crecimiento económico en logaritmos a nivel, en términos per cápita y por trabajador y en primeras diferencias, la cual incorpora al capital vial bajo el enfoque de un bien atmósfera que incide sobre la dinámica económica. Las estimaciones obtenidas sugieren un vínculo histórico importante entre este tipo de infraestructura y el crecimiento económico, en tanto, se detecta una elasticidad en la infraestructura vial sobre producción que fluctúa entre 0,12 y 0,21. Dicha evidencia refleja la relevancia histórica que ha desempeñado el capital vial como factor catalizador de la economía y la importancia de incrementar los niveles invertidos, así como la calidad de la inversión para acelerar el crecimiento económico. Finalmente, se proponen mejoras en la medición de la variable y futuras líneas investigativas.

*PALABRAS CLAVE:* PRODUCTIVIDAD, INVERSIÓN PÚBLICA, FORMACIÓN BRUTA DE CAPITAL, DESARROLLO ECONÓMICO, COMPETITIVIDAD, PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES (PTF), ECONOMÍA DEL TRANSPORTE.

*CLASIFICACIÓN JEL:* O4, R4

### ABSTRACT

This paper tests the hypothesis of investment in road infrastructure affecting the economic growth of Costa Rica, from 1950 to 2017. To prove this, an economic growth function was estimated which, in addition to labor, private capital and human capital as inputs, it incorporates road capital under the approach of an atmosphere good that affects the

---

1 FH Dortmund, iDial Institute; Código Postal: 44227; Dortmund, Alemania [camilocr710@outlook.es](mailto:camilocr710@outlook.es)  
Universität Duisburg Essen, Quantitative Methods Chair; Código Postal: D-47057; Duisburg, Alemania

2 Investigadora independiente; Heredia, Costa Rica; [monikpesa@hotmail.com](mailto:monikpesa@hotmail.com)

economic dynamics. Results show a significant historical relationship between road infrastructure and economic growth, with elasticity estimates ranging from 0.12 to 0.21. These findings highlight the importance of increasing both the level and quality of investments to boost economic growth. Finally, the study suggests improvements in measurement methods and identifies future research directions.

*KEYWORDS:* PRODUCTIVITY, PUBLIC INVESTMENT, GROSS CAPITAL FORMATION (GCF), ECONOMIC DEVELOPMENT, COMPETITIVENESS, TOTAL FACTOR PRODUCTIVITY (TFP), TRANSPORT ECONOMICS.

*JEL CLASSIFICATION:* O4, R4

## I. INTRODUCCIÓN

Bajo una perspectiva económica, un adecuado aprovisionamiento de servicios de infraestructura general e infraestructura vial en particular, se entienden como elementos habilitadores clave en el desarrollo de actividades productivas, así como en el acceso a mercados de trabajo y bienes de consumo en una sociedad.

De acuerdo con Pisu (2016), un mayor nivel de infraestructura suele asociarse con incrementos en la productividad de los insumos privados, al complementarse con el trabajo y el acervo (stock) de capital privado, así como contribuir a crear mayores oportunidades laborales y aumentar la inversión de dicho sector. También, incide sobre la calidad de vida de los habitantes, al reducirse los tiempos de viaje por tener mejores planes de infraestructura de transporte físico que integren el uso de las tierras y las políticas públicas. Por ende, la infraestructura vial puede impactar el nivel de productividad de los factores de producción privados, la reducción de los costos y el incremento sistémico de la productividad total de los factores, incidiendo en la producción nacional de un país.

Evaluar la calidad y cantidad de la infraestructura es notoriamente difícil, ya que no existen datos completos comparables a nivel internacional basados en criterios objetivos (Pisu et al., 2012). Sin embargo, sí se dispone de datos de encuestas sobre la calidad percibida de la infraestructura. Al tomarse estos como referencia, Costa Rica se ubica en el puesto 103 a nivel mundial. El país también está por debajo del promedio de América Latina para carreteras, puertos y ferrocarriles, aunque por encima para aeropuertos (Pisu, 2016, p. 27).

La infraestructura vial corresponde a un bien público, lo que supone generalmente estar a cargo y ser financiado por el Estado. La baja calidad, en general, de la infraestructura de transporte en el país es atribuible a la insuficiencia crónica de gastos agravada por una planificación estratégica deficiente y la falta de una visión a largo plazo para el sector (Pisu, 2016, p. 29). Por ejemplo, de 2002 a 2013, el gasto en infraestructura de transporte promedió un 0,8% del producto interno bruto (PIB); porcentaje menor que el promedio de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (Pisu, 2016, p. 29), y menor al promedio de América Latina que, para el 2006, de acuerdo con Loría y Umaña (2014), fue de 4,4% sobre del PIB. Además, el gasto ha sido irregular; ya que, en ausencia de un proceso presupuestario plurianual, la inversión pública en infraestructura de transporte se negocia todos los años y está sujeta a recortes (Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT], 2011, como se cita en Pisu, 2016, p. 29).

Parte de esta ineficacia en ampliar la infraestructura se debe a la fragmentación existente entre el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) e instituciones gubernamentales, en cuanto a la toma de decisiones y planeamiento (Pisu, 2016). Se cuenta con muchas instituciones que se dedican por separado a distintas funciones correspondientes a fases de un mismo proyecto. Esto deriva en una débil colaboración y planeación entre ellas, lo que implica procesos más largos en la construcción de carreteras (Pisu, 2016).

En efecto, dicha situación es expuesta por Loría y Umaña (2014), quienes develan el papel disperso de las instituciones. Por ejemplo, el MOPT y Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) ejecutan las obras, pero no siempre de forma coordinada. Por su parte, el Ministerio de Hacienda realiza el seguimiento físico y financiero, mas no el proceso de evaluación, el cual le corresponde al Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). Consecuentemente, la Contraloría General de la República (CGR) fiscaliza la legalidad de los procesos de contrataciones y el gasto, y el Banco Central de Costa Rica (BCCR) analiza las condiciones financieras de los empréstitos. Dicha dispersión imposibilita una coordinación institucional adecuada.

Asimismo, otra problemática que enfrenta el país es la ausencia de agencias que realicen análisis de costo-beneficio para mejorar la preparación y selección de proyectos (Pisu, 2016), contrario a otros países como Alemania (Stephan, 1997). Si la inversión en infraestructura vial es asignada eficientemente por gobiernos con base en estudios de costo-beneficio, entonces, se esperaría que esta tuviera un impacto positivo y significativo en la producción privada (Stephan, 1997, p. 2). Al respecto, la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 2018) afirma que es preciso que los proyectos se realicen siguiendo la lógica de costo-beneficio.

Por otra parte, de acuerdo con Ivankovich Escoto y Martínez Castillo (2020), en los últimos años, se ha procurado incrementar la inversión en infraestructura pública. No obstante, el país enfrenta un desafío importante por la baja capacidad de ejecución y los cuellos de botella institucionales que se traducen en tasas de inversión gubernamental muy deficientes.

A pesar de las deficiencias antes expuestas, de acuerdo con Loría y Martínez (2017), a la infraestructura se le adjudica amplio reconocimiento como pieza medular en el desarrollo económico. Es decir, la inversión en infraestructura en general y la infraestructura de transporte, en particular, han sido históricamente reconocidas como motores del crecimiento económico. En lo que respecta a la infraestructura vial, si bien existe coincidencia sobre la importancia que adquiere en la competitividad y desempeño económico de las naciones, la medición econométrica de la contribución económica para el caso particular de Costa Rica ha sido escasa.

Debido a lo anterior, en el presente estudio se procura identificar si la inversión en infraestructura vial incide sobre el crecimiento económico en Costa Rica, medido como el Producto Interno Bruto (PIB) en logaritmos a nivel, en términos de producto por trabajador y producción per cápita para el período 1950-2017. Para ello, se construye una función econométrica con mínimos cuadrados ordinarios (MCO) para estimar el crecimiento económico explicado por el trabajo, capital privado, capital humano, y se incorpora al capital vial (metros cuadrados de carretera construida e inversión en infraestructura vial) bajo el enfoque de bien atmósfera, el cual designa un factor productivo no remunerado; factor que según Stephan (1997), mejora la productividad total de los factores en una manera similar al progreso tecnológico, y el cual incide sobre la dinámica económica.

El artículo se compone de cuatro secciones. La primera consiste en exponer los argumentos teóricos que se le han atribuido a la infraestructura vial como determinante de los niveles de transacción económica. Además, se mencionan algunos estudios que capturan una correspondencia estadísticamente significativa entre la inversión o acumulación de capital vial y el nivel de actividad económica, así como los enfoques metodológicos utilizados.

En la segunda sección, se expone la propuesta metodológica, la cual consiste en la elaboración de un modelo de crecimiento económico que incorpora los factores: capital, trabajo, capital humano, y el capital vial. Por su parte, en la tercera, se encuentran los resultados, en los cuales se exponen las elasticidades estimadas con las variables a nivel, en términos por trabajador, per cápita y en primeras diferencias por trabajador. Consecuentemente, para el caso de las variables a nivel, se controla por rendimientos constantes a escala. Finalmente, el estudio concluye con una serie de recomendaciones e incógnitas que se presentan acerca del papel de la inversión en infraestructura vial en el desempeño económico del país.

## II. TEORÍA Y EVIDENCIA EMPÍRICA

### **Incidencia de la infraestructura de transporte en la dinámica económica**

Desde el inicio del estudio de los fenómenos económicos, al capital físico se le ha concedido un rol medular como determinante de las dinámicas productivas y de consumo de las sociedades. La infraestructura de transporte se enmarca en dichas atribuciones, pues niveles adecuados de generación de este tipo de capital pueden suponer una aceleración del flujo de transacciones y productividad sistémica de las economías, lo cual ejerce presión sobre el crecimiento económico.

Dentro de la literatura, existe un gran arsenal de formulaciones teóricas que procuran identificar los canales y mecanismos mediante los cuales la infraestructura de transporte repercute sobre el nivel de bienestar económico de las sociedades. A continuación, se mencionan algunas de ellas.

Aschauer (1989) sostiene que el capital público influye tanto directa como indirectamente sobre el nivel de producción privada. La influencia directa proviene de que las variaciones en el stock del capital público condicionan el nivel de producción privado, al incrementar o reducir la productividad de los factores de producción. Por otro lado, la influencia indirecta radica en que los cambios en el capital público alteran la productividad marginal de los factores y, con ello, las cantidades empleadas de insumos productivos.

Asimismo, Stephan (1997) menciona que las empresas utilizan insumos privados como el capital y el trabajo e insumos públicos. Entre los insumos públicos, se presenta la infraestructura pública, tal como las carreteras; las cuales son importantes para transporte de bienes finales e intermedios, así como de trabajadores. Por ello, el aumento en el stock de infraestructura vial incrementa la cantidad de bienes y servicios transados en una economía. de Rus (2002), en la misma línea que Stephan (1997), argumenta que las empresas demandan transporte para enviar o recibir bienes finales o intermedios; además, que los individuos requieren del transporte para trasladarse a sus lugares de trabajo, de recreación o para visitar a sus familiares.

Por otro lado, Rozas y Sánchez (2004), así como Sánchez et al. (2017), argumentan la importancia de la infraestructura en la integración del sistema económico, esencialmente, en economías orientadas al sector exportador. Unas redes adecuadas de infraestructura energética, transporte, telecomunicaciones, agua y saneamiento dinamizan las transacciones dentro de un espacio geográfico determinado y con el exterior. De igual forma, el Centre for Economics and Business Research (CEBR, 2016) reconoce el papel catalizador de la infraestructura de transporte para desatar los nudos hacia el desarrollo, en la medida que esta contribuye con la mejora de la productividad laboral, el acceso a la educación, al mercado laboral, así como al traslado de bienes y desarrollo de servicios.

Por su parte, Ferrari et al. (2018), al igual que de Rus (2002), mencionan que la infraestructura de transporte es esencial para facilitar la producción y el consumo de los agentes económicos. Dichos autores, siguiendo a Stephan (1997), explican que esta impacta de forma positiva en la productividad de los insumos productivos, reduciendo los costos de producción e incrementando la tasa de productividad total de los factores. De igual forma, indican que el objetivo de la infraestructura de transporte es acortar la distancia física y, por lo tanto, incentivar la actividad económica y las relaciones sociales entre áreas conectadas.

Por lo tanto, la literatura económica sitúa a la infraestructura de transporte como un factor productivo clave en la dinámica económica, pues juega un rol medular en el traslado de bienes y facilitación de servicios, tanto para consumo interno como para la exportación. También, conecta regiones, posibilitando el acceso de personas a los mercados de trabajo y convirtiendo a la fuerza laboral en una más flexible. Finalmente, esta dinámica repercute en un mayor crecimiento económico.

## **Literatura empírica**

De acuerdo con lo anterior, si bien los mecanismos que identifican al desarrollo de infraestructura de transporte como motor clave en la aceleración de las transacciones, el acceso a servicios, la integración territorial, la conexión de mercados internos y con el exterior, entre otras variables de la dinámica productiva, parecen contundentes, es menos claro el impacto que la inversión en infraestructura en general y, la de transporte en particular, contribuyen con la dinámica económica.

De acuerdo con Machado y Toma (2017) y Straub (2011), una gran cantidad de estudios para países como India, Estados Unidos o México encuentran una relación significativa entre este tipo de infraestructura y algún indicador de producción o productividad. No obstante, la magnitud en la que la inversión en infraestructura se traduce en crecimiento es muy diversa y divergente entre los diferentes estudios.

No existe una medida concluyente con respecto a la elasticidad obtenida como resultado en diversos estudios, pues estas difieren bastante entre sí. Rozas y Sánchez (2004), así como Sánchez et al. (2017), recolectaron cerca de 25 estudios internacionales en los que la elasticidad obtenida como resultado fluctúa entre 0,06 y 0,68. Consecuentemente, Machado y Toma (2017) compilaron 15 diferentes estudios en los que dicha magnitud presenta un rango entre 0,02 y 0,39. Esta condición, según Rozas y Sánchez (2004) y Sánchez et al. (2017), puede deberse a stocks de capital de infraestructura iniciales y calidad de infraestructura generada muy heterogéneos, así como al grado de conectividad entre diferentes países o regiones.

Por otra parte, Stephan (1997) estimó el impacto de la infraestructura vial sobre la producción privada del sector manufacturero, mediante una función de producción Cobb-Douglas. Se utilizaron datos de panel, de 1970 a 1993, del sector manufacturero alemán, de 11 estados de Alemania. Este estudio determina una elasticidad de 0,73 de la infraestructura vial sobre la producción manufacturera, de un 12% del capital y de un 0,81% del trabajo. Cabe destacar que la infraestructura vial es medida como el stock de capital neto, que se entiende como la cantidad neta de existencias (stock) de la infraestructura vial, la cual incluye aeropuertos, sistemas masivos de transporte, entre otros (Stephan, 1997).

La estimación rompe con el paradigma de rendimientos constantes a escala y solidifica su argumento de que la infraestructura vial funge como elemento catalizador de la economía de una forma similar a las variaciones tecnológicas.

Barzin et al. (2018), por su parte, construyen un pseudo-panel bajo el enfoque KLEMS, para verificar si el desarrollo de infraestructura vial en cada región colombiana durante el período 2000 – 2009 se asocia con tasas de crecimiento económico a nivel de firmas. Utilizan una función de producción Cobb-Douglas ampliada, en la cual le añaden el uso de energía (E), el uso de materias primas (M) y el capital vial (H). Además, utilizan variables contemporáneas y rezagadas, contemplando que la infraestructura pública tarda un período en incidir sobre el desempeño productivo privado. Este enfoque de rezagos también es utilizado por Santa Cruz Camacho (2022) para medir la contribución instantánea y rezagada de la infraestructura general en el crecimiento económico de Costa Rica.

En dicha estimación, Barzin et al. (2018) obtienen una elasticidad de la infraestructura vial generada en el período anterior de 0,156, mas no una relación significativa instantánea. Asimismo, recalcan que la elasticidad encontrada es mayor que otras, puesto que la incidencia de la infraestructura sobre el crecimiento se presupone mayor en países en vías de desarrollo, tal como lo menciona CEBR (2016).

A su vez, Vlahinić Lenz et al. (2018) construyen un panel para el período 1995-2016, en el que evalúan la incidencia de la inversión en infraestructura sobre el PIB para los países miembros de la Unión Europea. De dicho estudio se destaca que no utilizan una función de crecimiento como

tal, sino variables de control, entre ellas, la apertura comercial, la población y la infraestructura de trenes. En el estudio no estiman una elasticidad, sino una magnitud a nivel en la que encuentran que una variación de un kilómetro de carretera corresponde al aumento de 14,5 miles de euros.

Finalmente, Laborda y Sotelsek (2019) procuran comprobar la incidencia de la cantidad y calidad de la infraestructura vial sobre el desempeño económico, más en concreto, sobre el crecimiento (PIB), el desempleo y la PTF. En este estudio utilizan la variable independiente rezagada como variable de control y, la densidad y la calidad vial (infraestructura pavimentada) como explicativas.

Entre sus resultados identificaron una incidencia positiva de la infraestructura sobre la PTF en los países de bajo ingreso. Dicha lógica va de la mano con los hallazgos de Laborda y Sotelsek (2019), Vlahinić Lenz et al. (2018) o en las aseveraciones del CEBR (2016), en las que parece haber coincidencia en que los efectos de la infraestructura sobre el desempeño económico son mayores en naciones o regiones subdesarrolladas relativamente.

De lo anterior se identifica que distintos autores han realizado estudios econométricos procurando medir el impacto que tiene la infraestructura vial o de transporte en el crecimiento económico de regiones, nación o grupo de naciones determinadas. Sus métodos y variables varían entre sí. Aunque no se tenga un rango de elasticidad determinado, se puede inferir que, posiblemente, se debe a la composición de las economías bajo estudio (por ejemplo, qué tan intensivas son en producción de mercancías o servicios), así como a otros factores que no son medibles o tomados en cuenta, tal como el deterioro o uso de las carreteras en el caso de medición de las variables a nivel de stock.

Con respecto a estudios nacionales que verifiquen la incidencia de la infraestructura vial sobre el desempeño económico con evidencia econométrica, no se tiene registro a la hora de escribir este artículo. Dado lo anterior y de acuerdo con el conocimiento de los autores, el presente estudio supone ser el primero de su naturaleza para el caso de Costa Rica. Sin embargo, dos estudios recientes verifican la contribución económica de la infraestructura general sobre el crecimiento económico, los cuales corresponden a Esquivel Monge y Loaiza Marín (2018) y Santa Cruz Camacho (2022).

Esquivel Monge y Loaiza Marín (2018) utilizan un modelo econométrico con datos de panel dinámicos, donde comprueban una elasticidad de infraestructura, medida en términos monetarios, a producto por trabajador que fluctúa entre 0,23 y 0,29%. Por su parte, Santa Cruz Camacho (2022), en un modelo dinámico de rezagos distribuidos, estima una elasticidad de infraestructura por trabajador (medida en metros cuadrados construidos) a crecimiento económico de 0,28%, similar a la arrojada por Esquivel Monge y Loaiza Marín (2018). Dichos coeficientes suponen un punto de referencia, en la medida que se espera que el valor estimado de la contribución de la infraestructura vial sobre el crecimiento económico sea positiva y no supere los valores estimados de 0,28 y 0,29, respectivamente; en tanto, la infraestructura vial es un componente particular del acervo de infraestructura total.

### III. METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente estudio se emplean dos funciones producción de crecimiento económico, tipo MCO. Una de ellas (ecuación 1), incorpora, además de los factores productivos tradicionales –capital, trabajo, y capital humano–, al capital vial, mientras que la segunda solo contempla tres factores productivos y el capital vial se incorpora en la PTF (ecuación 2).

Las funciones base son las siguientes:

$$Q = f(A, K, L, KH, KT) \quad (1)$$

Y

$$Q = f(A, K, L, KH) \quad (2)$$

Con:  $A = BKT^Y$ ;  $Q = PIB$ ;  $K =$  capital;  $L =$  trabajo;  $KH =$  capital humano;  $KT =$  Capital de transporte vial. Es importante mencionar que  $A$  es nombrada estado tecnológico o productividad total de los factores (PTF), esta incorpora todos los demás factores que intervienen en el crecimiento económico, tal como la inversión en I+D, la calidad de las instituciones, entre otras.

Para las funciones propuestas, se toma como referencia Stephan (1997). Dentro de su enfoque, se distinguen dos importantes consideraciones tratadas a profundidad. Una parte del supuesto de que el capital de transporte (en este caso capital vial) se incorpora a la función de producción de la economía como un factor productivo remunerado.

El segundo enfoque no considera al capital de transporte como un factor remunerado, sino como un “bien atmósfera”, el cual mejora la productividad total de los factores en una manera similar al progreso tecnológico (Stephan, 1997). Este enfoque reconoce importantes efectos de escala en la producción y la creación de externalidades; pues, en el primer planteamiento econométrico, para doblar el nivel de producción, se requeriría de un incremento factorial del doble en todos los factores productivos (capital, trabajo y capital vial); mientras que, en este segundo planteamiento, solo se requeriría el doblamiento de los factores productivos capital y trabajo.

La ecuación 1 y 2 corresponden al total de la economía. Sin embargo, es importante mencionar que, para poder llegar al agregado, Stephan (1997), parte de una función de producción para la firma  $i$  y desarrolla ambos enfoques por separado, los cuales se exponen a continuación.

Para el primer enfoque se tiene la siguiente función, que corresponde a la función de producción para la firma  $i$ :

$$Q_i = A_i(t) f_i(KT_i, K_i, L_i) \quad (3)$$

Con:  $A_i =$  cambios en la producción derivados del progreso técnico;  $Q_i =$  producción de la empresa;  $K_i =$  capital privado de la empresa;  $L_i =$  trabajo de la empresa  $i$ ;  $KT_i =$  infraestructura vial (entiéndase como carreteras, aeropuertos, sistemas de tratamiento de aguas, entre otros).

La ecuación 4 se denota de esta forma:

$$Q_i = A_i(t) KT_i^{\beta_{KT}} K_i^{\beta_K} L_i^{\beta_L} \quad (4)$$

Al tomar como referencia el teorema de la agregación general, se toma llega a que la función de producción se transforma a la siguiente (Stephan, 1997),

$$F(\sum_1^n f_i(KT_i, K_i, L_i)) \quad (5)$$

La cual se transforma en la siguiente:

$$Q = A f(KT, K, L) \quad (6)$$

Tal que,

$$\text{Con: } Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (7)$$

$$L = \sum_{i=1}^n L_i \quad (8)$$

$$K = \sum_{i=1}^n K_i \quad (9)$$

$$KT = \sum_{i=1}^n KT_i \quad (10)$$

Por otra parte, para el segundo enfoque, donde se incorpora el bien atmósfera, Stephan asume que un cambio en  $KT$ , que corresponde al capital vial “actúa como un cambio neutral de Hicks de la función de producción” (Stephan, 1997, p. 7). La función de producción  $i$  de una sola empresa se convierte entonces en:

$$Q_i = A(KT, t) f_i(K_i, L_i) \quad (11)$$

“Nuevamente, el resultado de la agregación general implica que la función de producción agregada existe para Cobb-Douglas. Esta función agregada se puede escribir como” (Stephan, 1997, p. 7):

$$Q = A(KT, t) K^{\beta_K} L^{\beta_L} \quad (12)$$

Desafortunadamente, no es posible distinguir entre la “creación de atmósfera” y la contribución como bien no remunerado en la estimación econométrica, tal como lo mencionan Stephan (1997) y Ferrari et al. (2018). Siguiendo a Stephan (1997), se derivan ambos lados de la ecuación 12, con respecto a  $t$ , y se obtiene la ecuación 13, donde el punto encima de las variables corresponde a la derivada logarítmica con respecto al tiempo (ejemplo:  $\dot{Y} = \frac{d \ln}{dt}$ ), mientras que  $\epsilon_K$  y  $\epsilon_L$  representan las elasticidades de la producción, con respecto al capital y el trabajo respectivamente.

$$\dot{Q} = \dot{A}(KT, t) + \epsilon_K \dot{K} + \epsilon_L \dot{L} \quad (13)$$

Según Stephan (1997), “siguiendo el marco de Hulten y Schwab (1991),  $\dot{A}(KT, t)$ , puede ser dividido en dos componentes” (p. 7), tal que se tiene la ecuación 14, donde  $\dot{A}^*$  “es la tasa de crecimiento del verdadero término de la eficiencia Hicksiana, y  $\gamma$  es la elasticidad de  $A(KT, t)$  con respecto a  $KT$ ” (Stephan, 1997, p. 7).

$$\dot{A}(KT, t) = \dot{A}^* + \gamma \dot{K}T \quad (14)$$

$$\dot{A}(KT, t) \equiv T\dot{F}P \quad (15)$$

Con  $T\dot{F}P$  = crecimiento total de la productividad total de los factores

Si los factores de producción se pagan de acuerdo con el valor del PMg., se tiene que las elasticidades en la ecuación 13 son equivalentes a la participación de los costos (Stephan, 1997):

$$s_K = \frac{p_K * K}{p_q * q} \text{ y } s_L = \frac{p_L * L}{p_q * q}$$

Con  $s_K$  = peso del capital en la composición total del producto;  $s_L$  = peso del trabajo en la composición total del producto,  $p_q$  = precio de la producción,  $p_K$  = precio del capital y  $p_L$  = precio del trabajo.



Considerando a  $s_K$  y  $s_L$ , se tiene:

$$T\dot{F}P = \dot{Q} - s_K\dot{K} - s_L\dot{L} \quad (16)$$

“La estimación de  $\gamma$  puede ser basada en la siguiente ecuación” (Stephan, 1997, p. 8).

$$T\dot{F}P = \dot{A} + \gamma\dot{K}T + \varepsilon \quad (17)$$

Sin embargo, al incorporar  $\dot{K}T$  a la ecuación,  $\gamma$  no puede ser estimado usando la ecuación anterior (17), por lo que es necesario agregar el término  $\varepsilon_{KT}\dot{K}T$ , a la ecuación 13, obteniéndose así la ecuación 18. Esto implica que la ecuación 17, al considerar la 18, se transforma en la 19.

$$\dot{Q} = \dot{A}(KT) + \varepsilon_{KT}\dot{K}T + \varepsilon_K\dot{K} + \varepsilon_L\dot{L} \quad (18)$$

$$T\dot{F}P = \dot{A} + (\gamma + \varepsilon_{KT})\dot{K}T + \varepsilon \quad (19)$$

Por lo tanto, si se estima el parámetro  $\beta_{KT}$  dentro de la  $T\dot{F}P$ , se capturan ambos efectos de  $\dot{K}T$ , lo que representa  $\beta_{KT} = \gamma + \varepsilon_{KT}$  (Stephan, 1997). Es decir, la elasticidad de la infraestructura vial sobre el desempeño económico va a estar capturando tanto su incidencia directa como indirecta mediante el incremento de la  $T\dot{F}P$ .

### Fuentes de información

Para la instrumentación de la función de crecimiento, se recopiló una serie de tiempo, para los períodos 1950-2017, del PIB, stock de capital, nivel de empleo, población, capital humano (medido como años de escolaridad promedio) y del capital vial, extraídos del BCCR (s.f.), Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica (INEC, 2008), León Sánchez y Arroyo Blanco (2020) quienes los obtuvieron por medio del Instituto de Investigación en Ciencias Económicas (IICE), así como de Chaves Sánchez (2011), para el caso de la infraestructura vial en el año 1977. Dicho período permite efectuar una estimación robusta que dé cuenta de la contribución histórica que ha tenido la infraestructura vial en el crecimiento económico del país a lo largo de seis décadas.

Es importante resaltar que, para el caso de la serie temporal de la inversión real en infraestructura en carretera, no se encuentra disponible en términos reales, sino que solo está disponible en términos nominales. Por lo que, para la estimación real, se siguió este procedimiento: (Inversión nominal) / (PIB Nominal) \* PIB Real.

### PIB

Tal como lo establece el BCCR (s.f.), el PIB es la suma del valor total producido de bienes y servicios dentro de una economía en un tiempo determinado. Dicho indicador representa una de las medidas fundamentales a la hora de medir el bienestar económico de una sociedad. Por su parte, la serie temporal del PIB es tomada del estudio de Abarca Garro y Ramírez Varas (2016), quienes, a su vez, lo recolectan de las cuentas nacionales del BCCR.

### Stock de capital

Para la conformación de la serie del stock de capital, se toma en cuenta la formación bruta de capital fijo (FBKF) real con año base 1991 y para la estimación del capital inicial  $K_0$ , se considera

a Robles (2021) y Robles (2000), quienes establecen que la depreciación de esta es de un 8% para maquinaria y equipo, así como de un 2,5% para nueva construcción.

El autor expone la siguiente fórmula para calcularlo:

$$g = \frac{K_t}{K_{t-1}} \quad (20)$$

$$\text{Con: } K_0 = \frac{I_1}{g+\delta} \quad (21)$$

Y se asume que la tasa de crecimiento del capital inicial es igual a la del PIB.

De esta forma, el stock de capital para cada año queda conformado de la siguiente manera:

$$K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + I_t + KV_t \quad (22)$$

Donde  $KV$  = Capital vial

$I$  = Inversión

### Empleo y capital humano

Los datos de empleo (cantidad de personas ocupadas) y el capital humano, este último medido como años de escolaridad promedio de la población entre los 24 y los 66 años, son tomados del estudio de Abarca Garro y Ramírez Varas (2016), en el cual utilizan una metodología similar a la propuesta por Rodríguez-Clare et al. (2003) y Robles (2000), con el fin de completar los años para los que no se cuenta con una observación (1951-1962, 1964-1972 y 1974-1975):

$$\frac{L_{K+t}}{L_K} \quad (23)$$

La población ocupada cada año se aumenta en:  $\sqrt[t]{\frac{L_{K+t}}{L_K}}$ . Así, para un año  $i$  para el que no se tienen observaciones, la fórmula viene dada por:

$$L_i = L_{i-1} * \sqrt[t]{\frac{L_{K+t}}{L_K}} \quad (24)$$

La serie de empleo se complementa para los años faltantes con la base de datos del INEC: Poblaciones totales y tasas EHPM-ECE 1987-2017; mientras que la de capital humano se completa con las Encuestas Nacionales de Hogar (ENAH) para los períodos 2015-2017, en la cual se calcula la escolaridad promedio de la población mayor a 15 años.

### Infraestructura vial

Se utilizan dos variables en lo que respecta a la medición del capital vial del país, condición que fortalece los resultados del presente estudio, ya que se utilizan tanto mediciones físicas como

monetarias. La primera designa la extensión de carreteras, tomada de la base de datos construida por León Sánchez y Arroyo Blanco (2020) para el IICE de la Universidad de Costa Rica, como parte del proyecto Estadísticas: Proyecto de Historia Económica de Costa Rica en el siglo XX.

### **Inversión en infraestructura vial y capital vial**

La segunda es la inversión pública en infraestructura vial realizada para el mismo período, tomada del mismo proyecto; en la cual, para aproximar el capital vial acumulado en términos monetarios, se utiliza la misma fórmula del stock de capital general acumulado, con una depreciación del 2,5%, correspondiente al coeficiente asignado para el caso de la cuenta de construcción.

Es preciso resaltar que dichas cifras son reportadas en términos nominales, por lo que, para convertirlas a nivel real, de acuerdo con el PIB base 1991, se realiza el siguiente cálculo:

$$\frac{\text{Inversión nominal en carretera}_t}{Q \text{ nominal}_t} = \rho_t \quad (25)$$

Con  $Q = \text{PIB nominal}$

$$\rho_t \text{ PIB real}_t = \text{Inversión real en carretera} = \text{IKV}_t \quad (26)$$

Ambas medidas cuentan con ventajas y desventajas. La ventaja de utilizar la medida de longitud de la infraestructura vial faculta observar el efecto o contribución que ha tenido una mayor cantidad de kilómetros de carretera sobre la economía; sin embargo, deja por fuera mejoras en la calidad de la infraestructura vial ya existente y el gasto de infraestructura para mantenimiento de las carreteras. Tampoco permite separar entre la FBKF (todos los tipos de capital y maquinaria) y la inversión realizada para contar con más metros reales de carretera (capital vial nuevo), puesto que una medida está dada en términos monetarios y otra en metros cuadrados. Dicha problemática puede llevar a un problema de doble contabilización del acervo de capital con el que ha contado históricamente el país.

La segunda variable se torna interesante en la medida que, al ser una magnitud monetaria, se pueden separar las contribuciones al crecimiento económico del stock de capital general y del capital vial. De igual forma, contempla inversiones llevadas a cabo para mejorar la infraestructura vial vigente. Por consiguiente, esta variable está incorporando tanto incrementos a nivel de cantidad (incremento factorial) como calidad (salto cualitativo), a pesar de que dicha separación no sea estrictamente observable.

La mayor desventaja que se detecta al trabajar con una medida monetaria es que, debido a las imperfecciones de este mercado, no necesariamente se estará reflejando el costo real de formar más infraestructura vial, sino un costo histórico que no responda al costo óptimo. No obstante, para validar o refutar dicha afirmación, se precisaría de un estudio adicional que mida el costo de la inversión en infraestructura vial en distintos países y que permita observar sobre cuáles niveles históricos de eficiencia se encuentra el país formando más y mejor infraestructura vial.

### **Períodos de crisis: década de los ochenta y crisis 2008**

En cuanto a los períodos de crisis, para algunas de las especificaciones funcionales contempladas, es necesario incorporar variables dicotómicas que reflejen los períodos crisis en los años ochenta y 2008. Para la primera, se utiliza una variable dicotómica para 1982, donde se produce

una caída del PIB del 7,2%, y se incorpora una variable dicotómica en el 2009, la cual captura la contracción que experimentó la economía nacional, debido a la crisis financiera que estalla en el 2008.

Cabe resaltar que la inclusión de estas variables en los modelos econométricos no resulta trascendental para la significancia estadística de la contribución al crecimiento económico de ninguno de los factores productivos. Se decide incorporarlas en las especificaciones, en primeras diferencias, únicamente para minimizar la varianza de los residuales y asegurar que se cumplan todas las propiedades estadísticas deseables en el modelo.

### Estrategia de estimación

Una vez expuesta la composición de las variables, se procede a estimar una función de crecimiento económico que, además de los factores productivos tradicionales, incorpore el capital vial. En consecuencia, se realizan cuatro estimaciones. Las primeras dos designan una medición del PIB en logaritmos a nivel explicado por el capital, el trabajo y el capital vial y en una de ellas se incorpora el capital humano. Esta queda de la siguiente forma, siguiendo un enfoque metodológico extendido del adoptado por Abarca Garro y Ramírez Varas (2016):

$$Q = AK^\alpha L^\beta KT^\gamma \quad (27)$$

$$Q = \ln(Q) + \ln(A) + \alpha \ln(K) + \beta \ln(L) + \gamma \ln(KT) \quad (28)$$

Para el período comprendido entre 1950 y 2017.

$$Q = AK^\alpha KH^\beta KT^\gamma \quad (29)$$

$$\ln(Q) = \ln(A) + \alpha \ln(K) + \beta \ln(KH) + \gamma \ln(KT) \quad (30)$$

Para el período comprendido entre 1950 y 2017.

Con la segunda especificación, se prueba la contribución económica del empleo ya ajustado por capital humano. Para las otras dos estimaciones, se procede a calcular el producto por trabajador y el producto per cápita explicado por los factores productivos capital y capital vial, por trabajador y per cápita, respectivamente.

$$q = ak^\alpha (kt)^\gamma \quad (31)$$

$$\ln(q) = \ln(a) + \alpha \ln(k) + \gamma \ln(kt) \quad (32)$$

con:  $k$  = capital

$kt$  = capital vial

$$\text{con: } kt = \frac{KT}{L}, k = \frac{K}{L}, a = \frac{A}{L}, q = \frac{Q}{L} \quad (33)$$

Con  $L$  = Trabajo

$$\text{con: } kt = \frac{KT}{N}, k = \frac{K}{N}, a = \frac{A}{N}, q = \frac{Q}{N} \quad (34)$$

Con  $N$  = Población

Por último, se decide correr una especificación en primeras diferencias para anular problemáticas asociadas con la multicolinealidad existente, en especial, entre los factores productivos trabajo y capital general, así como de estacionariedad de las series temporales; la no estacionariedad de las series puede sobreestimar la contribución de los factores productivos al crecimiento económico en caso que estos sigan una tendencia similar a la del PIB y conducir, por ende, a posibles correlaciones espuria. Al trabajar con las series en primeras diferencias, se elimina la tendencia de estas, por ende, tanto la media como su varianza no son funciones del tiempo. Una vez anulada la tendencia de ambas series, se incrementa la posibilidad de que la variabilidad del crecimiento económico sea producto de una relación de causalidad o incidencia de las variables explicativas sobre este y no debido a una tendencia común a lo largo del tiempo, dicha condición es clave para que se logre identificar de manera efectiva la medida en la que el stock de capital incide sobre la economía.

En caso de que se detecten reacciones del crecimiento económico ante cambios marginales en el stock de capital vial, una vez controlando por stock de capital, estos son guiados por una relación de causalidad o incidencia y no por variaciones a lo largo del tiempo entre variables.

$$\Delta \ln(q) = \Delta \ln(a) + \alpha \Delta \ln(k) + \gamma \Delta \ln(kt) \quad (35)$$

Los factores inflacionarios de las regresiones, que representan la multicolinealidad, se presentan en la sección de Anexos, desde el Cuadro A1 hasta el Cuadro A6. Por ejemplo, véase el cuadro A5, donde el elevado nivel de multicolinealidad que presentan las variables en las regresiones a nivel, esencialmente en el caso del capital general y el empleo que general que muestran una asociación muy fuerte, es prácticamente anulado con las especificaciones a nivel per cápita y por trabajador y a nivel per cápita y por trabajador en primeras diferencias, lo que sin duda presenta una mejora en la especificación econométrica.

Asimismo, para el caso de la estabilización de las series, se puede observar en el cuadro A6 con la prueba de raíz unitaria, que en primeras diferencias las series se convierten en estacionarias, condición que permite reducir una eventual correlación espuria entre inversión en infraestructura vial y crecimiento económico en la medida que la trayectoria de ambas variables ya no depende del tiempo.

En los cuadros A7 y A8, se presentan las pruebas de autocorrelación entre los residuos y la varianza de estos. Como se puede observar de manera clara en las especificaciones con las variables por trabajador y en primeras diferencias, las regresiones muestran las propiedades teóricas econométricas deseadas, con evidencia de autocorrelación nula entre residuos y una distribución uniforme de los residuales a lo largo de siete décadas.

De igual forma, en el cuadro A9 se presenta la prueba de homocedasticidad, cuyos valores indican que la varianza de los residuales es constante porque los valores del p-value son mayores a 0,05; mientras que en el cuadro A10 se presentan las matrices de varianza – covarianza, lo cual permite apreciar la covarianza casi nula entre las variables explicativas.

Seguidamente, en el gráfico A1 se muestra la tendencia de los residuales de la PTF y en el gráfico A2 la tendencia del PIB por trabajador y el capital vial por trabajador, en primeras diferencias logarítmicas. Por su parte, en el gráfico A3 y A4 se muestra la prueba de estabilidad de parámetros, en la cual se cuenta con evidencia para rechazar la condición de cambio estructural cuando la regresión se especifica en primeras diferencias. Por último, los gráficos A5 y A6 muestran la productividad total de los factores (PTF) recalculada una vez se endogeneiza las contribuciones del capital vial separado del capital general.

## IV. RESULTADOS

### Crecimiento económico

El PIB de Costa Rica presentó una tasa de crecimiento promedio anual del 5% desde 1950 al 2017, siendo de los períodos con mayor crecimiento el comprendido entre 1950 y 1979. Asimismo, las variables empleo (L), capital humano (KH), stock de capital ajustado, metros cuadrados (M2) de carretera y stock de capital vial (capital vial), crecieron de manera anual, en promedio, un 3,1%, 3,2%, 5%, 6,7% y 6,2%, respectivamente, desde 1950–2017.

Al contemplarse un período de una tasa promedio anual de 10 años, de 1951 al 2017, la tasa de crecimiento promedio anual más alta del PIB y el stock de capital vial se presentaron en la década de 1951 a 1960, con ritmos de crecimiento de un 7,28% y 13,85%, respectivamente.

Después, en la década de 1961 a 1970, se presenta la mayor tasa de crecimiento en cantidad de metros cuadrados de carretera, siendo esta de un 30,83%. Esto corrobora, con datos, lo afirmado por Loría y Umaña (2014); en la etapa anterior a la crisis de los ochenta, se invirtieron importantes recursos para alcanzar una red vial robusta; sin embargo, las restricciones financieras poscrisis imposibilitaron recobrar los niveles de inversión antes de esta.

De igual forma, para el período 1971–1980, el capital humano y stock de capital ajustado presentan su tasa de crecimiento promedio anual más alta, con un 4,72% y 7,26%, respectivamente. Por su parte, la tasa más alta en el empleo se da en el período 1991 al 2000. Nótese en el cuadro 1 que, para el período 2011 al 2017, tanto el stock de capital ajustado como la cantidad de metros cuadrados de carretera decrecieron, reflejando un estancamiento en la expansión de la infraestructura vial, y siendo esto motivo de posibles obstáculos a un mejor bienestar económico en la sociedad, por el menor alcance o cobertura en metros cuadrados de carretera.

Cuadro 1

Costa Rica: tasa de crecimiento promedio de los factores productivos durante las décadas del 1951 al 2017, participación porcentual de la inversión en infraestructura en el PIB y tasa de crecimiento promedio de 1951 al 2017

| Período     | PIB  | Empleo | KH   | Stock de capital <sup>1</sup> | M2 de carretera | Inversión en infraestructura vial / PIB | Stock de capital vial |
|-------------|------|--------|------|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------------|-----------------------|
| 1951 - 1960 | 7,3% | 2,4%   | 2,4% | 3,2%                          | 6,0%            | 1,26%                                   | 13,9%                 |
| 1961 - 1970 | 6,0% | 3,5%   | 3,6% | 5,5%                          | 30,8%           | 1,00%                                   | 6,0%                  |
| 1971 - 1980 | 5,7% | 4,2%   | 4,7% | 7,7%                          | 3,3%            | 1,25%                                   | 7,5%                  |
| 1981 - 1990 | 2,6% | 3,5%   | 3,1% | 3,4%                          | 2,4%            | 1,28%                                   | 4,7%                  |
| 1991 - 2000 | 5,3% | 4,3%   | 4,5% | 5,3%                          | 0,1%            | 0,32%                                   | 0,1%                  |
| 2001 - 2010 | 4,4% | 2,2%   | 1,4% | 5,1%                          | 1,1%            | 0,83%                                   | 5,7%                  |
| 2011 - 2017 | 4,0% | 1,5%   | 2,6% | 5,3%                          | 1,5%            | 1,09%                                   | 5,4%                  |
| 1951 - 2017 | 5,1% | 3,1%   | 3,2% | 5,1%                          | 6,7%            | 0,977%                                  | 6,2%                  |

1/ Corresponde a stock de capital ajustado (stock de capital descontando el stock de capital vial).

Fuente: elaboración propia con datos de Abarca Garro y Ramírez Varas (2016); BCCR (s.f.); INEC (2008); León Sánchez y Arroyo Blanco (2020).

### Función de producción con capital vial

A continuación, se presentan las elasticidades estimadas. Como puede observarse en el cuadro 2, cuando se incorpora únicamente la variable de capital vial medida como longitud y no como acervo de capital vial, en términos monetarios, la elasticidad estimada fluctúa entre 0,136 y 0,14; lo

que indica que un incremento de un 1% de mayor red vial en el país se ha traducido históricamente en un incremento promedio de 0,14% en el crecimiento económico.

Al incorporar la variable como capital vial acumulado, el valor de la elasticidad adquiere una mayor magnitud, lo cual resulta congruente en la medida que, como se menciona anteriormente, por definición, esta variable contiene no solo la inversión dedicada a construir mayor cantidad de carreteras, sino también la inversión destinada a incrementar la calidad y el mantenimiento de estas, aunque los efectos no sean estrictamente separables.

La elasticidad estimada del capital vial toma, por tanto, un valor que fluctúa entre 0,21% y 0,22%, lo que estaría indicando que un incremento de un 1% en la inversión de infraestructura vial se traduciría históricamente en un incremento de 0,22% en el PIB.

Otro de los aspectos que puede vislumbrarse en el cuadro 2 es la repartición de la contribución de los factores, la cual resulta similar a estimaciones previas como la de Abarca Garro y Ramírez Varas (2016) o Robles (2021). En este caso, al realizarse una separación entre el capital vial y todos los demás tipos, se muestra que la representación que tiene el capital general en la composición del PIB adquiere un valor de 0,38 y el empleo de 0,45. Además, al ajustar el nivel de empleo con capital humano, la participación relativa de este asciende a 0,5, lo que indicaría que el KH (trabajo no simple) tiene una importancia modesta sobre el crecimiento económico de alrededor de 0,05%.

Sin duda, la estimación arrojada es clara, al mostrar evidencia de que, en la medida que el país fue aumentando su capacidad vial, a estos incrementos en la dotación de infraestructura vial le correspondieron incrementos en el nivel de producción de la nación. Por ejemplo, mediante la conexión de periferias con los centros de aglomeración económica, esencialmente la GAM, o la construcción de vías para el traslado de mercancías de forma más acelerada, tanto para el mercado interno como hacia los puertos, aeropuertos y hacia las fronteras en forma de producto exportable.

No obstante, el no contar con una medida generalizada en la literatura en la que la infraestructura vial se traduce en crecimiento económico, se imposibilita conocer si el desarrollo de esta ha estado por debajo de su potencial; es decir, si la infraestructura vial podría haber generado contrafactualmente más crecimiento económico con respecto al que se detecta con base en la evidencia.

La presente estimación también rompe con los supuestos de rendimientos constantes a escala, hecho que la literatura le atribuye a la infraestructura vial (Stephan, 1997); pues esta, al funcionar como factor habilitador de las actividades económicas, puede acelerar procesos productivos como la innovación.

En la primera estimación, la correspondiente al trabajo como factor simple, las contribuciones del factor trabajo y el capital muestran una medida de 0,98, cercana al  $\alpha + \beta = 1$ , mientras que el capital vial con una medida de 0,22 actúa como acelerador del crecimiento económico rompiendo dicho supuesto.

$$Q = AK^{0,561}L^{0,382}KT^{\epsilon_{kt}} \quad (36)$$

$$Q = AK^{0,60}KL^{0,31}KT^{\epsilon_{kt}} \quad (37)$$

$$Q = AK^{0,58}KHL^{0,33}KT^{\epsilon_{kt}} \quad (38)$$

$$Q = AK^{0,39}KL^{0,45}KT^{\epsilon_{kt}} \quad (39)$$

$$Q = AK^{0,36}KHL^{0,51}KT^{\epsilon_{kt}} \quad (40)$$

Sin embargo, al efectuar una regresión restringiendo los coeficientes a rendimientos constantes a escala ( $\beta_K + \beta_L + \beta_{KV} = 1$ ), tal como Machado y Toma (2017) y Gaus y Link (2020),

no se rechaza la hipótesis de rendimientos constantes. La elasticidad estimada para el capital es de 0,52 y la del empleo de 0,25, mientras que la de infraestructura vial mantiene un valor casi constante de 0,219, tal como se muestra en el cuadro A1 de los anexos.

El incorporar al capital humano no modifica prácticamente los resultados, lo cual no es extraño, en la medida que otros trabajos similares ya mencionados han medido una contribución moderada del capital humano en el desempeño económico.

CUADRO 2  
ELASTICIDADES ESTIMADAS A NIVEL CON LAS VARIABLES A NIVEL

| Dependent variable            | log(PIB)<br>1       | log(PIB)<br>2       | log(PIB)<br>3       | log(PIB)<br>4       | log(PIB)<br>5       |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| log(Capital)                  | 0,561***<br>(0,123) |                     |                     |                     |                     |
| log(K_ajustado)               |                     | 0,597***<br>(0,124) | 0,587***<br>(0,115) | 0,389***<br>(0,140) | 0,364***<br>(0,125) |
| log(Empleo)                   | 0,382**<br>(0,178)  | 0,310*<br>(0,182)   |                     | 0,453**<br>(0,195)  |                     |
| log(KH)                       |                     |                     | 0,331*<br>(0,173)   |                     | 0,506***<br>(0,180) |
| log(Vial)                     | 0,137***<br>(0,018) | 0,142***<br>(0,018) | 0,137***<br>(0,017) |                     |                     |
| log (Capital vial)            |                     |                     |                     | 0,225***<br>(0,031) | 0,216***<br>(0,030) |
| Constant                      | -1,094<br>(0,732)   | -0,632<br>(0,782)   | -0,741<br>(0,752)   | -0,779<br>(0,824)   | -1,047<br>(0,778)   |
| Observations                  | 68                  | 68                  | 68                  | 68                  | 68                  |
| R2                            | 0,994               | 0,994               | 0,994               | 0,993               | 0,994               |
| Adjusted R2                   | 0,993               | 0,994               | 0,994               | 0,993               | 0,993               |
| Residual Std. Error (df = 64) | 0,076               | 0,075               | 0,074               | 0,078               | 0,077               |
| F Statistic (df = 3; 64)      | 3,365.865***        | 3,474.208***        | 3,515.436***        | 3,146.035***        | 3,261.799**         |

Nota:  $p < 0,1^*$ ;  $p < 0,05^{**}$ ;  $p < 0,01^{***}$

Fuente: elaboración propia.

### Producto por trabajador

De las estimaciones correspondientes a la especificación por trabajador, destaca que se mantienen casi constantes las elasticidades obtenidas, ya que una variación de un 1% en la longitud de carreteras por trabajador ocupado se traduce en un incremento de 0,13% en el producto por trabajador (véase el cuadro 3). Mientras que, a la hora de incorporar el capital vial por trabajador, dicha elasticidad asciende a 0,21, es decir, se obtienen estimaciones casi idénticas a las estimadas con la especificación del PIB a nivel, tal como se muestra en el cuadro 3. Sin embargo, tanto las estimaciones a nivel per cápita como nivel por trabajador resultan preferibles en términos de propiedades de series de tiempo, en la medida que, al controlar por población (total u ocupada), se suaviza la tendencia de las series minimizando problemáticas asociadas con posibles correlaciones espuria producto de que las series compartan una tendencia en común que no necesariamente se deba a una incidencia de la infraestructura vial sobre el crecimiento económico.



Otro punto por destacar de la especificación a nivel de trabajador es que la suma de los coeficientes es menor a 1 (0,85 y 0,72). Sin duda alguna, aparte del capital por trabajador y del capital vial por trabajador, esto indica la existencia de otras fuerzas que explican los cambios en el producto por trabajador (proxy de productividad laboral a lo largo del tiempo). Es decir, existen factores productivos exógenos que esclarecen las variaciones en el nivel de producto por trabajador y no se encuentran capturadas por el modelo. Además, estas devienen de todos aquellos factores que están asociados con el incremento en la productividad factorial y progreso tecnológico; excluyendo a la infraestructura vial por trabajador ya endogeneizada y el capital por trabajador.

$$q = ak^{0,72}kt^{\epsilon_{kt}} \quad (41)$$

$$q = ak^{0,52}kt^{\epsilon_{kt}} \quad (42)$$

Con:

$$\dot{q} = \dot{a}(kt, t) + \epsilon_{kt}\dot{k}t + \epsilon_k\dot{k} \quad (43)$$

$$\dot{q} = \dot{a}(kt, t) + \epsilon_{kt}\dot{k}t + 0,52\dot{k} \quad (44)$$

$$T\dot{F}P = \dot{a} + (\gamma + \epsilon_{kt})\dot{k}t + \epsilon \quad (45)$$

$$\beta_{KT} = \gamma + \epsilon_{kt} \quad (46)$$

$$0,218 = \gamma + \epsilon_{kt} \quad (47)$$

$$T\dot{F}P = \dot{a} + (0,218)\dot{k}t + \epsilon \quad (48)$$

CUADRO 3  
COSTA RICA: ELASTICIDADES ESTIMADAS A NIVEL DE PRODUCTO POR TRABAJADOR

| Dependent variable:           | log(PIBL)           | log(PIBL)           |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|
|                               | 1                   | 2                   |
| log(ViaL_L)                   | 0,131***<br>(0,018) |                     |
| log(KAL)                      | 0,721***<br>(0,029) | 0,523***<br>(0,042) |
| log(KViaL_L)                  |                     | 0,219***<br>(0,030) |
| Constant                      | -0,119<br>(0,073)   | 0,049<br>(0,086)    |
| Observations                  | 68                  | 68                  |
| R2                            | 0,928               | 0,924               |
| Adjusted R2                   | 0,925               | 0,921               |
| Residual Std. Error (df = 65) | 0,076               | 0,078               |
| F Statistic (df = 2; 65)      | 416,554***          | 392,410***          |

Nota: p<0,1\*; p<0,05\*\*; p<0,01\*\*\*  
Fuente: elaboración propia.

### PIB per cápita

Para el caso del producto per cápita, el coeficiente de capital vial por persona adquiere una medida de 0,12 y 0,18, como puede observarse en el cuadro 4. Tanto la estimación de productividad laboral como de producto per cápita son reveladoras, pues muestran cómo los componentes asociados con el incremento en el nivel de producción por trabajador y a nivel de habitante no dependen únicamente de la acumulación de factores productivos, sino de elementos que vengán a incidir sobre el entramado productivo en forma de progreso tecnológico, entre ellos, los efectos externos que propician los incrementos en la dotación de infraestructura vial.

$$q = ak^{0,64}kt^{\varepsilon_{kt}} \quad (49)$$

$$\dot{q} = \dot{a}(kt, t) + \varepsilon_{kt}\dot{kt} \quad (50)$$

$$\dot{q} = \dot{a}(kt, t) + (0,64) \quad (51)$$

$$TFP = \dot{a} + (\gamma + \varepsilon_{kt})\dot{kt} + \varepsilon\beta_{KT} = \gamma + \varepsilon_{kt} \quad (52)$$

$$0,18 = \gamma + \varepsilon_{kt} \quad (53)$$

$$TFP = \dot{a} + (0,18)\dot{kt} + \varepsilon \quad (54)$$

CUADRO 4  
COSTA RICA: ELASTICIDADES ESTIMADAS A NIVEL DE PRODUCTO PER CÁPITA

| Dependent variable:           | log(PIBN)            | log(PIBN)            |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|
|                               | 1                    | 2                    |
| log(KN)                       | 0,780***<br>(0,022)  |                      |
| log(ViaL_N)                   | 0,123***<br>(0,019)  |                      |
| log(KAN)                      |                      | 0,640***<br>(0,034)  |
| log(KviaL_N)                  |                      | 0,182***<br>(0,030)  |
| Constant                      | -0,291***<br>(0,087) | -0,292***<br>(0,086) |
| Observations                  | 68                   | 68                   |
| R2                            | 0,968                | 0,967                |
| Adjusted R2                   | 0,967                | 0,966                |
| Residual Std. Error (df = 65) | 0,078                | 0,078                |
| F Statistic (df = 2; 65)      | 985,846***           | 952,489***           |

Nota: p<0,1\*; p<0,05\*\*; p<0,01\*\*\*

Fuente: elaboración propia.

Los modelos especificados anteriormente cumplen la mayoría de las propiedades deseables (media 0 y varianza constante de los residuales, factores inflacionarios cerca de 1 en las especificaciones a nivel de trabajador y per cápita, no autocorrelación entre los residuos, bondad de ajuste elevada). Asimismo, las estimaciones de las contribuciones de los factores productivos de las variables de control capital y trabajo resultan similares a las de Robles (2021) y Abarca Garro y Ramírez Varas (2016). Empero, las especificaciones anteriores no se controlan por estacionariedad

de las series temporales, lo cual resulta clave para verificar que no se estén efectuando inferencias sobre posibles correlaciones espuria en caso de que las series no estén integradas.

Para ello, también se opta por efectuar la regresión en logaritmos en primeras diferencias. Esta especificación, tal como lo menciona la Erasmus School of Economics (s.f.), representa una aproximación a la variación porcentual entre variables, por lo que en sí su interpretación resulta similar a las especificaciones en logaritmos, únicamente que en vez de porcentajes se utiliza puntos porcentuales.

Una vez anulada la tendencia de las series y controlando las crisis de 1982 y 2009, se logra verificar que la inversión en infraestructura vial sigue teniendo incidencia sobre el crecimiento económico; esta vez oscilando el valor entre 0,105 y 0,137 como puede apreciarse en el cuadro 5. Esto indica que un punto porcentual (pp) de incremento en la inversión en infraestructura por trabajador se traduce en un incremento de 0,10 pp en la producción por trabajador. Este coeficiente, si bien es más modesto que los anteriores, evita o minimiza el riesgo de inferir una relación sobreestimada entre capital vial y crecimiento económico.

CUADRO 5  
COSTA RICA: ELASTICIDADES ESTIMADAS EN PRIMERAS DIFERENCIAS

| Dependent variable: | diff(log(PIBL))       | diff(log(PIBL))        | diff(log(PIBL))       |
|---------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
|                     | 1                     | 2                      | 3                     |
| diff(log(KAL))      | 0,558***<br>(0,180)   | 0,380**<br>(0,174)     | 0,400**<br>(0,172)    |
| diff(log(KViaL_L))  | 0,137*<br>(0,072)     | 0,105<br>(0,066)       | 0,128*<br>(0,066)     |
| d2009               | -0,057<br>(0,035)     |                        | -0,054*<br>(0,032)    |
| d1982               |                       | -0,115***<br>(0,033)   | -0,113***<br>(0,032)  |
| Constant            | 0,005<br>(0,005)      | 0,010*<br>(0,005)      | 0,010*<br>(0,005)     |
| Observations        | 67                    | 67                     | 67                    |
| R2                  | 0,227                 | 0,326                  | 0,356                 |
| Adjusted R2         | 0,190                 | 0,294                  | 0,315                 |
| Residual Std. Error | 0,033 (df = 63)       | 0,031 (df = 63)        | 0,031 (df = 62)       |
| F Statistic         | 6,161*** (df = 3; 63) | 10,163*** (df = 3; 63) | 8,586*** (df = 4; 62) |

Nota: p<0,1\*; p<0,05\*\*; p<0,01\*\*\*

Fuente: elaboración propia.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La presente investigación ha tenido como primer objetivo identificar si la infraestructura vial ha contribuido históricamente con el crecimiento económico de Costa Rica y, en segundo lugar, medir la magnitud de la contribución efectiva que tiene este factor productivo sobre el desempeño económico. De acuerdo con las contribuciones teóricas que sitúan a la infraestructura vial como un factor clave en la dinámica económica, se esperaría que la inversión destinada a incrementar el capital vial se traduzca en mejor y mayor cantidad de metros en infraestructura vial, lo cual debería impactar positivamente el desarrollo y crecimiento económico de lugares, regiones o naciones. Como se ha podido corroborar en el presente ejercicio, para el caso de Costa Rica, se evidencia una incidencia positiva y significativa de la inversión en capital vial sobre el crecimiento económico del

país, presentándose así el primer acercamiento empírico que prueba dicho fenómeno para esta nación.

Al contemplar únicamente la variable de capital vial medida como longitud y no como acervo de capital en términos monetarios, la elasticidad estimada fluctúa entre 0,136 y 0,14, lo que indica que un incremento de un 1% de mayor red vial en el país se ha traducido históricamente en un incremento promedio de 0,14% en el crecimiento económico. Además, al incorporar la variable como *stock* de capital acumulado, el valor de la elasticidad adquiere una mayor magnitud, lo cual resulta congruente; por definición, esta variable contiene no solo la inversión dedicada a construir mayor cantidad de carreteras, sino también la inversión destinada a incrementar la calidad de estas y a su mantenimiento, aunque todos estos efectos no sean separables.

La elasticidad estimada del capital vial toma, por tanto, un valor que fluctúa entre 0,21% y 0,22%, lo que estaría indicando que un incremento de un 1% en la inversión de infraestructura vial se traduciría históricamente en un incremento de 0,22% del PIB.

Una vez se controlan las variables por estacionariedad, el valor de la contribución retorna a valores cercanos a los estimados, donde se contabiliza únicamente por longitud vial. Este valor se considera que es el más cercano a la realidad, puesto que la especificación cumple todas las propiedades deseables de un modelo econométrico, a la hora de no únicamente identificar direccionalidad de las variables, sino también de efectuar un ejercicio de inferencia.

Cabe mencionar que los valores de las elasticidades estimadas se encuentran dentro de los márgenes determinados por Esquivel Monge y Loaiza Marín (2018) y Santa Cruz Camacho (2022), quienes detectan un valor de 0,29 y 0,28, respectivamente. Esto resulta consistente, ya que la contribución de la infraestructura vial (una cuenta importante del acervo total de infraestructura) se espera presente un valor un tanto menor a la contribución del *stock* total de infraestructura.

A pesar de que se ha comprobado un vínculo de la inversión en infraestructura vial sobre el desempeño económico como positivo y significativo, queda la incógnita de si la magnitud de la contribución es tan alta como debería ser. Dadas las falencias operacionales y administrativas de las instituciones que han sido señaladas, la cantidad de recursos destinados podrían no estar coincidiendo con el posible impacto económico que podría estar teniendo sobre la economía, el cual debería ser mayor, si no existiesen estas debilidades e ineficiencia en el manejo de los recursos.

Para ello, se precisaría de un estudio de una naturaleza similar, pero que centrara su atención en el costo de producción que el país tiene para la formación de capital vial y una comparativa de su desempeño con respecto a otros países, con el fin de verificar la capacidad que tiene el país de que cada colón invertido en infraestructura vial se transforme en crecimiento económico, de manera comparativa con otras naciones. Para ello, sería oportuno aplicar técnicas con datos de panel.

Como otra posible línea futura de investigación, se propone realizar un estudio donde se separe el efecto de la calidad vial del país en el modelo. Como lo han expuesto distintas autoridades, el país presenta una problemática severa en la calidad de su infraestructura vial. En consecuencia, efectuar la separación entre incrementos factoriales y cualitativos sería oportuno, para validar la importancia que tiene la calidad en el desempeño económico, en la medida que la teoría también reconoce al factor cualitativo como clave para el bienestar de la ciudadanía, al reducir su tiempo de transporte, y como factor explicativo de incrementos en la productividad factorial.

También resultaría de mucho valor hacer pruebas alternativas con métodos de depreciaciones más complejos para el capital vial, puesto que el modelo no necesariamente está capturando la depreciación que sufre el capital vial del país ante los bajos niveles de inversión que se presentan a partir de las décadas posteriores a la crisis de los ochenta. Asimismo, como línea futura, sería oportuno realizar un estudio con datos de panel desagregando la infraestructura vial y analizando su incidencia por región o cantón, en el crecimiento económico del país.

De igual forma, sería de gran valor un ejercicio econométrico con métodos espaciales, no únicamente a nivel nacional, sino también considerando la interacción de Costa Rica con sus socios comerciales y medir la relación espacial entre medidas de desempeño económico e infraestructura vial o de transporte, dado que el país ha orientado su estrategia productiva hacia el comercio exterior. O bien, se podría hacer un análisis econométrico estimando la cantidad de inversión que se debería destinar para impulsar el crecimiento y desarrollo económico en el país; dado el cambio en el uso de las carreteras en época postpandemia, donde muchos trabajadores hacen menor uso que antes, al ejercer su ocupación de forma híbrida o totalmente remota, así como el uso por parte del sector servicios, el cual representa el principal sector que moviliza la economía moderna.

## VI. REFERENCIAS

- Abarca Garro, A., & Ramírez Varas, S. (2016). *Estudio del Crecimiento Económico Costarricense, 1960-2014*. Observatorio del Desarrollo, Universidad de Costa Rica.
- Aschauer, D. A. (1989). Is Public Expenditure Productive? *Journal of Monetary Economics*, 23(2), 177–200. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(89\)90047-0](https://doi.org/10.1016/0304-3932(89)90047-0)
- Banco Central de Costa Rica. (s.f.). *Indicadores Económicos*. <https://web.archive.org/web/20241107205512/https://www.bccr.fi.cr/indicadores-economicos>
- Barzin, S., D' Costa, S., & Graham, D. J. (2018). A pseudo-panel approach to estimating dynamic effects of road infrastructure on firm performance in a developing country context. *Regional Science and Urban Economics*, 70, 20–34. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2018.02.002>
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1979). A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation. *Econometrica*, 47(5), 1287–1294. <https://doi.org/10.2307/1911963>
- Centre for Economics and Business Research. (2016). *Engineering and economic growth: a global view*. Royal Academy of Engineering. <https://web.archive.org/web/20240216233134/https://raeng.org.uk/media/mp2odj00/final-cebr-report-12-09.pdf>
- Chaves Sánchez, P. (2011). *Evolución y principales características de la inversión en infraestructura de transporte en Costa Rica, 1962-2007* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información. <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/handle/123456789/3393>
- Chow, G. C. (1960). Tests of Equality Between Sets of Coefficients in Two Linear Regressions. *Econometrica*, 28(3), 591–605. <https://doi.org/10.2307/1910133>
- DataCamp. (s.f.). *Augmented Dickey-Fuller Test*. <https://web.archive.org/web/20241107211513/https://www.rdocumentation.org/packages/aTSA/versions/3.1.2/topics/adf.test>
- de Rus, G., Campos, J., & Nombela, G. (2002). Economía del transporte. Antoni Bosch editor.
- Durbin, J., & Watson, G. S. (1950). Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression I. *Biometrika*, 37(3/4), 409–428. <https://doi.org/10.2307/2332391>
- Erasmus School of Economics. (s.f.). *Econometrics: Methods and Applications. Model specification*. Coursera. Recuperado el 1 de julio de 2023 de <https://www.coursera.org/learn/erasmus-econometrics/home/info>
- Esquivel Monge, M., & Loaiza Marín, K. (2018). Inversión en infraestructura y crecimiento económico, relevancia de factores institucionales. *Economía y Sociedad*, 23(53), 40–61. <https://doi.org/10.15359/eyS.23-53.3>
- Ferrari, C., Bottaso, A., Conti, M., & Tei, A. (2018). *Economic Role of Transport Infrastructure: Theory and Models*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2016-0-03558-1>
- Gaus, D., & Link, H. (2020). *Economic Effects of Transportation Infrastructure Quantity and Quality: A Study of German Counties* (DIW Discussion Papers, No. 1848). DIW Berlin, German Institute for Economic Research. <http://hdl.handle.net/10419/213600>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica. (2008). *Estimaciones y Proyecciones de Población por sexo y edad (cifras actualizadas) 1950-2100*. Centro Centroamericano de Población de la Universidad de Costa Rica. <https://web.archive.org/web/20230801235112/https://ccp.ucr.ac.cr/documentos/bibliotecavirtual/22.pdf>
- Ivankovich Escoto, G., & Martínez Castillo, J. (2020, enero). *La productividad en Costa Rica*. (Serie Programa Visión para el Desarrollo, No. 24). Academia de Centroamérica.

- <https://web.archive.org/web/20240715013243/https://www.academiaca.or.cr/wp-content/uploads/2020/07/La-productividad-en-Costa-Rica.pdf>
- Laborda, L., & Sotelsek, D. (2019). Effects of Road Infrastructure on Employment, Productivity and Growth: An Empirical Analysis at Country Level. *Journal of Infrastructure Development*, 11(1-2), 81–120. <https://doi.org/10.1177/0974930619879573>
- León Sánchez, J., & Arroyo Blanco, N. (2020). *Estadísticas: Proyecto de Historia Económica de Costa Rica en el siglo XX* [Base de Datos]. Instituto de Investigaciones en Ciencias Económicas de la Universidad de Costa Rica. <https://web.archive.org/web/20230325170433/https://iice.ucr.ac.cr/compendioxx/>
- Loría, M., & Martínez, J. (2017, diciembre). *La infraestructura vial en Costa Rica: desafíos y oportunidades para las asociaciones público-privadas* (Serie Programa Visión, PV-04-17). Academia de Centroamérica. <https://web.archive.org/web/20240206034958/https://www.academiaca.or.cr/wp-content/uploads/2017/12/PV-04-17.pdf>
- Loría, M., & Umaña, C. (2014, octubre). *La gestión de la infraestructura pública en Costa Rica: el caso de la red vial nacional* (Serie Programa Visión, PV-04-14). Academia de Centroamérica. <https://web.archive.org/web/20241003205636/https://www.academiaca.or.cr/wp-content/uploads/2017/02/Gestion-de-la-infraestructura-publica.pdf>
- Machado, R., & Toma, H. (2017). Crecimiento económico e infraestructura de transportes y comunicaciones en el Perú. *Economía*, XL(79), 9–46. <https://doi.org/10.18800/economia.201701.001>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2018). *Estudios Económicos de la OCDE: Costa Rica 2018*. OECD Publishing. [https://doi.org/10.1787/9789264301726-es\\_](https://doi.org/10.1787/9789264301726-es_)
- Pisu, M. (2016). *Costa Rica: Boosting productivity to sustain income convergence*. (OECD Economics Department Working Papers, No. 1318). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5jlv23bhvnpq7-en>
- Pisu, M., Hoeller, P., & Joumard, I. (2012). *Options for Benchmarking Infrastructure Performance* (OECD Economics Department Working Papers, No. 956). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5k9b7bnbxjwl-en>
- Robles, E. (2000). *Economic Growth in Central America: Evolution of Productivity in Manufacturing* (Discussion Papers, No. 749). Harvard Institute for International Development.
- Robles, E. A. (2021). Crecimiento de la productividad total de los factores en Costa Rica e inestabilidad macroeconómica. *Revista de Ciencias Económicas*, 39(1), 1–24. <https://doi.org/10.15517/rce.v39i1.47622>
- Rodríguez-Clare, A., Sáenz, M., & Trejos, A. (2003). *Análisis del crecimiento económico de Costa Rica* (Serie de Estudios Económicos y Sectoriales, RE2-03-001). Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0009749>
- Rozas, P., & Sánchez, R. (2004). *Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: revisión conceptual* (Serie Recursos Naturales e Infraestructura, 75). Naciones Unidas. <https://hdl.handle.net/11362/6441>
- Sánchez, R. J., Lardé, J., Chauvet, P., & Jaimurzina, A. (2017). *Inversiones en infraestructura en América Latina: tendencias, brechas y oportunidades* (Serie Recursos Naturales e Infraestructura, 187). Naciones Unidas. <https://hdl.handle.net/11362/43134>
- Santa Cruz Camacho, C. (2022). Relación dinámica entre el desarrollo de infraestructura y el crecimiento económico en el largo plazo en Costa Rica, 1983–2017. *Economía y Sociedad*, 27(61), 1–21. <https://doi.org/10.15359/eyes.27-61.2>

- Stephan, A. (1997). *The impact of road infrastructure on productivity and growth: some preliminary results for the German manufacturing sector* (WZB Discussion Paper, No. FS IV 97-47). WZB Berlin Social Science Center. <http://hdl.handle.net/10419/50991>
- Straub, S. (2011). Infrastructure and Development: A Critical Appraisal of the Macro-Level. *The Journal of Development Studies*, 47(5), 683–708. <https://doi.org/10.1080/00220388.2010.509785>
- Turner, P. (2010). Power properties of the CUSUM and CUSUMSQ tests for parameter instability. *Applied Economics Letters*, 17(11), 1049–1053. <https://doi.org/10.1080/00036840902817474>
- Vlahinić Lenz, N., Pavlić Skender, H., & Mirković, P. A. (2018). The macroeconomic effects of transport infrastructure on economic growth: the case of Central and Eastern E.U. member states. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 31(1), 1953–1964. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2018.1523740>



## ANEXOS

**CUADRO A1**  
**COSTA RICA: ELASTICIDADES ESTIMADAS CON REGRESIÓN RESTRINGIDA A RENDIMIENTOS CONSTANTES A ESCALA**

| Dependent variable:                    | I(log(PIB) - log(Capital vial)) | I(log(PIB) - log(Capital vial)) |
|----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                                        | 1                               | 2                               |
| I(log(Empleo) - log(Capital vial))     | 0,258***<br>(0,028)             |                                 |
| I(log(KH) - log(Capital vial))         |                                 | 0,259***<br>(0,027)             |
| I(log(K_ajustado) - log(Capital vial)) | 0,523***<br>(0,042)             | 0,528***<br>(0,041)             |
| Constant                               | 0,049<br>(0,086)                | 0,029<br>(0,085)                |
| Observations                           | 68                              | 68                              |
| R2                                     | 0,923                           | 0,925                           |
| Adjusted R2                            | 0,921                           | 0,922                           |
| Residual Std. Error (df = 65)          | 0,078                           | 0,078                           |
| F Statistic (df = 2; 65)               | 390,386***                      | 399,747***                      |

Nota: p<0,1\*; p<0,05\*\*; p<0,01\*\*\*  
Fuente: elaboración propia.

**CUADRO A2**  
**FACTORES INFLACIONARIOS EN REGRESIONES CON LOGARITMOS A NIVEL**

| Regresión | log (Capital) | log (Empleo) | log (Vial) | Log (Capital_ajustado) | log (Capital_vial) | log (KH) |
|-----------|---------------|--------------|------------|------------------------|--------------------|----------|
| 1         | 177,61        | 167,53       | 3,549      |                        |                    |          |
| 2         |               | 181,49       |            | 188,67                 | 3,41               |          |
| 3         |               |              |            | 164,38                 | 3,37               | 164,59   |
| 4         | 164,59        | 188,20       |            | 218,65                 | 11,80              |          |
| 5         |               |              |            | 181,39                 | 11,29              | 164,849  |

Fuente: elaboración propia.

**CUADRO A3**  
**FACTORES INFLACIONARIOS EN REGRESIONES RESTRINGIDAS CON LOGARITMOS A NIVEL**

| Regresión | log (Capital_ajustado) - log (Capital vial) | log (Empleo) - log (Capital_ajustado) |
|-----------|---------------------------------------------|---------------------------------------|
| 6         | 1,93                                        | 1,93                                  |
| 7         | 1,88                                        | 1,88                                  |

Fuente: elaboración propia.

**CUADRO A4**  
**FACTORES INFLACIONARIOS DE REGRESIONES EN LOGARITMO POR TRABAJADOR**

| Regresión | log (KL) | Log (Vial_L) | Log (KAL) | Log (KVial_L) |
|-----------|----------|--------------|-----------|---------------|
| 8         | 1,088    | 1,088        |           |               |
| 9         |          |              | 2,275     | 2,275         |

Fuente: elaboración propia.

**CUADRO A5**  
**FACTORES INFLACIONARIOS DE REGRESIONES EN LOGARITMO PER CÁPITA**

| Regresión | log (KN) | Log (Vial_N) | Log (KAN) | Log (KVial_N) |
|-----------|----------|--------------|-----------|---------------|
| 10        | 1,273    | 1,273        |           |               |
| 11        |          |              | 3,274     | 3,274         |

Fuente: elaboración propia.

**CUADRO A6**  
**FACTORES INFLACIONARIOS DE REGRESIONES EN DIFERENCIAS DE LOGARITMO POR TRABAJADOR**

| Regresión | Diff(log (KAL)) | Diff (Log (K_Vial_L)) | D1982    | D2009 |
|-----------|-----------------|-----------------------|----------|-------|
| 12        | 1,1             | 1,144                 |          | 1,061 |
| 13        | 1,174           |                       | 1,097    |       |
| 14        | 1,179           |                       | 1,145410 | 1,061 |

Fuente: elaboración propia.

**CUADRO A7**  
**PRUEBA DE RAÍZ UNITARIA CON EL TEST DE DICKEY FULLER**

| Variable              | DF       | P - Value |
|-----------------------|----------|-----------|
| Log (PIB)             | -2,2808  | 0,4611    |
| Log (Capital)         | -1,3829  | 0,8258    |
| Log (Empleo)          | -0,63276 | 0,9716    |
| log(Vial)             | -1,6431  | 0,7201    |
| Log (Capital Vial)    | -2,7987  | 0,2507    |
| Log (PIB/L)           | -2,7987  | 0,2507    |
| Log (PIB/N)           | -1,9392  | 0,5998    |
| Log (Capital/L)       | -0,72052 | 0,9639    |
| Log (Capital/N)       | -2,5321  | 0,359     |
| Log (KV/L)            | -2,524   | 0,3623    |
| Diff (Log(PIB/L))     | -8,148   | 0,01      |
| Diff (Log(Capital/L)) | -6,3223  | 0,01      |
| Diff (Log(KV/L))      | -3,2959  | 0,07998   |

Fuente: elaboración propia basada en datos de Fuller (1996, como se cita en DataCamp, s.f.).

**CUADRO A8**  
**TEST DE DURBIN – WATSON (DURBIN Y WATSON, 1950) (PRUEBA DE AUTOCORRELACIÓN ENTRE RESIDUOS)**

| Regresión | DW      | p-value |
|-----------|---------|---------|
| 1         | 0,27619 | 2.2e-16 |
| 2         | 0,29106 | 2.2e-16 |
| 3         | 0,30434 | 2.2e-16 |
| 4         | 0,19411 | 2.2e-16 |
| 5         | 0,23699 | 2.2e-16 |
| 6         | 0,18971 | 2.2e-16 |
| 7         | 0,19811 | 2.2e-16 |
| 8         | 0,26535 | 2.2e-16 |
| 9         | 0,18971 | 2.2e-16 |
| 10        | 0,26556 | 2.2e-16 |
| 11        | 0,19512 | 2.2e-16 |
| 12        | 1,8489  | 0.4499  |
| 13        | 2,0803  | 0.8481  |
| 14        | 2,0811  | 0.8397  |

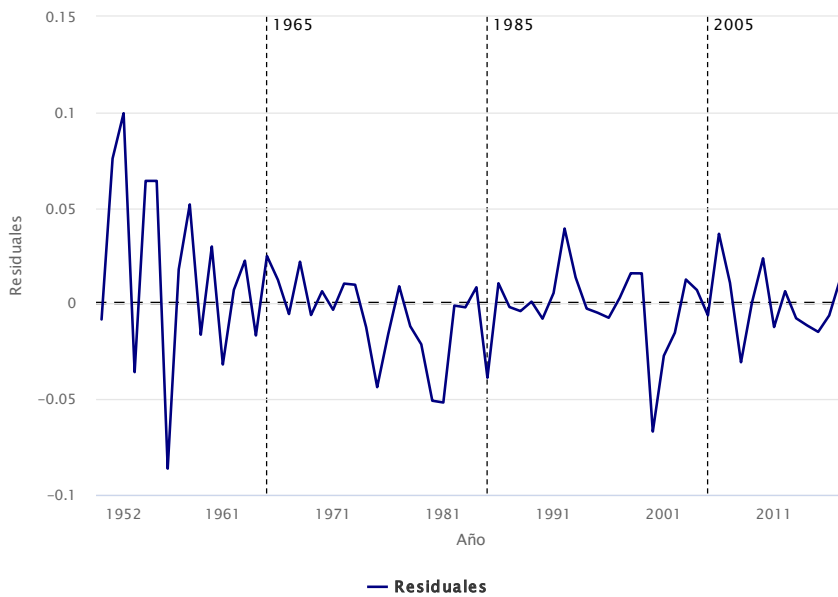
Fuente: elaboración propia.

**CUADRO A9**  
**TEST DE BREUSCH – PAGAN. (PRUEBA DE VARIANZA CONSTANTE DE LOS RESIDUALES (HOMOCEDESTICIDAD))**

| Regresión | Chi - Square | p-value    |
|-----------|--------------|------------|
| 1         | 10,71115     | 0,0010649  |
| 2         | 13,34096     | 0,00025967 |
| 3         | 13,4881      | 0,00024008 |
| 4         | 2,810698     | 0,093638   |
| 5         | 2,917888     | 0,087602   |
| 6         | 0,7355556    | 0,39109    |
| 7         | 0,4211282    | 0,51637    |
| 8         | 10,6804      | 0,0010828  |
| 9         | 1,581274     | 0,20858    |
| 10        | 5,366376     | 0,020529   |
| 11        | 1,861566     | 0,17244    |
| 12        | 2,344497     | 0,12573    |
| 13        | 0,3535384    | 0,55212    |
| 14        | 0,5168998    | 0,47217    |

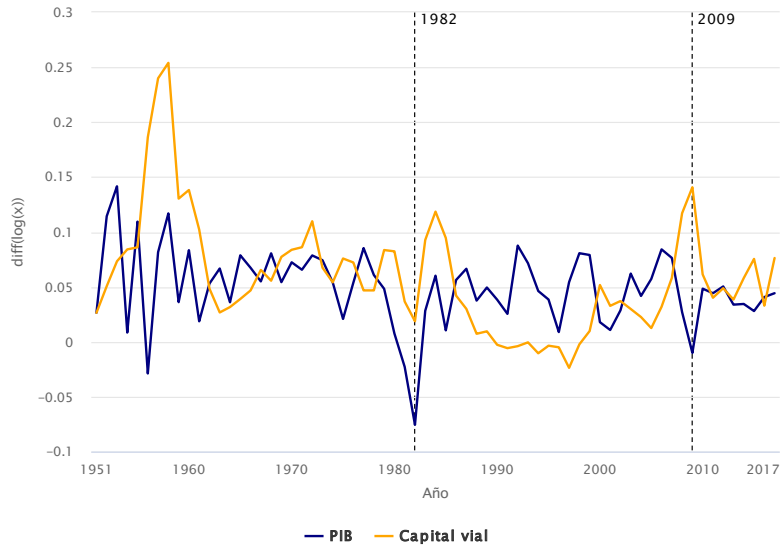
Fuente: elaboración propia basada en Breusch y Pagan (1979).

GRÁFICO A1  
PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES (RESIDUALES)



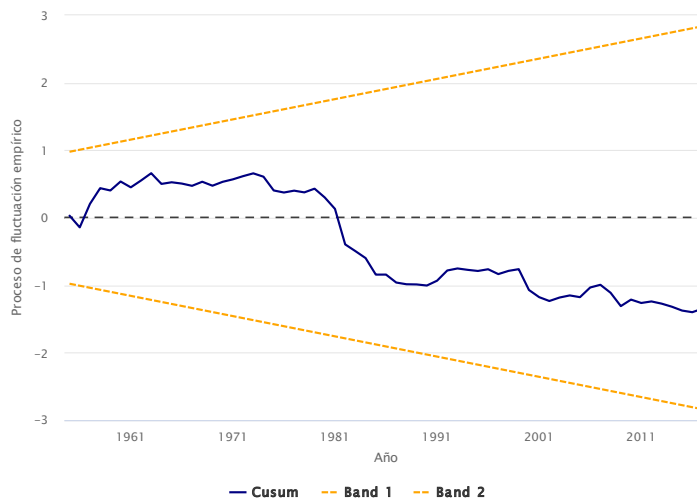
Fuente: elaboración propia.

GRÁFICO A2  
TENDENCIA DEL PIB POR TRABAJADOR Y CAPITAL VIAL POR TRABAJADOR, EN PRIMERAS DIFERENCIAS LOGARÍTMICAS



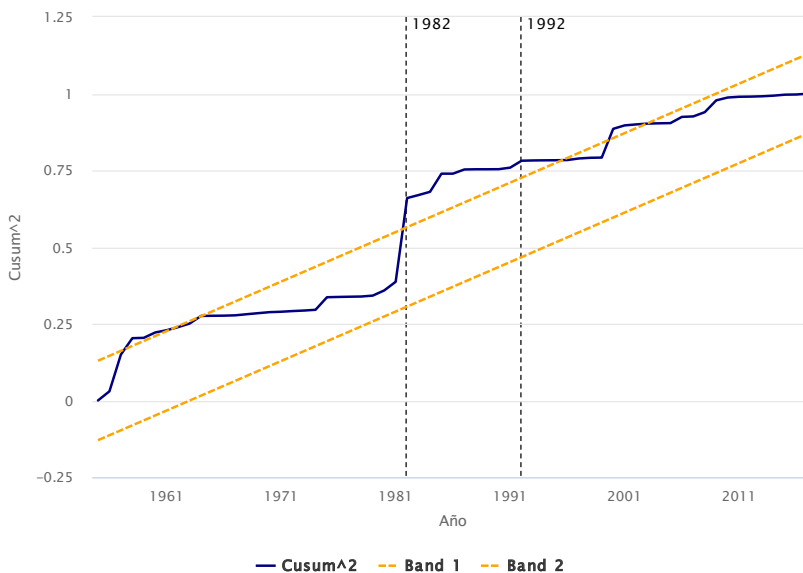
Fuente: elaboración propia.

GRÁFICO A3  
PRUEBA DE ESTABILIDAD DE LA REGRESIÓN EN PRIMERAS DIFERENCIAS, DE ACUERDO CON CHOW (1960) Y TURNER (2010)



Fuente: elaboración propia.

GRÁFICO A4  
PRUEBA DE ESTABILIDAD DE LOS PARÁMETROS EN LA REGRESIÓN EN PRIMERAS  
DIFERENCIAS, DE ACUERDO CON CHOW (1960) Y TURNER (2010)



Fuente: elaboración propia.

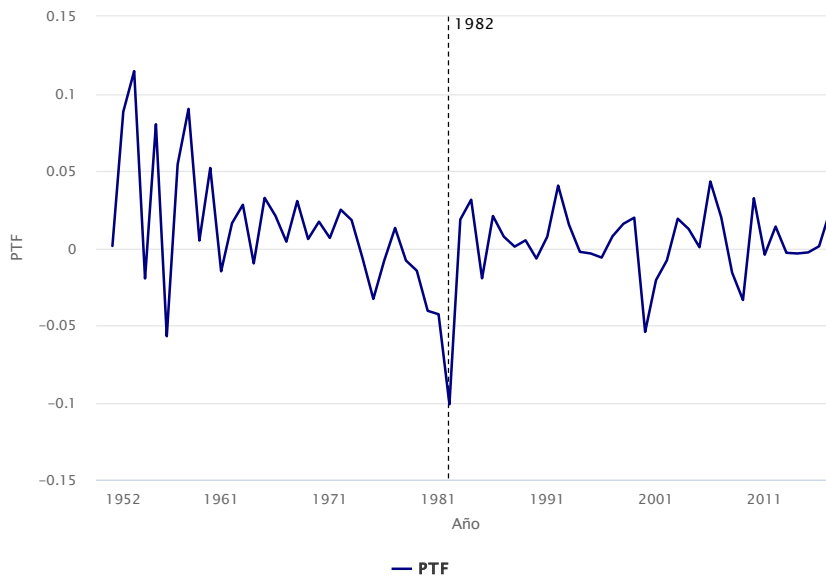
CUADRO A10  
MATRIZ DE VARIANZA - COVARIANZA

| Coefficients        | (Intercept) | diff(log(KAL)) | diff(log(KViaL_L)) | d1982  | d2009  |
|---------------------|-------------|----------------|--------------------|--------|--------|
| (Intercept)         | 0,000       | -0,000         | -0,000             | -0,000 | 0,000  |
| diff (log(KAL))     | -0,000      | 0,030          | -0,003             | 0,001  | -0,000 |
| diff (log(KViaL_L)) | -0,000      | -0,003         | 0,004              | 0,000  | -0,000 |
| d1982               | -0,000      | 0,001          | 0,000              | 0,001  | -0,000 |
| d2009               | 0,000       | -0,000         | -0,000             | -0,000 | 0,001  |

Fuente: elaboración propia.

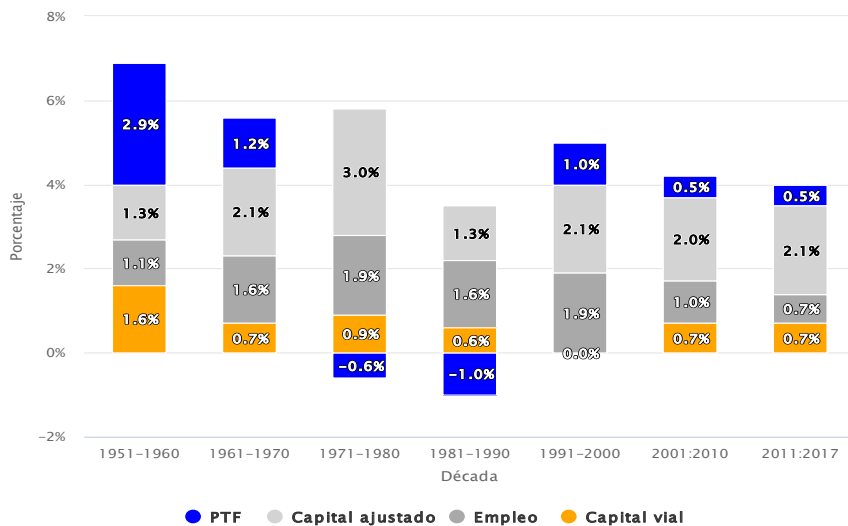
GRÁFICO A5  
 PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES INCORPORANDO AL CAPITAL VIAL EN LA  
 FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN

$$A = \frac{\Delta PIB}{PIB} - 0.4 \frac{\Delta K(\text{ajustado})}{K(\text{ajustado})} - 0.47 \frac{\Delta Empleo}{Empleo} - 0.128 \frac{\Delta Capital Vial}{Capital Vial}$$



Fuente: elaboración propia.

GRÁFICO A6  
CONTRIBUCIÓN DE LOS FACTORES PRODUCTIVOS AL CRECIMIENTO ECONÓMICO  
ENDOGENIZANDO AL CAPITAL VIAL EN LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN



Fuente: elaboración propia.



Derechos reservados, Camilo Santa Cruz Camacho, Mónica Pérez Salas, 2025. Este artículo se encuentra disponible bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 3.0 Costa Rica <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/cr/>. Para mayor información escribir a [revista.iice@ucr.ac.cr](mailto:revista.iice@ucr.ac.cr)