

## REQUERIMIENTOS DE INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA Y SU ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

Francisco Alejandro Crespo Ramírez y Luis Miguel Galindo Paliza<sup>a</sup>

Fecha de recepción: 23 de julio de 2025. Fecha de aceptación: 5 de febrero de 2026.

<https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2026.225.70483>

**Resumen.** El objetivo del estudio es estimar los costos, incluyendo los de adaptación, de los requerimientos de demanda de los servicios de infraestructura nacional y estatal, y un escenario prospectivo al 2030 para México. La hipótesis se basa en que existe una brecha de inversión en infraestructura relevante y heterogénea por estados. Las estimaciones utilizan un enfoque *top-down*. La brecha en infraestructura nacional, considerando la inversión histórica, alcanza el 0.7% del PIB en energía, 1.2% en agua y entre 5.6 y 28.1% (escenario bajo y alto) en transporte. Las entidades al noroeste del país presentan mayores requerimientos en energía y agua, mientras que en el sur es en transporte. A estos costos debe incluirse un porcentaje adicional (2 al 10%) para disponer de una infraestructura resiliente al cambio climático.

**Palabras clave:** requerimientos de infraestructura; demanda de infraestructura; transición.

**Clasificación JEL:** O18; Q50; Q56.

### INFRASTRUCTURE INVESTMENT REQUIREMENTS AND ITS ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN MEXICO

**Abstract.** The study aims to estimate the costs, including adaptation costs, associated with the demand requirements for national and state infrastructure services, and to develop a forward-looking scenario for Mexico through 2030. The hypothesis is based on the existence of a significant and heterogeneous investment gap in infrastructure across states. The estimates use a top-down approach. Considering historical investment, the national infrastructure gap amounts to 0.7% of GDP for energy, 1.2% for water and between 5.6 and 28.1% (low and high scenarios) for transportation. States in the northwest of the country have greater requirements for energy and water, while in the south, the greatest requirement is for transportation. An additional percentage (2 to 10%) must be added to these costs to ensure infrastructure that is resilient to climate change.

**Key words:** infrastructure requirements; infrastructure demand; transition.

<sup>a</sup> Universidad Nacional Autónoma de México-Facultad de Economía, México. Correos electrónicos: [facrespor@outlook.com](mailto:facrespor@outlook.com) y [galaliza@unam.mx](mailto:galaliza@unam.mx), respectivamente.

## 1. INTRODUCCIÓN

La inversión en infraestructura es un componente esencial para la realización de las actividades económicas, pues contribuye al dinamismo económico, al bienestar social y al uso sostenible del medio ambiente, por tanto, es una condición necesaria para alcanzar un desarrollo sostenible. No obstante, existe una escasez crónica de inversión en infraestructura, en especial en países en desarrollo, con consecuencias negativas relevantes para el desarrollo económico.

Aumentar la inversión en infraestructura es un proceso en extremo complejo y de larga maduración donde se requiere, como insumos fundamentales, una planeación de largo plazo, identificar magnitudes y áreas de inversión y, desde luego, canales de financiamiento. De este modo, es necesario dimensionar la magnitud de los recursos para inversión en infraestructura, las áreas de inversión y las regiones o estados de destino. Más aún, es necesario construir una nueva infraestructura consistente con la descarbonización profunda y resiliente al clima que incorpore los procesos de adaptación (UNEP, 2023). Esta información es escasa en México y persiste una brecha relacionada por estados al respecto.

En la actualidad existen múltiples estudios sobre los costos agregados y por tipo de infraestructura a nivel global y para América Latina y el Caribe [ALC] (Hallegatte *et al.*, 2019; Rozenberg y Fay, 2019; Serebrisky, 2015). Estas estimaciones sugieren costos de infraestructura, a nivel global, que oscilan entre 2 y 8% del Producto Interno Bruto (PIB).

Estas estimaciones se realizan con base en una metodología *top-down* o *bottom-up*. La metodología de *top-down* utilizada en este artículo, se basa en establecer la cantidad de inversión requerida para satisfacer la demanda de empresas y consumidores en un nivel determinado de PIB o de PIB *per cápita* (Fay y Yepes, 2003; Fay y Morrison, 2007; OCDE, 2006; Fay *et al.*, 2011). No obstante, estas estimaciones tras las crisis 2008-2009, la reciente crisis por Covid-19 y la presencia de impactos en la infraestructura derivados del cambio climático se consideran desfasadas, ya que es necesario, por ejemplo, ajustar la tasa de crecimiento del PIB (Kohli y Basil, 2011). Asimismo, no existen estudios sobre los requerimientos de infraestructura a nivel nacional y por estados en México, ni una prospectiva de costos al 2030. Disponer de estos costos, incluyendo los de adaptación al cambio climático de la infraestructura, es fundamental para una estrategia en la transición climática y para el desarrollo sostenible.

El objetivo del artículo es estimar los costos, incluyendo los de adaptación, de los requerimientos de demanda de los servicios de infraestructura para

México y sus estados y elaborar un escenario prospectivo al 2030. La hipótesis del trabajo es que la inversión en infraestructura es insuficiente para apoyar la transacción climática y al desarrollo sostenible, y el actual estilo de desarrollo configura necesidades de infraestructura que no son financieramente sostenibles.

El trabajo se compone de seis secciones. Después de la introducción, en la segunda sección se presenta una revisión de literatura; la tercera presenta la metodología utilizada; la cuarta presenta la evidencia y la base de datos utilizada; la quinta incluye algunas recomendaciones de política pública y, finalmente, la quinta sección presenta las conclusiones.

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La infraestructura es un componente fundamental para el crecimiento económico, ya que condiciona y contribuye al dinamismo económico, al bienestar social y el uso sustentable del medio ambiente. Sin embargo, la inversión en infraestructura requiere largos periodos de planificación y maduración. Estimar y cuantificar los requerimientos de infraestructura futura y sus destinos permite instrumentar un proceso de inversión eficiente y contribuye a establecer una tendencia en inversiones y políticas socioeconómicas para alcanzar objetivos/metapas previamente establecidas (Brichetti *et al.*, 2021).

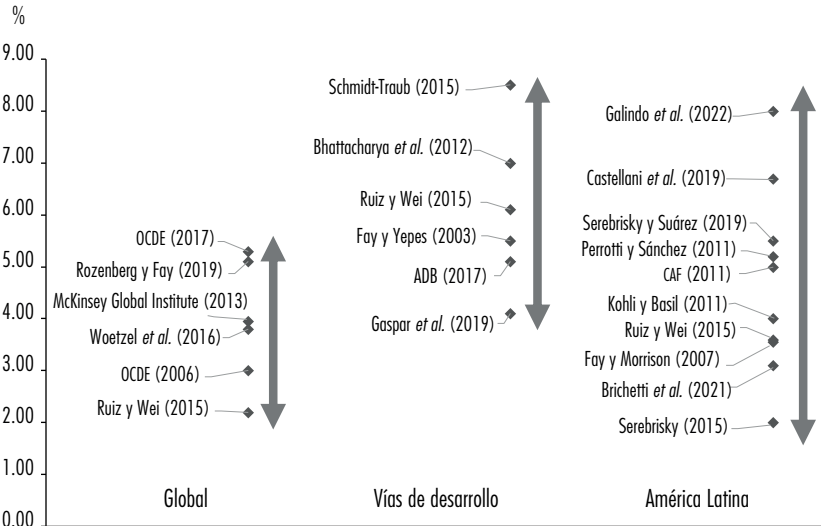
Según la literatura reciente, se han desarrollado diversos enfoques para estimar los requerimientos actuales y futuros sobre infraestructura. Estas estimaciones vinculan la relación de la infraestructura con el crecimiento económico con base en dos tipos de metodologías: *top-down* y *bottom-up* (Calderón y Servén, 2004; Ruiz y Wei, 2015). Gran parte de las investigaciones utilizan el enfoque *top-down*, dada la facilidad en el manejo de variables macroeconómicas y disponibilidad de datos (Ruiz y Wei, 2015); en lugar de establecer relaciones individuales por servicio de infraestructura, considerando la complejidad para determinar una relación entre inversión y crecimiento económico (Rozenberg y Fay, 2019). Muchos de estos trabajos analizan regiones o contemplan en conjunto a la economía global (Bhattacharya *et al.*, 2012).

La metodología *top-down* se basa en establecer la cantidad de inversión requerida para satisfacer la demanda de empresas y consumidores en un nivel determinado de PIB o PIB *per cápita* (Fay y Yepes, 2003; Fay y Morrison, 2007; OCDE, 2006; Fay *et al.*, 2011). El nuevo repunte de investigaciones incorpora el rol que tiene la infraestructura para alcanzar los objetivos climáticos y de desarrollo sostenible (OCDE, 2020).

Las estimaciones de los costos de infraestructura y de adaptación son muy heterogéneas como consecuencia del uso de distintas metodologías, de estimaciones para diferentes regiones y periodos, supuestos utilizados (como trayectorias de crecimiento económico y demográficas), de la calidad y objetivos de la infraestructura propuestos, de los costos de infraestructura incluidos (costos de mantenimiento y operación) e incluso de contemplar opciones basadas en la naturaleza y distintos objetivos de adaptación (Cavallo *et al.*, 2020; Rozenberg y Fay, 2019). En general, se estima que los costos de infraestructura oscilan entre 2 y 8% del PIB global con variaciones regionales (véanse figura 1 y tabla 1) (Rozenberg y Fay, 2019). Estas estimaciones se concentran en infraestructura económica de energía, transporte, telecomunicaciones y agua-saneamiento (Perrotti y Sánchez, 2011).

Estimaciones recientes que incorporan el gasto necesario para alcanzar las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), muestran que los requisitos de inversión pueden incrementarse entre 6 al 11% del PIB (Galindo *et al.*, 2022), consistente con la evidencia regional y global (Woetzel *et al.*, 2016; OCDE, 2017; Gaspar *et al.*, 2019; Schmidt-Traub, 2015; Brichetti *et al.*, 2021; Castellani *et al.*, 2019). Para ALC se observa que los requerimientos de infraestructura pueden llegar, incluyendo ODS, a más del 15% del PIB (Galindo *et al.*, 2022).

Figura 1. Estimaciones de los costos de infraestructura (del PIB)



Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Estimaciones de requerimientos de inversión en infraestructura

	<i>Autores/autoras</i>	<i>Monto anual</i>	<i>Porcentaje del PIB</i>
Global	Kennedy y Corfee-Morlot (2013)	USD\$6 670.00 - 7 190.00 billones	Sin información
	McKinsey Global Institute (2013)	USD\$3.20 - 3.70 trillones	3.8 - 4.1
	Woetzel <i>et al.</i> (2016)	USD\$3.3 trillones	3.8
	OCDE (2006)	USD\$1.70 - 2.40 trillones	2.5 - 3.5
	OCDE (2017)	USD\$6.30 - 6.90 trillones	5.3
	Rozenberg y Fay (2019)	USD\$640.00 - 2 700.00 billones	2.0 - 8.2
	Ruiz y Wei (2015)	USD\$1 104.00 billones	2.2
Países en desarrollo	Fay y Yepes (2003)	USD\$464.80 billones	5.5
	Ruiz y Wei (2015)	USD\$836.00 billones	6.1
	Gaspar <i>et al.</i> (2019)	USD\$2.60 trillones	4.1
	ADB (2017)	USD\$2.20 trillones	5.1
	Bhattacharya <i>et al.</i> (2012)	USD\$1.80 - 2.30 trillones	6 - 8
	Schmidt-Traub (2015)	USD\$1.40 trillones	8.5
América Latina	Ruiz y Wei (2015)	USD\$140.30 billones	3.6
	Perroti y Sánchez (2011)	USD\$170.90 billones	5.2
	Kohli y Basil (2011)	USD\$323.20 billones	4
	Brichetti <i>et al.</i> (2021)	USD\$2.20 trillones	3.1
	Fay y Morrison (2007)	Sin información	2.4 - 4.7
	Galindo <i>et al.</i> (2022)	USD\$337- 741 billones	5 - 11
	Serebrisky y Suárez (2019)	USD\$120 - 150 billones	4 - 7
	CAF (2011)	USD\$200 - 250 billones	5
	Serebrisky (2015)	USD\$150 - 250 billones	2
	Castellani <i>et al.</i> (2019)	USD\$366 billones	6.7

Fuente: elaboración propia.

En general, las estimaciones utilizan bases de datos panel; no obstante, presentan limitaciones asociadas a los problemas endogeneidad y a la hipótesis de continuidad del *statu quo* (Castellani *et al.*, 2019). Actualmente, la nueva literatura incorpora enfoques alternativos: insumo producto (Gaspar *et al.*, 2019), modelos con variables instrumentales (Kohli y Basil, 2011), *bottom-up* (Brichetti *et al.*, 2021) y aproximaciones institucionales (Schmidt-Traub, 2015; Serebrisky, 2015). Sin embargo, las estimaciones enfrentan el reto co-

mún de disponer de costos unitarios comparables, que dependen de diferentes criterios de elección e interpretación.

La evidencia disponible muestra que la infraestructura es insuficiente e inadecuada (Kohli y Basil, 2011) para sostener la competitividad (Capozza y Samson, 2019), la rentabilidad económica (incidiendo en el déficit público) (Ros, 2015) y enfrenta retos asociados al cambio climático (Brichetti *et al.*, 2021). En efecto, la infraestructura de energía, transporte y agua contribuyen con aproximadamente el 45 al 60% de las emisiones globales y dispone de un elevado potencial de mitigación y adaptación, ya que es particularmente sensible a los impactos climáticos (Fay *et al.*, 2010). Por lo que el diseño y la elección de los diversos sistemas de infraestructura requiere crecientemente incorporar criterios de resiliencia climática (OCDE, 2020; Fay *et al.*, 2010; Stewart y Deng, 2015; Kennedy y Corfee-Morlot, 2013).

La literatura estima los costos de adaptación de la infraestructura como un porcentaje (*mark-up*) respecto a la línea base (Hallegatte *et al.*, 2019; Hughes *et al.*, 2010; McKinsey Global Institute, 2020). Hughes *et al.* (2010) estiman los costos de adaptación menores al 1% de la línea base, Hallegatte *et al.* (2019) en 3%, mientras que McKinsey Global Institute (2020) estima un margen de 1-2%. UNEP (2023) establece costos globales de adaptación por USD\$56 000 millones, Serebrisky (2015) de USD\$30 000 millones, Hallegatte *et al.* (2019) por USD\$65 000 millones, Hughes *et al.* (2010) por USD\$4 000 millones y McKinsey Global Institute (2020) por USD\$150 000 millones. De este modo, los costos de adaptación de la infraestructura global oscilan entre USD\$30-150 000 millones anuales (véase tabla 2).

Disponer de infraestructura resiliente a los efectos el cambio climático es fundamental para los procesos de mitigación, de transición climática y para el desarrollo sustentable, la carencia y baja calidad de la infraestructura reduce el dinamismo económico y la competitividad (Capozza y Samson, 2019). Además, la provisión de una infraestructura con componentes resilientes al cambio climático contribuye al cumplimiento de los ODS.<sup>1</sup> De otra manera, la expansión de la infraestructura, en ausencia de criterios de adaptación, incrementarán los riesgos físicos y de transición climática (OCDE, 2020). Este sobrecosto por adaptación representa un reto macroeconómico significativo, principalmente para las economías en vías de desarrollo donde la brecha en infraestructura tiende a ser más amplia. Incorporar el componente adaptativo es entonces una cuestión estructural en la planificación a mediano-largo plazo que contribuye a los ODS.

<sup>1</sup> En particular, objetivos 6, 7, 9 y 11.

**Tabla 2. Costos de adaptación para la infraestructura**

<i>Autores/autoras</i>	<i>Costo adicional (billones de dólares)</i>	<i>Porcentaje adicional sobre los costos de infraestructura</i>
Hallegatte <i>et al.</i> (2019)	USD\$11 a 65	3
UNEP (2023)	USD\$56	Necesidades del 10 a 18 veces la inversión actual
McKinsey Global Institute (2020)	USD\$150 a 450	1 - 2
Schmidt-Traub (2015)	USD\$128 a 133	9.20
Fankhauser (2009)	USD\$25 a 100	10 - 20
Serebrisky (2015)	USD\$30	12
Stern (2007)	USD\$2 a 30	5 - 20
Hughes <i>et al.</i> (2010)	USD\$2 023 a 3 910	< 1

Fuente: elaboración propia.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología de estimación utiliza una especificación de panel dinámico, consistente con la revisión de la literatura, donde la demanda de infraestructura total (de los sectores de energía, transporte y agua) es función del ingreso *per cápita*, de la estructura económica, del nivel de urbanización, de la variable endógena rezagada y de una variable *dummy* de efectos temporales (ecuación (1)) (Perrotti y Sánchez, 2011). Así, los resultados de las estimaciones representan el requerimiento mínimo para sostener un nivel de crecimiento económico.

$$I_{i,t}^j = \alpha_0 + \alpha_1 I_{i,t-1}^j + \alpha_2 y_{i,t} + \alpha_3 A_{i,t} + \alpha_4 M_{i,t} + \alpha_5 U_i + \alpha_6 D_t + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

Donde  $I_{i,t}^j$  es el *stock* de demanda de infraestructura *per cápita* del tipo  $j$  de la entidad  $i$  en el tiempo  $t$ ;  $y$  es el ingreso *per cápita*;  $A$  es la participación del sector agrícola en el producto;  $M$  es la participación de la industria en el PIB;  $U$  es el nivel de urbanización;  $D_t$  es una variable *dummy* temporal y  $\varepsilon_{i,t}$  es el término error. Todas las demás variables se tratan como exógenas<sup>2</sup> y están en su forma logarítmica.

Para controlar el problema de endogeneidad en la ecuación (1) se utilizó un modelo de panel dinámico estimado por el Método General de Momentos

<sup>2</sup> Excepto cuando se modela el sector transporte, donde la participación de la agricultura en el PIB se toma como endógena.

(GMM) con variables instrumentales con una matriz de ponderaciones heterocedástica (Roodman, 2009). Esta metodología ofrece ventajas sobre la utilización de una estimación con Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) o modelos panel de efectos fijos (Ullah *et al.*, 2018). La estimación de la ecuación (1) incorpora a la variable endógena rezagada, lo que atiende el problema del sesgo potencial de Nickel (1981) (Deryugina y Hsiang, 2014). Esto puede producir posible autocorrelación, sin embargo, utilizando el estimador GMM en dos etapas con errores robustos, permite corregir la heterocedasticidad y autocorrelación. Al generar instrumentos GMM en panel dinámico se crean gran número de instrumentos para cada rezago y periodos, ante ello y para no sobre-identificar las estimaciones, se combinaron todos los instrumentos de cada variable en un grupo por ecuación.<sup>3</sup>

Así, la construcción del panel dinámico estima los costos de infraestructura por estado de:

- » Kilómetros (km) de carreteras pavimentadas por km<sup>2</sup> de superficie *per cápita* (escenario bajo y alto).
- » Giga-watts (gw)-hora de consumo eléctrico *per cápita*.
- » Hectómetro cúbico (hm<sup>3</sup>) de uso consuntivo de agua *per cápita*.

Las proyecciones utilizan un escenario<sup>4</sup> de continuidad, con escenarios poblacionales exógenos al 2030. Posteriormente, los requerimientos de infraestructura son obtenidos mediante la multiplicación de los costos unitarios para cada tipo de infraestructura por el total del acervo (*stock*) estimado al 2030.

Los costos en nueva infraestructura futura se distribuyen utilizando los coeficientes calculados en la ecuación (1). Así, con los parámetros estimados de la ecuación (1), se calculan los costos unitarios (entendidos como el costo asociado en proveer una unidad de infraestructura) (véase tabla 4). Estos costos unitarios se suponen constantes en el tiempo aplicando una tasa de inflación definida por el índice nacional de precios al productor. Este procedimiento permite conocer de manera conjunta y separada los costos asociados para el periodo estudiado (2003-2030) por entidad federativa a razón del PIB real estatal.

<sup>3</sup> Apéndice disponible a solicitud a los autores.

<sup>4</sup> Para cada entidad federativa se estimaron modelos autorregresivos integrados de media móvil (ARIMA) en las proyecciones del PIB estatal (PIBE), PIB agrícola y manufacturero y población urbana, suavizado con el filtro Hodrick-Prescott. Mientras que, para la población total, se utilizaron las estimaciones de CONAPO (2023). Véase Apéndice.

## 4. DATOS Y RESULTADOS

### Base de datos

La base de datos consiste en un panel de información anual sobre las 32 entidades federativas, considerando el periodo 2003-2022. Se recopiló información sobre el flujo anual de infraestructuras estudiadas (energía, agua y transporte); variables macroeconómicas (PIB estatal, agrícola y manufacturero) y demográficas (población total y urbana). Para la obtención de un panel balanceado se realizaron interpolaciones en distintas variables, en específico, en población y agua (2010 y 2011).

La falta de información sobre los acervos de capital y de su acumulación en el largo plazo (Ruiz y Wei, 2015), además del corto periodo analizado, lleva a utilizar una aproximación del capital en infraestructura estimado mediante los flujos anuales de las infraestructuras estudiadas con base en la hipótesis de inventarios perpetuos (Loría y de Jesús, 2007). De este modo, el modelo realizado captura la relación entre los flujos del PIB y el acervo del capital.

Los estadísticos básicos de las variables recopiladas se sintetizan en la tabla 3.

Los costos de los tipos de infraestructura se obtuvieron de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), de la Secretaría de Energía (SENER) y de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), respectivamente (véase tabla 4).

- » El costo por Megawatt/hora de energía eléctrica para el 2024, se obtuvo de la SENER.<sup>5</sup> El costo del transporte proviene del “Tabulador de Costos Paramétricos para la Construcción y Modernización de la Infraestructura Carretera” para 2025 donde se realizó un promedio de las carreteras<sup>6</sup> tipo A2, B2, C2, D2 y ET2 para obtener el costo unitario por kilómetro de carretera. En el escenario bajo se excluyen costos relacionados a la provisión de un kilómetro efectivo de carretera. Ello ilustra la importancia de la selección del tipo y calidad de la infraestructura y continúa indicando la insostenibilidad del actual estilo de desarrollo en transporte.

<sup>5</sup> *Idem.*

<sup>6</sup> Este tipo de carreteras consta de dos carrillas y representa más del 90% de las carreteras.

- » El costo unitario por metro cúbico, después de una revisión en la literatura,<sup>7</sup> así como consultas directas con la Unidad de Transparencia de CONAGUA,<sup>8</sup> se estableció como el costo operativo institucional (relacionando el gasto neto y el total de uso consuntivo nacional) considerando el último dato disponible de las Estadísticas del Agua en México, 2022.

**Tabla 3. Estadísticas descriptivas**

<i>Variable</i>	<i>Medida</i>	<i>Observaciones</i>	<i>Promedio</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Desviación estándar</i>
Transporte	Km	608	4 722.41	14 796.00	88.00	2 499.32
Energía	GW	640	6 145.90	18 758.90	815.33	4 500.20
Agua	Hm <sup>3</sup>	640	2 595.55	11 515.89	142.56	2 323.47
PIBE	MXNS millones	640	670 845.00	3 694 575.00	102 696.40	647 712.60
PIBE agrícola	MXNS millones	640	21 994.38	107 492.80	1 301.57	19 994.42
PIBE manufacturero	MXNS millones	640	137 318.30	637 998.10	3 137.28	140 170.70
Población urbana	Personas	640	2 790 062.00	15 245 373.57	398 364.20	2 669 687.00
Población	Personas	640	3 600 900.00	17 496 790.67	475 827.20	3 017 054.00

Notas: los datos de población se anualizaron mediante una interpolación lineal, los datos del PIB se expresan a pesos constantes del 2018. La unidad de medida en los sectores de energía y agua son GW y hm<sup>3</sup>, respectivamente, para facilidad en la presentación. Posteriormente se convirtió a Megawatts y metros cúbicos para aplicar el costo unitario asociado (nota metodológica en Apéndice).

Fuente: elaboración propia con información del INEGI (Cuentas Nacionales y Censos de Población y Vivienda, 2000-2020), SICyT (Anuarios Estadísticos, 2004-2022), CONAGUA (Estadísticas del Agua en México, 2003-2022) y Sistema de Información Energética (SENER).

<sup>7</sup> IMCO (2023) argumenta esta carencia de datos, ya que es inexistente una metodología uniforme para calcular el costo en la provisión del agua por parte de CONAGUA. Existen investigaciones que proveen costos unitarios regionales, como Hutton y Varughese (2016), no obstante, poseen un sesgo por la heterogeneidad de los países.

<sup>8</sup> Nota metodológica en Apéndice.

**Tabla 4. Costos unitarios en la provisión de infraestructura**

<i>Sector</i>	<i>Costo unitario</i>
Transporte	MXN\$34 408 219.97 por km efectivo de carretera
Energía	MXN\$1 737.19 por energía consumida Megawatt-hora
Agua	MXN\$3.02 por m <sup>3</sup> de agua

Fuente: elaboración propia.

## Resultados

Los resultados de las estimaciones del panel dinámico (ecuación (1)) se sintetizan en la tabla 5. La prueba de Hansen (Labra y Torrecillas, 2018) valida las variables instrumentales utilizadas<sup>9</sup> (aunque el sector energía debe de tratarse con precaución) y la prueba Arellano-Bond (Roodman, 2009) muestran que no existe evidencia de correlación serial.

**Tabla 5. Resultados econométricos**

<i>Variables</i>	(1) <i>Energía</i>	(2) <i>Agua</i>	(3) <i>Transporte</i>
$Y_{t-1}$	0.8042*** (0.0829)	0.8296*** (0.0898)	1.0369*** (0.0638)
Agricultura	0.0420** (0.0174)	0.1910** (0.0893)	-0.1064* (0.0718)
Manufactura	0.0078 (0.0218)	-0.0001 (0.0020)	0.0188 (0.0193)
PIB per cápita	0.1308* (0.0921)	0.1957** (0.0878)	-0.1067* (0.0810)

*Continúa*

<sup>9</sup> El número de instrumentos es inferior al número de grupos.

Tabla 5. Resultados econométricos (*continuación*)

<i>Variables</i>	(1)	(2)	(3)
	<i>Energía</i>	<i>Agua</i>	<i>Transporte</i>
Urbanización	0.2486*	-0.0002	-0.1258
	(0.1356)	(0.0133)	(0.0911)
Tiempo	-0.0013**	-0.0016*	-0.0007
	(0.0006)	(0.0009)	(0.0007)
Constante	-0.7714**	-0.2402	0.0894
	(0.3534)	(0.1920)	(0.9220)
Observaciones	608	608	576
ID	32	32	32
Test de Hansen	0.046	0.359	0.813
Test Arellano-Bond	0.020	0.567	0.200

Nota: errores robustos en paréntesis; \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$ .

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de las estimaciones indican que la variable dependiente rezagada es estadísticamente significativa en todos los casos; lo anterior ilustra la importancia de la acumulación del capital y la presencia de trayectorias encadenadas en el tiempo. El ingreso *per cápita* estatal es estadísticamente significativo. Ello muestra que persiste un acoplamiento con la infraestructura de agua y energía mientras que, sorpresivamente, tiene una relación inversa con la infraestructura de transporte. Además, la participación agrícola en el PIB es significativa y positiva en la demanda de energía y agua, no así para el transporte; la participación de la manufactura en el PIB no es estadísticamente significativa en ninguno de los casos. Por último, la urbanización es sólo estadísticamente significativa en la infraestructura de energía.

Los coeficientes estimados y los costos unitarios presentados se utilizaron para calcular el costo de la demanda de infraestructura de cada sector y realizar los escenarios al 2030 (véase tabla 4). Asimismo, los resultados indican que, en promedio, los requerimientos de infraestructura total son de MXN\$3.20 billones (13.45% del PIB) para 2030, tomando como referencia la demanda de 2022 (véase tabla 6 y figura 2).

**Tabla 6. Estimación de requerimientos de infraestructura, 2022-2030 (millones de pesos)**

Entidad federativa	Energía		Agua		Transporte		Total
	MXNS	%PIBE	MXNS	%PIBE	MXNS	%PIBE	
Aguascalientes	3 076.65	0.61	2 540.48	0.49	27 332.27	5.44	32 949.40
Baja California	10 755.97	0.78	4 159.23	0.31	51 714.05	3.90	66 629.25
Baja California Sur	2 532.28	0.98	1 623.99	0.66	38 037.56	14.84	42 193.83
Campeche	1 276.76	0.85	957.25	0.68	56 872.88	41.20	59 106.88
Coahuila	8 395.81	0.79	3 367.86	0.32	85 175.41	8.10	96 939.08
Colima	1 629.83	0.73	1 414.84	0.65	17 661.78	8.09	20 706.45
Chiapas	3 033.33	0.86	4 356.30	1.24	169 060.31	47.38	176 449.95
Chihuahua	10 798.67	0.79	9 674.93	0.70	135 953.55	9.79	156 427.15
Ciudad de México	8 426.23	0.19	120.61	0.00	2 829.59	0.07	11 376.43
Durango	2 913.64	0.88	4 535.94	1.37	69 669.54	20.73	77 119.12
Guanajuato	9 373.47	0.65	7 863.81	0.54	125 127.29	8.74	142 364.57
Guerrero	2 207.36	0.67	2 380.64	0.73	106 542.87	32.75	111 130.88
Hidalgo	2 971.43	0.66	1 859.04	0.41	119 784.07	26.90	124 614.55
Jalisco	15 706.57	0.65	19 957.39	0.79	186 661.05	6.86	222 325.01
México	16 369.86	0.54	3 904.01	0.12	152 027.28	5.18	172 301.15
Michoacán	5 881.70	0.66	17 819.61	1.90	100 321.26	9.41	124 022.56
Morelos	2 169.25	0.85	1 483.07	0.58	35 806.00	13.99	39 458.32

*Continúa*

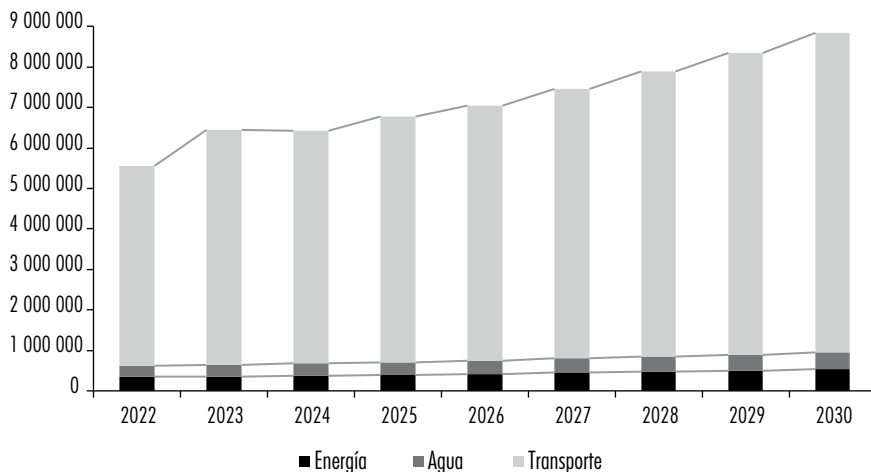
**Tabla 6. Estimación de requerimientos de infraestructura, 2022-2030 (millones de pesos) (continuación)**

Entidad federativa	Energía		Agua		Transporte		Total
	MXN\$	%PIBE	MXN\$	%PIBE	MXN\$	%PIBE	
Nayarit	1 670.57	0.87	2 103.73	1.08	50 311.95	26.21	54 086.25
Nuevo León	15 842.64	0.57	1 564.94	0.06	127 239.83	5.12	144 647.40
Oaxaca	2 486.86	0.70	3 048.08	0.85	156 652.68	42.80	162 187.61
Puebla	7 416.02	0.69	5 274.33	0.47	117 483.43	11.11	130 173.78
Querétaro	5 443.07	0.68	2 662.36	0.33	59 839.95	7.73	67 945.38
Quintana Roo	4 197.97	0.72	665.28	0.12	72 874.39	14.61	77 737.65
San Luis Potosí	4 412.14	0.63	4 707.86	0.68	135 637.93	19.60	144 757.93
Sinaloa	5 852.31	0.87	9 662.67	1.46	62 560.89	8.84	78 075.87
Sonora	9 247.94	1.02	10 412.75	1.17	77 455.30	8.24	97 115.99
Tabasco	2 425.34	0.44	1 432.15	0.26	81 761.00	14.48	85 618.50
Tamaulipas	6 907.72	0.76	2 428.65	0.26	101 615.02	11.68	110 951.39
Tlaxcala	1 576.55	0.81	718.10	0.35	48 253.34	26.34	50 547.99
Veracruz	6 910.10	0.70	9 127.19	0.93	133 707.20	13.61	149 744.50
Yucatán	4 039.91	0.72	2 215.69	0.39	120 996.44	22.52	127 252.03
Zacatecas	2 110.43	0.71	3 312.44	1.11	103 158.08	34.77	108 580.95
Total	188 058.37		147 355.21		2 930 124.20		3 265 537.79

Nota: cifras a precios constantes (2018=100).

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Demanda anual de infraestructura (millones de pesos)



Nota: los requerimientos de infraestructura al 2030 resultan de la resta del total de demanda en el 2030 respecto a la del 2022.

Fuente: elaboración propia.

Los requerimientos de infraestructura en el sector energía son de MXN\$188 058.37 millones (0.77% del PIB) donde destacan los estados mexicanos de Sonora, Baja California Sur, Durango y Nayarit con los mayores requerimientos para los próximos años. Los requerimientos en agua ascienden a MXN\$147 355.21 millones (0.61% del PIB) al 2030, destacando las entidades de Michoacán, Sinaloa, Durango y Chiapas con los mayores requerimientos. Los requerimientos en el sector transporte oscilan entre MXN\$57 6281.91 (2.37% del PIB)<sup>10</sup> y MXN\$2 930 124.20 (12.07% del PIB) millones siendo Chiapas, Oaxaca, Campeche y Zacatecas los estados con mayores requerimientos.

Estas estimaciones muestran también que las entidades con menores requerimientos en los tres sectores son: Ciudad de México, Estado de México y Nuevo León. Esto ilustra y comprueba que las entidades con menor desarrollo económico (véanse figuras 3 a 5) tienen mayores requerimientos de infraestructura. Además, las entidades con altos requerimientos de infraestructura tienen un alto grado de vulnerabilidad al cambio climático.<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Véase Apéndice.

<sup>11</sup> Compárese con el *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático* del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

Figura 3. Requerimientos de infraestructura: energía (2022-2030)



Nota: para la elaboración de los mapas se utilizó el Marco Geoestadístico 2024 (INEGI) y los resultados de la tabla 5.  
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Requerimientos de infraestructura: agua (2022-2030)



Nota: para la elaboración de los mapas se utilizó el Marco Geoestadístico 2024 (INEGI) y los resultados de la tabla 5.  
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Requerimientos de infraestructura: transporte (2022-2030)



Nota: para la elaboración de los mapas se utilizó el Marco Geoestadístico 2024 (INEGI) y los resultados de la tabla 5.

Fuente: elaboración propia.

Los costos anuales de infraestructura con referencia a un estimado<sup>12</sup> del PIB nacional se presentan en la tabla 7. Estos escenarios prospectivos muestran que la demanda de infraestructura de cada sector con respecto al PIB se incrementa sustancialmente, destacando el sector transporte (con 28.21% del producto para el 2030). Estos costos de transporte se asocian al costo de construcción de carreteras, lo que ilustra la inviabilidad del actual estilo de desarrollo en el sector transporte donde predomina el uso de auto privado. Un análisis de sensibilidad<sup>13</sup> considerando sólo costos paramétricos de pavimentación con infraestructura de transporte básica, revela que los costos de la demanda prospectiva al 2030 se reduzcan en 80% llegando a representar 5.62% del PIB. Lo anterior ilustra la importancia de considerar el alcance de los costos.<sup>14</sup>

La inversión física promedio del sector energético es de 1.15%, de 0.28% en agua y de 0.13% en transporte del PIB entre 1993 y 2023 (Secretaría de

<sup>12</sup> Se pronosticó la trayectoria del PIB mediante un ARIMA, suavizado con el Filtro HP, considerando los datos históricos trimestrales del 1993/01 al 2024/03.

<sup>13</sup> Véase Apéndice.

<sup>14</sup> *Idem.*

**Tabla 7. Demanda de infraestructura anual, 2022-2030 (millones de pesos)**

Año	Energía		Agua		Transporte			
	MXN\$	% PIB	MXN\$	% PIB	MXN\$	Escenario alto	Escenario bajo	% PIB
2022	340 386.52	1.40	271 505.98	1.12	4 955 145.16	20.41	979 990.05	4.04
2023	360 700.70	1.44	288 711.03	1.15	5 804 097.72	23.15	1 147 889.28	4.58
2024	379 604.32	1.50	303 050.37	1.20	5 744 353.30	22.69	1 136 073.49	4.49
2025	394 848.04	1.50	315 002.00	1.20	6 062 881.37	23.08	1 196 597.33	4.55
2026	418 132.58	1.56	333 257.07	1.25	6 290 546.71	23.51	1 241 530.37	4.64
2027	443 599.71	1.64	353 063.19	1.31	6 661 310.47	24.62	1 314 705.96	4.86
2028	470 436.65	1.72	373 882.62	1.37	7 050 132.31	25.84	1 391 445.58	5.10
2029	498 656.18	1.81	395 830.46	1.44	7 457 572.82	27.05	1 471 859.85	5.34
2030	528 444.89	1.89	418 861.20	1.50	7 885 269.37	28.21	1 556 271.95	5.57

Nota: cifras a precios constantes (2018=100).

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 8. Costos de adaptación en infraestructura, 2022-2030 (% PIB)**

Región	Sector	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Noreste	Energía	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05
	Agua	0.00 - 0.02	0.00 - 0.02	0.00 - 0.02	0.00 - 0.02	0.00 - 0.02	0.00 - 0.02	0.00 - 0.03	0.00 - 0.03	0.00 - 0.03
	Transporte	0.11 - 0.54	0.12 - 0.61	0.12 - 0.61	0.12 - 0.61	0.12 - 0.62	0.13 - 0.65	0.14 - 0.69	0.14 - 0.72	0.15 - 0.75
Noroeste	Energía	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05	0.01 - 0.06	0.01 - 0.06
	Agua	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05	0.01 - 0.06	0.01 - 0.06
Occidente	Transporte	0.10 - 0.49	0.10 - 0.49	0.10 - 0.49	0.10 - 0.50	0.10 - 0.51	0.11 - 0.53	0.11 - 0.56	0.12 - 0.59	0.12 - 0.61
	Energía	0.01 - 0.03	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05
	Agua	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05	0.01 - 0.06	0.01 - 0.06	0.01 - 0.06	0.01 - 0.06	0.01 - 0.06	0.01 - 0.07	0.01 - 0.07
Centro	Transporte	0.12 - 0.58	0.13 - 0.62	0.13 - 0.63	0.13 - 0.63	0.13 - 0.64	0.13 - 0.67	0.14 - 0.70	0.15 - 0.73	0.15 - 0.76
	Energía	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.04	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05	0.01 - 0.05
	Agua	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.01 - 0.02	0.01 - 0.02	0.01 - 0.02	0.01 - 0.02
Sur	Transporte	0.06 - 0.31	0.08 - 0.39	0.08 - 0.39	0.08 - 0.39	0.08 - 0.39	0.08 - 0.41	0.09 - 0.43	0.09 - 0.45	0.09 - 0.47
	Energía	0.01 - 0.02	0.01 - 0.02	0.01 - 0.02	0.01 - 0.02	0.01 - 0.02	0.01 - 0.02	0.01 - 0.02	0.01 - 0.02	0.01 - 0.02
	Agua	0.00 - 0.02	0.00 - 0.02	0.00 - 0.02	0.00 - 0.02	0.00 - 0.02	0.00 - 0.02	0.00 - 0.03	0.00 - 0.03	0.00 - 0.03
Sureste	Transporte	0.10 - 0.51	0.12 - 0.60	0.12 - 0.60	0.12 - 0.60	0.12 - 0.60	0.13 - 0.63	0.13 - 0.66	0.14 - 0.68	0.14 - 0.71
	Energía	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01
	Agua	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01	0.00 - 0.01
	Transporte	0.05 - 0.25	0.06 - 0.30	0.06 - 0.30	0.06 - 0.30	0.06 - 0.30	0.06 - 0.31	0.07 - 0.33	0.07 - 0.34	0.07 - 0.36

Fuente: elaboración propia.

Hacienda y Crédito Público [SHCP]).<sup>15</sup> Así, la economía mexicana presentaría una brecha en infraestructura energética de 0.75%, del agua 1.22% y del transporte 28.08% (o 5.44% en el escenario bajo) del PIB en un escenario BAU al 2030.

Los costos de adaptación en infraestructura, que reducen la exposición y vulnerabilidad al cambio climático, se obtienen ponderando de acuerdo con la vulnerabilidad municipal<sup>16</sup> y contemplando dos porcentajes referenciales (2 y 10%) por regiones del país (véase tabla 8). Esta inversión adicional debe entonces alinearse con un desarrollo resiliente al clima (IPCC, 2022).

## 5. COMENTARIOS DE POLÍTICA PÚBLICA

Los servicios de energía, agua y transporte son fundamentales para la realización de las actividades económicas, el bienestar de la población y el tránsito a un desarrollo sostenible. La provisión eficiente y de calidad de estos servicios contribuyen a cerrar las brechas de los ODS (Brichetti *et al.*, 2021), para la adaptación al cambio climático (Serebrisky, 2015) y para transitar a una economía carbono neutral (OCDE, 2017).

La construcción de esta infraestructura requiere considerar una planificación de largo plazo que contemple los siguientes aspectos:

En el sector energético, la producción de energía primaria por fuentes renovables se ha duplicado desde 2010 (cuando representó el 6.9%; en 2023 fue del 16.75%); sin embargo, la matriz energética sigue dominando los combustibles fósiles (representa más del 80%). En este contexto, la inversión presupuestaria en el sector eléctrico desde 1993 al 2023 es del 0.2% del PIB<sup>17</sup> y se proyecta para el 2030 una demanda de infraestructura a nivel nacional del 1.63% del PIB, lo que sigue una brecha de 1.43% y donde no existe una transición a una economía carbono neutral.

En este sentido, la inversión en energía debe ampliar la base de fuentes renovables, particularmente en los estados de Sonora, Baja California y Durango; estas entidades comparten características climáticas y sociales similares: la presencia de lluvias es baja y predominan las altas temperaturas,<sup>18</sup> lo que hace viable la utilización de energía solar. Las entidades que siguen con mayores

<sup>15</sup> Datos obtenidos de la SHCP.

<sup>16</sup> Véase Apéndice.

<sup>17</sup> De acuerdo con SHCP.

<sup>18</sup> De acuerdo con la CONAGUA y Servicio Meteorológico Nacional.

requerimientos de energía son Chiapas y Campeche, donde persiste un alto rezago social y la fuente de energía renovable predominante es hídrica.<sup>19</sup> En este caso, las inversiones deben contemplar un mejor rendimiento económico y aprovechar la reducción de costos de tecnologías limpias (OCDE, 2017).

El sector hídrico requiere una inversión en infraestructura para el 2030 equivalente al 1.3% del PIB; en contraste, la inversión presupuestaria federal en agua y saneamiento entre 1993 y 2023 fue, en promedio, de 0.1% del PIB. Esto refleja una brecha de infraestructura de más 1% del PIB. Ello contrasta con los rezagos persistentes en casi 5 millones de personas que no tienen acceso al agua potable y más de 6 millones sin acceso a alcantarillado, con mayor incidencia en los estados de Oaxaca, Guerrero y Chiapas (CONAGUA, 2024). Bajo este contexto, las entidades con mayores requerimientos de infraestructura son Michoacán, Sinaloa y Chiapas, las dos primeras con importante actividad agrícola.

La provisión de agua enfrenta desafíos de financiamiento y ausencia de un precio que refleje adecuadamente su costo real, además persisten esquemas tarifarios con una metodología ambigua (IMCO, 2023). Este análisis contempla el consumo consuntivo total del agua donde un elemento relevante es el sector agropecuario, cuyo consumo representa más del 70% del total nacional (CONAGUA, 2024). Este estudio no evalúa la infraestructura de riego donde es importante considerar las condiciones de uso y los esquemas de concesiones, cuyo consumo incide en la disponibilidad hídrica y en la planificación sobre la provisión futura.

Respecto al sector transporte, presenta los mayores requerimientos de infraestructura debido a los altos costos paramétricos para la construcción de carreteras. La inversión presupuestaria federal fue en promedio del 0.30% del PIB entre 1993 y 2023, e INFRALATAM (2023) estima que es alrededor del 0.90%. Ello indica una brecha de inversión en extremo elevada. Destaca, además, que el crecimiento de la inversión, en términos reales, en el sector transporte del 2010 al 2021 es negativo, y sólo en los últimos años se ha observado una ligera recuperación (atribuido principalmente en la construcción del Tren Maya (OCDE, 2024)).

Las entidades con mayor demanda de infraestructura en transporte son Chiapas, Guerrero, Campeche y Oaxaca, reforzando la evidencia sobre el déficit en infraestructura en el sur del país (Ros, 2015). Las recomendaciones para aliviar este déficit deben considerar diversos aspectos socioeconómicos:

<sup>19</sup> La mayor disponibilidad de agua potable, escurrimiento natural y recarga de acuíferos se encuentra en la Región Hidrológico-Administrativa XI (CONAGUA, 2022).

1) la mayor parte de la movilización de bienes y personas se realiza por auto-transporte (Elizondo y Hernández, 2018), cuyo parque vehicular es superior a 58 millones de unidades.<sup>20</sup> 2) El aumento del ingreso conlleva un aumento del gasto en transporte privado en detrimento del transporte público como porcentaje del gasto total (Galindo *et al.*, 2023). 3) Los impuestos sobre las externalidades del transporte son ineficientes; el Impuesto Sobre Automóviles Nuevos (ISAN) afecta más a la tecnología nueva en lugar de la antigua que es más contaminante (Galán, 2019) e impuestos especiales a la gasolineros y diésel (IEPS-GYD), cuyos subsidios no refleja el costo de las externalidades. Este estilo de desarrollo no es sostenible, ya que genera externalidades negativas significativas (contaminación atmosférica local, accidentes, congestión de tráfico y emisiones de GEI), que erosionan las bases del actual dinamismo económico (Parry y Small, 2005).

Estos resultados sugieren ampliar la cobertura del transporte público y transitar a la electromovilidad, en contraposición a favorecer el uso del transporte privado. El uso e incremento del transporte público tiene altas probabilidades de reducir las emisiones de GEI (Chávez y Sheinbaum, 2014) aminorando tiempos de traslado y congestión. Un área de oportunidad es la transición a diferentes medios de transporte más resilientes como el ferrocarril.<sup>21</sup> Así, la presente administración federal ha presentado planes<sup>22</sup> para la ampliación de la red ferroviaria de pasajeros y carga; sin embargo, el financiamiento y la implementación de los proyectos es aún incierto. Además, el cambio climático incrementará los costos asociados a reparaciones y reconstrucción de vías primarias en México (Espinete *et al.*, 2016).

La imposición de tarifas e impuestos al sector transporte es crítico para la transición climática y un desarrollo sostenible. Su diseño debe priorizar gravar tecnologías más contaminantes; tarifas a la congestión y tráfico; eliminación progresiva de los subsidios al IEPS-GYD con esquemas de compensación y homologación de impuestos estatales, como la tenencia, para evitar una evasión fiscal. Esto incentivará a la adquisición de autotransporte más resiliente y mayor uso del transporte público (considerando ampliación y cobertura).

Los resultados plantean la urgencia de aumentar la inversión en infraestructura en sectores clave (energía, agua y transporte) y, adicionalmente, en infraestructura social, considerando los cambios en la estructura demográfica

<sup>20</sup> Los automóviles particulares representan casi 2/3 partes seguido de camiones de carga con más del 20%.

<sup>21</sup> En más de dos décadas no se han construido líneas de vías férreas (López, 2021).

<sup>22</sup> Se planea la construcción de vías férreas para pasajeros y carga con más de 3 mil kilómetros de línea.

(Clavellina y Herrera, 2018). Empero, no es factible sin el financiamiento apropiado, a pesar de que la recaudación fiscal ha crecido a razón del PIB en los últimos años, sigue estando por debajo de los países de la OCDE<sup>23</sup> y de ALC (OCDE, 2024).

En este sentido, la expansión de la infraestructura resulta viable en un contexto de reforma fiscal ambiental. Por ejemplo, un precio al carbono podría financiar la brecha de infraestructura vía un Fondo Verde (Jakob *et al.*, 2016), reformas fiscales a los combustibles generarían ingresos en ALC de alrededor del 2% del PIB (Parry *et al.*, 2021). Estas reformas fiscales deben incluir a los estados donde persiste una base fiscal ambiental con una cobertura que abarca a combustibles fósiles y carbón (OCDE, 2024), y donde su incidencia sobre la mitigación de GEI es limitada (Crespo y Basurto, 2024).

## 6. CONCLUSIONES

La inversión en infraestructura es un componente esencial para la transición climática y el desarrollo sostenible. Más aún, el lento crecimiento económico y la generación de un conjunto de externalidades negativas se asocian a un bajo cociente de inversión a PIB y a una inversión en infraestructura que no es sostenible. En este contexto, la adaptación al cambio climático introduce nuevos componentes estructurales de inversión en infraestructura y un diseño más robusto frente a riesgos físicos y de transición.

Es indispensable en México construir una estrategia de inversión en infraestructura sostenible que contribuya al dinamismo económico, al bienestar social y a transitar a una economía baja en carbono y resiliente al clima. Para ello, es necesario estimar la magnitud de la inversión requerida y su destino por entidad federativa. Este trabajo busca atender esta brecha de conocimiento.

Los requerimientos de infraestructura a nivel nacional y estatal en sectores específicos (energía, agua y transporte) se elaboraron con la metodología *top-down* basada en los costos unitarios con información nacional. Se buscó evitar sobreestimar los montos de inversión utilizando costos internacionales, que no consideran la heterogeneidad entre países. Las estimaciones muestran que la brecha anual a nivel nacional en energía y agua es de 0.7 y 1.2% del PIB al 2030, respectivamente, en línea con la literatura. Sin embargo, la brecha en transporte es considerablemente mayor (entre 5.4 y 28.1%) reflejando el alto

<sup>23</sup> Para 2022, la recaudación del conglomerado de la OCDE fue de 34.04%, en México (sin considerar los ingresos petroleros) fue de 17.4%.

costo paramétrico de construcción en México. Esto indica que no es sostenible continuar con el actual estilo de desarrollo donde se privilegia el uso del transporte privado. Asimismo, considerando costos de adaptación de entre 2 y 10% sobre la línea base, incrementaría en promedio a razón de PIB los requisitos anuales de infraestructura proyectados entre 0.05-0.25% en energía, 0.04-0.20% en agua y entre 0.14-0.72% y 0.73-3.67% en transporte. Ello indica que la adaptación climática es un componente estructural que amplía la brecha de infraestructura, redefiniendo las necesidades de financiamiento.

Esto contrasta con un nivel de inversión en infraestructura limitado en los últimos años en México; esto es, el país muestra una razón de inversión pública a PIB de las más bajas en ALC en los últimos 15 años (Fay *et al.*, 2017) con 1.2% del PIB (INFRA LATAM, 2023). A nivel estatal los requerimientos muestran una marcada heterogeneidad; en los sectores de energía y agua, la región noroeste, junto con Chiapas y Michoacán, destaca una mayor demanda de infraestructura, mientras que el sur y occidente revelan los mayores rezagos en transporte, reflejando las carencias sociales, rezagos y abandono persistentes en el desarrollo regional.

Los resultados de la presente investigación sugieren que cerrar la brecha de infraestructura con componentes de adaptación constituye un gran reto macroeconómico. No sólo en aumentar los niveles de inversión resilientes al clima, sino en establecer una estrategia de financiamiento que contemple e internalice los sobrecostos de adaptación en una planeación de desarrollo sostenido a largo plazo.

## APÉNDICE<sup>24</sup>

La estimación de los requerimientos de infraestructura en México requiere que los costos unitarios sean representativos, consistentes y uniformes. Considerando la falta de información oficial que concentre sistemáticamente dichos costos unitarios, se recurrió a diferentes metodologías, consultas a nivel institucional y/o revisión de literatura especializada para la obtención de los costos. Así, la presente nota metodológica tiene como objetivo justificar, solventar y esclarecer los costos utilizados en el artículo referido.

La relación de costos correspondiente a los tres sectores analizados (energía, agua y transporte) tiene como finalidad dar una referencia del costo de

<sup>24</sup> Nota metodológica: estimación de costos y supuestos metodológicos para los requerimientos de infraestructura en México.

provisión para cada sector  $i$ , de acuerdo a la ecuación (1). En los siguientes apartados se aclaran los costos utilizados, fuentes o método para llegar al mismo.

### a) Energía

En el sector energético, el costo unitario se obtuvo a partir de una consulta directa a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), a través de su Unidad de Transparencia. Dicho costo expresa, en pesos por Megawatt-hora (MXN/MWh), el costo de proveer una unidad adicional de energía eléctrica. De acuerdo con la Dirección Corporativa de Operaciones, por medio de la Subdirección de Negocios no Regulados (mediante el oficio UT/SISAI/0100/25), el costo unitario de producción del Parque de Generación de la Comisión en 2024 asciende a 1 737.19 MXN/MWh.

La utilización de dicho costo provee un parámetro a la operación y provisión de energía. Considerando que CFE es el principal operador del sistema eléctrico nacional y una institución que dispone de información agregada y homogénea. Si bien, el modelo inicialmente se trabaja en términos energéticos por Gigawatt/hora (GWh), para la estimación de los costos, los resultados obtenidos se convirtieron previamente a MWh utilizando el factor de conversión estándar (1 GWh = 1,000 MWh). Una vez realizada dicha operación se aplicó el costo equivalente, considerando valores deflactados. Es decir:

$$CT_i = MWh_{i,t} * Costo Unitario_t$$

En este caso corresponde al sector energía, el costo unitario en el momento se deflactó utilizando el Índice de Precios Productor (2019=100). Para el costo prospectivo al 2030, se aplicó una tasa de crecimiento anual del 5.18%, dada la tasa media de crecimiento anual de los años observados. Ello garantiza la trazabilidad, evitando supuestos *ad hoc* de proyectos individuales en este sector.

### b) Agua

Para este sector se realizó un análisis al costo promedio de provisión de agua a nivel nacional. Ello expresado en pesos por metro cúbico (MXN/m<sup>3</sup>), el costo se estimó a partir del gasto neto del sector hídrico y el volumen total de uso consuntivo a nivel nacional (datos disponibles en las Estadísticas del Agua en México de la Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]). Si bien existen

tarifas diferenciadas por entidad federativa o tipo de usuario, no reflejan necesariamente los costos reales en la provisión del servicio. Por un lado, los diversos esquemas están bajo subsidios, regulación o reglas *ad hoc* a nivel local, provocando una alta heterogeneidad y limita el ejercicio de estimación de costos. Por otro lado, en respuesta por la Gerencia de Descentralización y de Transparencia y Acceso a la Información Pública de CONAGUA (folio 330009424003685), se confirmó la inexistencia de información institucional que permitiera la desagregación de costos unitarios por uso (doméstico, industrial y comercio y servicios) o por entidad federativa, más allá de los derechos previstos en la Ley Federal de Derechos (LFD).

Además, con la utilización de tarifas se excluye de manera explícita el uso de agua agrícola, cuyo consumo consuntivo representa más del 70% en promedio a nivel nacional. La inclusión de dicho sector agrícola requiere un análisis más específico que va más allá del alcance de la presente investigación. De esta manera, considerando el gasto neto total institucional de CONAGUA (gasto corriente más gasto en capital) y el uso consuntivo anual, el costo promedio institucional empleado para la provisión del agua es de 3.02 MXN/m<sup>3</sup>. Análogo al sector energía, en el modelo de agua se trabajó con unidades por Hectómetro cúbico de agua (Hm<sup>3</sup>) para mayor facilidad en el manejo de las cifras; al estimar los costos, los resultados derivados de la ecuación (1) se transformaron en metro cúbico por su factor de conversión (1 Hm<sup>3</sup> = 1000000 m<sup>3</sup>). Realizando dicha conversión, se establecieron los costos para el sector:

$$CT_i = m^3_{i,t} * Costo Unitario_t$$

Siendo el sector agua y el año correspondiente a la línea temporal utilizada. Para deflactar el costo, se utilizó el Índice de Precios Productor (2019=100). Para el análisis prospectivo, se aplicó la misma tasa de crecimiento anual que en el sector energía (5.18%). Por último, cabe mencionar que la falta de desagregación no encamina alguna omisión de información, sino a la definición explícito de un costo unitario, de acuerdo al alcance metodológico y la carencia de datos públicos homogéneos.

### c) Transporte

En el presente sector, de igual manera, el costo unitario de proveer de infraestructura carretera devino del análisis del *Tabulador de Costos Paramétricos para la Construcción y Modernización de la Infraestructura Carretera*, correspondien-

te al 2025. Con la finalidad de obtener un costo unitario representativo a nivel nacional, se calculó el promedio por kilómetro (km) efectivo a partir de las carreteras tipo: A2, B2, C2, D2 y ET2. Este tipo de carreteras corresponden a 2 carrillas, cuya representatividad nacional es del 90%. Lo que, de forma agregada, captura un costo requerido para la provisión adicional de un km de carretera y factores asociados a la topología, geográficos, ambientales, etcétera. Desde luego que, en lo particular, elementos como túneles, elevación, drenaje u obras complementarias incrementarían el costo asociado observado.

De esta manera, el costo unitario asciende a 34 408 219.97 (MXN/km). Si se toman los costos de todos los tipos de carreteras, este costo unitario ascendería a 58 593 519.63 MXN/km, lo cual generaría un alto sesgo, sobreestimando los costos. Considerando el modelo de la ecuación (1) correspondiente al sector transporte, se aplican los costos unitarios como:

$$CT_i = km_{i,t} * Costo Unitario_t$$

Donde el costo unitario se deflactó con el Índice de Precios Productor (2019=100), para la temporalidad. De igual manera, para el análisis prospectivo se utilizó una tasa de crecimiento anual del 5.1%. Los resultados del costo unitario por km efectivo de carretera refleja, además de las condiciones o factores anteriormente mencionados, el modelo histórico de transporte basado en expansión vial o automóvil privado. Con este supuesto, los requerimientos calculados dan vicisitud de un escenario de continuidad de esta política (business-as-usual, BAU, por sus siglas en inglés).

### Estimación por GMM

La estimación de los requerimientos de infraestructura se realizó por el método GMM para un panel dinámico, lo que permite capturar la relación entre el flujo del PIB y el acervo de capital a través de la variable dependiente rezagada. Dicha variable se trata como endógena y se instrumenta utilizando rezagos en niveles a partir del segundo periodo, inmerso de la ecuación en primeras diferencias. No obstante, con la finalidad de limitar la proliferación de instrumentos y no sobreidentificar el modelo, se utiliza la opción *collapse*, realizada dentro de la paquetería *Stata*.

Las demás variables explicativas (PIB per cápita, urbanización, participación agrícola e industria) se instrumentaron como variables externas estándar, es decir, se trataron como variables exógenas. Ello bajo un criterio de man-

tener la estabilidad de las estimaciones y de parsimonia. Dado el alcance y el enfoque del estudio, las alternativas de rezagos fueron descartada, ello para obtener estimaciones coherentes, no sobreestimadas y comparables entre sí. Además, el estimador se calculó en dos etapas con errores robustos, esto permite corregir los posibles problemas de heterocedasticidad y autocorrelación, además de las posibles dependencias entre las variables del panel.

Asimismo, se reporta en las salidas la Prueba Hansen y Arellano-Bond AR(2). La primera prueba valida de manera conjunta los instrumentos y tiene como hipótesis nula que los instrumentos son exógenos. Mientras que, la prueba Arellano-Bond, evalúa la autocorrelación serial de los residuos en primeras diferencias. Considerando que se rezaga la variable dependiente, es razonable que se presente autocorrelación de primer orden; sin embargo, es deseable que sea no significativa en segundo orden.

### **Proyecciones y construcción de escenarios prospectivos al 2030**

En la construcción de los escenarios al 2030 de las variables macroeconómicas y demográficas a nivel estatal, se realizó en un escenario de continuidad BAU. Es decir, se asume persistencia en las tendencias históricas de cada una de las variables al 2030. Esta referencia se estima para la evaluación de los requerimientos de infraestructura, objetivo del presente artículo.

Primero, considerando las variables del PIBE y sectoriales (agricultura y manufactura), así como la población urbana, que fueron suavizadas mediante el procedimiento del filtro Hodrick-Prescott, cuya finalidad es extraer el componente tendencial y minimizar las fluctuaciones cíclicas de corto plazo. Este procedimiento se realizó para las 32 entidades federativas de manera separada. Segundo, estas tendencias se utilizaron para estimar modelos autorregresivos integrados de medias móviles (ARIMA), los cuales coadyuvaron en la construcción de trayectorias prospectivas al 2030, ello teniendo en cuenta los criterios de estándar de ajuste y parsimonia. Tercero, para cada variable se aseguró la ausencia de autocorrelación serial en los residuos en los modelos estimados. Ello mediante la Prueba Ljung-Box que indica que los errores son ruido blanco (*white noise*). Este procedimiento asegura que las proyecciones realizadas (utilizadas en el apartado de Resultados) se generen sin dependencia serial.

En lo que respecta a las proyecciones poblacionales totales, se utilizaron como referencia institucional las estimaciones del Consejo Nacional de Po-

blación (CONAPO). De esta manera, se integraron estos resultados a los coeficientes estimados en la ecuación (1) y así proyectarlos al 2030. Este enfoque permite que las tendencias sean coherentes y comparables entre sí (tanto por entidad federativa y sectores), sin dependencia de supuestos arbitrarios.

### **Análisis de sensibilidad de los costos del sector transporte**

Como se mencionó a lo largo del artículo, en México, la política de movilidad ha privilegiado el transporte privado, cuyo modelo de crecimiento no es sostenible a largo plazo. Esto se ve reflejado en los altos requerimientos de infraestructura, enfocado en la infraestructura carretera. No obstante, con la finalidad de tener un parámetro de comparación en el sector transporte, se realizó un ejercicio con un escenario diferente a los costos establecidos en el apartado “Base de datos” de la sección 4.

Cabe mencionar que los costos unitarios utilizados en el presente artículo, reflejan costos integrales de proveer un kilómetro efectivo de vialidad moderna, que consideran obras complementarias, condiciones topográficas y diferentes tipos de carreteras. Sin embargo, se utilizó un escenario alternativo, conservador y simplificador de los costos: los costos paramétricos para pavimentación, de la SICT, de los que se retoma el costo paramétrico de un  $\text{km}^2$  de vialidad primaria para pavimentación. Este costo, para 2024, asciende a 928.00 (MXN\$/ $\text{m}^2$ ). Sin embargo, este parámetro excluye elementos como obras complementarias, libramientos, etcétera, lo que sugiere la importancia de la utilización de los costos institucionales dados por el escenario base.

Primero, se realiza una transformación de este costo. De acuerdo con el *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, 2018*, de la SICT, el ancho de carretera de 1 carril consta de 3.5 metros. Por ende, dada la utilización del costo promedio de dos carriles en el escenario base del artículo, el ancho de dos carriles es de 7 metros. Por lo que el costo por kilómetro efectivo de carretera bajo este escenario alternativo es de 6 496 000.00 (MXN/km). Siguiendo con la metodología, se aplica este costo deflactado de acuerdo a los resultados de la ecuación (1) manteniendo constante las trayectorias y supuestos prospectos al 2030. En las tablas 9 y 10, se presenta los resultados de este escenario bajo, junto al escenario base.

**Tabla 9. Estimación de requerimientos de infraestructura-transporte, 2022-2030  
(millones de pesos)**

<i>Entidad federativa</i>	<i>Escenario alto</i>		<i>Escenario bajo</i>	
	<i>MXN\$</i>	<i>% del PIBE</i>	<i>MXN\$</i>	<i>% del PIBE</i>
Aguascalientes	27 332.27	5.44	5 377.86	1.20
Baja California	51 714.05	3.90	10 171.56	0.75
Baja California Sur	38 037.56	14.84	7 480.07	2.82
Campeche	56 872.88	41.20	11 176.30	1.49
Coahuila	85 175.41	8.10	16 753.29	1.22
Colima	17 661.78	8.09	3 471.69	1.51
Chiapas	169 060.31	47.38	33 281.15	6.52
Chihuahua	135 953.55	9.79	26 721.21	1.88
Ciudad de México	2 829.59	0.07	557.26	0.01
Durango	69 669.54	20.73	13 686.20	2.78
Guanajuato	125 127.29	8.74	24 610.87	1.51
Guerrero	106 542.87	32.75	20 945.28	4.42
Hidalgo	119 784.07	26.90	23 584.37	4.05
Jalisco	186 661.05	6.86	36 671.28	1.25
México	152 027.28	5.18	29 920.40	0.97
Michoacán	100 321.26	9.41	19 704.04	1.81
Morelos	35 806.00	13.99	7 045.73	1.92
Nayarit	50 311.95	26.21	9 895.69	4.14
Nuevo León	127 239.83	5.12	25 056.84	0.98
Oaxaca	156 652.68	42.80	30 826.10	5.25
Puebla	117 483.43	11.11	23 120.24	1.99
Querétaro	59 839.95	7.73	11 780.60	1.47
Quintana Roo	72 874.39	14.61	14 346.24	2.95
San Luis Potosí	135 637.93	19.60	26 675.86	3.39
Sinaloa	62 560.89	8.84	12 284.59	1.40

*Continúa*

**Tabla 9. Estimación de requerimientos de infraestructura-transporte, 2022-2030 (millones de pesos) (continuación)**

<i>Entidad federativa</i>	<i>Escenario alto</i>		<i>Escenario bajo</i>	
	<i>MXN\$</i>	<i>% del PIBE</i>	<i>MXN\$</i>	<i>% del PIBE</i>
Sonora	77 455.30	8.24	15 201.45	1.07
Tabasco	81 761.00	14.48	16 083.99	1.74
Tamaulipas	101 615.02	11.68	19 993.43	1.88
Tlaxcala	48 253.34	26.34	9 502.77	4.89
Veracruz	133 707.20	13.61	26 260.71	1.51
Yucatán	120 996.44	22.52	23 809.43	4.57
Zacatecas	103 158.08	34.77	20 285.40	6.03
Total	2 930 124.20		576 281.91	

Nota: cifras a precios constantes (2018=100).

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 10. Demanda de infraestructura anual-sector transporte, 2022-2030 (millones de pesos)**

<i>Año</i>	<i>Escenario alto</i>		<i>Escenario bajo</i>	
	<i>MXN\$</i>	<i>% del PIB</i>	<i>MXN\$</i>	<i>% del PIB</i>
2022	4 955 145 163 032.47	20.41	979 990 048 025.16	4.04
2023	5 804 097 723 888.91	23.15	1 147 889 278 726.13	4.58
2024	5 744 353 299 138.82	22.69	1 136 073 491 346.81	4.49
2025	6 062 881 373 805.52	23.08	1 196 597 326 142.54	4.55
2026	6 290 546 707 389.83	23.51	1 241 530 372 432.93	4.64
2027	6 661 310 469 531.72	24.62	1 314 705 963 221.55	4.86
2028	7 050 132 308 200.05	25.84	1 391 445 576 585.34	5.10
2029	7 457 572 820 204.39	27.05	1 471 859 854 412.54	5.34
2030	7 885 269 367 376.76	28.21	1 556 271 953 741.74	5.57

Nota: cifras a precios constantes (2018=100).

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, tanto los requerimientos por entidad federativa y la demanda estimada para el 2030 son 80.0% menores respecto al año base. Esto confirma la sensibilidad de la utilización de costos. Se comprueba que, excluyendo obras complementarias, derecho de vía o diferentes componentes en la provisión de transporte, la estimación de los costos y requerimientos se reducen. En este sentido, los resultados del escenario base no reflejan una inconsistencia, sino que responden al uso de costos más amplios que incorporan factores implícitos, como condiciones topográficas y otros costos asociados a la provisión de infraestructura.

Por último, a pesar de que el rango entre el escenario base y alterno, los altos requerimientos de este sector reflejan el modelo de transporte privado, dejando de lado la inversión en transporte público sostenible. Además, es reflejo de la baja inversión del sector, de acuerdo con la SHCP la inversión a razón del PIB se ha mantenido constante en los últimos 20 años (alrededor de 3%, en promedio, incluyendo comunicaciones).

### **Costos de adaptación al cambio climático**

Como se menciona en el apartado de “Resultados” en la sección 4, se calculan los costos de adaptación como un porcentaje adicional aplicado a los requerimientos de infraestructura estimados anteriormente en la misma sección. Se consideraron dos escenarios alternativos: escenario bajo (un *mark-up* de 1%) y un escenario alto (*mark-up* de 10%). Los anteriores porcentajes deben interpretarse como valores promedio, no así como estimaciones específicas. Estas estimaciones son entonces consistentes con la literatura. Además, con el objetivo de incluir heterogeneidad regional, así vincularlos a los costos de adaptación y vulnerabilidad climática, se empleó un ponderador utilizando información del *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático* del INECC, específicamente en la vulnerabilidad a nivel municipal en asentamientos humanos a inundaciones. Considerando únicamente aquellos municipios clasificados con niveles de riesgo muy alto, alto y medio.

De esta forma, cada entidad federativa presenta un indicador de vulnerabilidad de acuerdo a la participación relativa de los municipios en riesgo sobre el total de los mismos. Este indicador normalizado garantiza una comparabilidad entre las entidades y considera la heterogeneidad en los riesgos de cada una de las mismas. Posteriormente, se construye un factor de ajuste aplicado a los requerimientos de infraestructura (2022-2030) por cada enti-

dad federativa, así como por cada uno de los sectores. Cabe mencionar que la utilización de este ponderador es un ajuste relativo, no pretende incorporar el complejo mecanismo de riesgos climático, ya que no es el alcance de la presente investigación.

En este sentido, se sintetizan los resultados a nivel nacional (véase tabla 11) y a nivel regional (véase tabla 8). Tomando la regionalización propia que realiza el INECC en seis regiones: Noreste (Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas), Noroeste (Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Sinaloa y Sonora), Occidente (Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit y Querétaro), Centro (Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala), Sur (Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz) y Sureste (Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán).

**Tabla 11. Costos de adaptación en infraestructura, 2022-2030 (% del PIB)**

Año	Energía	Agua	Transporte	
			Escenario bajo	Escenario alto
2022	0.04 - 0.18	0.03 - 0.15	0.11 - 0.53	0.54 - 2.68
2023	0.04 - 0.19	0.03 - 0.16	0.12 - 0.60	0.60 - 3.00
2024	0.04 - 0.20	0.03 - 0.16	0.12 - 0.60	0.60 - 3.01
2025	0.04 - 0.20	0.03 - 0.16	0.12 - 0.60	0.60 - 3.02
2026	0.04 - 0.21	0.03 - 0.17	0.12 - 0.60	0.61 - 3.06
2027	0.04 - 0.22	0.04 - 0.18	0.13 - 0.63	0.64 - 3.21
2028	0.05 - 0.23	0.04 - 0.19	0.13 - 0.66	0.67 - 3.36
2029	0.05 - 0.24	0.04 - 0.19	0.14 - 0.69	0.70 - 3.52
2030	0.05 - 0.25	0.04 - 0.20	0.14 - 0.72	0.73 - 3.67

Fuente: elaboración propia.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo otorgado durante la realización de esta investigación. Así como los comentarios del doctor Saúl Basurto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Asian Development Bank (2017). Meeting Asia's infrastructure needs. *Asian Development Bank*. <http://dx.doi.org/10.22617/FLS168388-2>
- Bhattacharya, A., Romani, M. y Stern, N. (2012). Infrastructure for development: meeting the challenge. (Centre for Climate Change Economics and Policy Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Policy Paper). Centre for Climate Change Economics. <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/publication/infrastructure-for-development-meeting-the-challenge/>
- Brichetti, J. P., Mastronardi, L., Rivas, M. E., Serebrisky, T. y Solís, B. (2021). La brecha de infraestructura en América Latina y el Caribe: estimación de las necesidades de inversión hasta 2030 para progresar hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. (Monografía del BID; 962). Banco Interamericano de Desarrollo. <http://www.iadb.org>
- CAF (2011). La infraestructura en el desarrollo integral de América Latina. Banco de Desarrollo de América Latina. [https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/345/infraestructura\\_desarrollo\\_america\\_latina\\_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/345/infraestructura_desarrollo_america_latina_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Calderón, C. y Servén, L. (2004). The effects of infrastructure development on growth and income distribution. (Working Papers Central Bank of Chile 270). Central Bank of Chile. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/438751468753289185/pdf/WPS3400.pdf>
- Capozza, I. y Samson, R. (2019). Towards green growth in emerging market economies: Evidence from environmental performance reviews. *OECD Green Growth Papers, 2019/01*. <http://dx.doi.org/10.1787/d5e5b5d7-en>
- Castellani, F., Olarreaga, M., Panizza, U. y Zhou, Y. (2019). Investment gaps in Latin America and the Caribbean. *Revue Internationale de Politique de Développement, 11(1)*. <http://dx.doi.org/10.4000/poldev.2894>
- Cavallo, E., Powell, A. y Serebrisky, T. (2020). *De estructuras a servicios. El camino a una mejor infraestructura en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0002505>

- Chávez, C. y Sheinbaum, C. (2014). Sustainable passenger road transport scenarios to reduce fuel consumption, air pollutants and GHG (greenhouse gas) emissions in the Mexico City Metropolitan Area. *Energy*, 66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.047>
- Clavellina, J. L. y Herrera, V. (2018). Principales presiones de gasto público en México. En N. Pérez (coord.). *Panorama de la sostenibilidad fiscal en México* (pp. 112-114). Instituto Belisario Domínguez.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Servicio Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- \_\_\_\_\_ (2003-2022). Sistema Nacional de Información del Agua. Estadísticas del Agua en México. [https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/port\\_publicaciones.html](https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/port_publicaciones.html)
- \_\_\_\_\_ Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento (2024). <https://www.gob.mx/conagua/documentos/situacion-del-subsector-agua-potable-drenaje-y-saneamiento>
- CONAPO (2023). Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas, 2020-2070. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/bases-de-datos-de-la-conciliacion-demografica-1950-a-2019-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-2020-a-2070?idiom=es>
- Crespo, F. A. y Basurto, S. (2024). Impuestos ambientales y su influencia sobre la mitigación de emisiones estatales. *Sobre México. Temas de Economía*, 1(10). <http://dx.doi.org/10.48102/rsm.v1i10.154>
- Deryugina, T. y Hsiang, S. (2014). Does the environment still matter? Daily temperature and income in the United States. *National Bureau of Economic Research, Working Paper*, 20750. <http://dx.doi.org/10.3386/w20750>
- Elizondo, A. y Hernández, T. (2018). Regulación de las emisiones de CO<sub>2</sub> para vehículos ligeros en México. *Gestión y Política Pública*, XXVII(2). <http://dx.doi.org/10.29265/gypp.v27i2>
- Espinet, X., Schweikert, A., Heever, N. y Chinowsky, P. (2016). Planning resilient roads for the future environment and climate change: Quantifying the vulnerability of the primary transport infrastructure system in Mexico. *Transport Policy*, 50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.06.003>
- Fankhauser, S. (2009). The cost of adaptation. *Centre for Climate Change Economics and Policy*, 8. <http://dx.doi.org/10.1002/wcc.14>
- Fay, M. y Yepes, T. (2003). Investing in infrastructure: what is needed from 2000 to 2010? (World Bank Policy Research Working Paper 3102). [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=636464](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=636464)
- \_\_\_\_\_ y Morrison, M. (2007). Infrastructure in Latin America and the Caribbean: recent developments and key challenges. *Infrastructure*, 37899(1). <http://dx.doi.org/10.1596/978-0-8213-6676-9>

- \_\_\_\_\_, Iimi, A. y Perrissin, B. (2010). Financing greener and climate-resilient infrastructure in developing countries: challenges and opportunities. *EIB Papers*, 15(2). <http://hdl.handle.net/10419/45369>.
- \_\_\_\_\_, Toman, M., Benitez, D. y Csordas, S. (2011). Infrastructure and Sustainable Development. En S. Fardoust, Y. Kim y C. Paz (eds.). *Postcrisis growth and development* (pp. 329-382). The World Bank.
- \_\_\_\_\_, Andres, L. A., Fox, C., Narloch, U., Straub, S. y Slawson, M. (2017). Rethinking infrastructure in Latin America and the Caribbean. (Working Paper, 114110). World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/676711491563967405>
- Galán, J. (2019). Impuestos ambientales en México y experiencias internacionales. (Cuadernos de Investigación en Finanzas Públicas). Instituto Belisario Domínguez. <http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/handle/123456789/4693>
- Galindo, L. M., Hoffman, B. y Vogt-Schilb, A. (2022). ¿Cuánto costará lograr los objetivos del cambio climático en América Latina y el Caribe? (Documento de Trabajo DB-WP-01310). Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0004021>
- \_\_\_\_\_, Basurto, S. y González, F. (2023). Reforma fiscal ambiental y patrones de consumo en México: elementos para una transición climática justa. *Economía Informa*, 442. <http://www.economia.unam.mx/assets/pdfs/econinfo/442/02LuisMiguel.pdf>
- Gaspar, V., Amaglobeli, D., García, M., Prady, D. y Soto, M. (2019). Fiscal policy and development: human, social, and physical investments for the SDGs. (Discussion Notes, 2019/003). International Monetary Fund. <https://www.imf.org/en/Publications/Staff-Discussion-Notes/Issues/2019/01/18/Fiscal-Policy-and-Development-Human-Social-and-Physical-Investments-for-the-SDGs-46444>
- Hallegatte, S., Rentschler, J. y Rozenberg, J. (2019). Lifelines: tomando acción hacia una infraestructura más resiliente. Banco Mundial. <http://dx.doi.org/10.1596/978-1-4648-1430-3>
- Hughes, G., Chinowsky, P. y Strzepek, K. (2010). The cost of adapting to climate change for infrastructure. World Bank. [https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/sites/default/files/2022-05/DCCDP\\_2Infrastructure.pdf](https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/sites/default/files/2022-05/DCCDP_2Infrastructure.pdf)
- Hutton, G. y Varughese, M. (2016). The costs of meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene. Banco Mundial. <https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/>

- the-costs-of-meeting-the-2030-sustainable-development-goal-targets-on-drinking-water-sanitation-and-higiene
- IMCO (2023). El costo del agua en México: un análisis de tarifas y de sus impactos para la sociedad. Instituto Mexicano para la Competitividad. [https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2023/08/Investigacion\\_Costo-real-del-agua-en-Mexico\\_31082023-1.pdf](https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2023/08/Investigacion_Costo-real-del-agua-en-Mexico_31082023-1.pdf)
- INECC. *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático*. <https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/atlas/>
- INEGI. Censos y Conteo de Población y Vivienda (2000, 2005, 2010 y 2020). <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- \_\_\_\_\_, Cuentas Nacionales. <https://en.www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0>
- \_\_\_\_\_, Marco Geoestadístico de México 2024. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#descargas>
- INFRA LATAM (2023). Datos de inversión pública en infraestructura económica en América Latina y el Caribe. <https://www.infralatam.info/>
- IPCC (2022). *Climate Change 2022: impacts, adaptation and vulnerability*. (Summary for Policymakers). Cambridge University Press. <http://dx.doi.org/10.1017/9781009325844.001>
- Jakob, M., Chena, C., Fuss, S., Marxen, A., Rao, N. y Edenhofer, O. (2016). Carbon pricing revenues could close infrastructure access gaps. *World Development*, 84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.03.001>
- Kennedy, C. y Corfee-Morlot, J. (2013). Past performance and future needs for low carbon climate resilient infrastructure - An investment perspective. *Energy Policy*, 59(C). <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.031>
- Kohli, H. A. y Basil, P. (2011). Requirements for infrastructure investment in Latin America under alternate growth scenarios: 2011-2040. *Global Journal of Emerging Market Economies*, 3(1). <http://dx.doi.org/10.1177/0974910111000300>
- Labra, R. y Torrecillas, C. (2018). Estimating dynamic panel data, a practical approach to perform long panels. *Revista Colombiana de Estadística*, 41(1). <http://dx.doi.org/10.15446/rce.v41n1.61885>
- López, R. (2021). A dos décadas de la privatización del ferrocarril en México: los casos de Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, y Empalme, Sonora (México). *Revista Digital de Historia y Arqueología desde el Caribe colombiano*, 44. <http://dx.doi.org/10.14482/memor.44.972>
- Loría, E. y de Jesús, L. (2007). Los acervos de capital en México. Una estimación, 1980-2024. *El Trimestre Económico*, 74(294). <http://dx.doi.org/10.20430/ete.v74i294.373>

- McKinsey Global Institute (2013). Infrastructure productivity: how to save \$1 trillion a year. (McKinsey Infrastructure Practice Report). McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/infrastructure-productivity>
- \_\_\_\_\_ (2020). Will infrastructure bend or break under climate stress? McKinsey and Company. <https://www.mckinsey.com/-/media/mckinsey/business%20functions/sustainability/our%20insights/will%20infrastructure%20bend%20or%20break%20under%20climate%20stress/will-infrastructure-bend-or-break-under-climate-stress-case-study-old.pdf>
- OCDE (2006). Infrastructure to 2030: Telecom, Land Transport, Water and Electricity. *OECD Publishing*. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264023994-en>.
- \_\_\_\_\_ (2017). Investing in Climate, Investing in Growth. *OECD Publishing*. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264273528-en>.
- \_\_\_\_\_ (2020). Green Infrastructure in the Decade for Delivery: Assessing Institutional Investment, Green Finance and Investment. *OECD Publishing*. <http://dx.doi.org/10.1787/f51f9256-en>.
- \_\_\_\_\_ (2024). Economic Surveys: Mexico 2024. *OECD Publishing*. <http://dx.doi.org/10.1787/b8d974db-en>
- Parry, I. y Small, K. (2005). Does Britain or the United States have the right gasoline tax? *American Economic Review*, 95(4). <http://dx.doi.org/10.1257/0002828054825510>
- \_\_\_\_\_, Black, S. y Vernon, N. (2021). Still not getting energy prices right: a global and country update of fossil fuel subsidies. (Working Paper, 21/236). International Monetary Fund. <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2021/09/23/Still-Not-Getting-Energy-Prices-Right-A-Global-and-Country-Update-of-Fossil-Fuel-Subsidies-466004>
- Perrotti, D. y Sánchez, R. (2011). La brecha de infraestructura en América Latina y el Caribe. (Recursos naturales e infraestructura 153). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. [repositorio.cepal.org/entities/publication/4271a0cd-32ad-4719-909d-06076db2e6fc](https://repositorio.cepal.org/entities/publication/4271a0cd-32ad-4719-909d-06076db2e6fc)
- Roodman, D. (2009). How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata. *Stata Journal*, 9(1). <https://doi.org/10.1177/1536867X0900900106>
- Ros, J. (2015). *¿Cómo salir de la trampa del lento crecimiento y alta desigualdad?* El Colegio de México y Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rozenberg, J. y Fay, M. (2019). Beyond the Gap: how countries can afford the infrastructure they need while protecting the planet. *Sustainable Infrastructure Series*, (2). [hdl.handle.net/10986/31291](https://hdl.handle.net/10986/31291)

- Ruiz, F. y Wei, Z. (2015). Infrastructure investment demands in emerging markets and developing economies. (World Bank Policy Research Working Paper 7414). World Bank. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2662278](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2662278)
- Schmidt-Traub, G. (2015). Investment needs to achieve the sustainable development goals - understanding the billions and trillions. (SDSN Working Paper). Sustainable Development Solutions Network. <https://www.unsdsn.org/resources/publications/sdg-investment-needs/>
- Sistema de Información Energética (2003-2022). Secretaría de Energía (SENER). <https://sie.energia.gob.mx/inicio/#/>
- Serebrisky, T. (2015). Infraestructura sostenible para la competitividad y el crecimiento inclusivo. (Monografía del BID, 197). Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0012791>
- \_\_\_\_\_ y Suárez, A. (2019). La provisión de servicios de infraestructura en América Latina y el Caribe. ¿Puede la región hacer más y hacerlo mejor? Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0001947>
- SHCP. Estadísticas oportunas de finanzas públicas. <http://presto.hacienda.gob.mx/EstoporLayout/estadisticas.jsp>
- SICYT (2024). Tabulador de costos paramétricos para la construcción y modernización de la infraestructura carretera. <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/tabulador/>
- \_\_\_\_\_. Anuarios estadísticos del Sector Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, 2004-2022. <https://www.sct.gob.mx/planeacion/estadistica/anuario-estadistico-sct/>
- Stern, N. (2007). *The economics of climate change: The Stern review*. CUP.
- Stewart, M. y Deng, X. (2015). Climate impact risks and climate adaptation engineering for built infrastructure. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 1(1). <http://dx.doi.org/10.1061/AJRUA6.0000809>
- Ullah, S., Akhtar, P. y Zaefariand, G. (2018). Dealing with endogeneity bias: The generalized method of moments (GMM) for panel data. *Industrial Marketing Management*, 71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indmarman.2017.11.010>
- UNEP (2023). Adaptation Finance Gap Update 2023. United Nations Environment Programme. <http://dx.doi.org/10.59117/20.500.11822/43796>
- Woetzel, J. Garemo, N., Hjerpe, M. y Palter, R. (2016). *Bridging global infrastructure gaps*. McKinsey Global Institute. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/bridging-global-infrastructure-gaps>

