

# Del riesgo a la confiabilidad: SERVICIOS DE INFRAESTRUCTURA RESILIENTE PARA ENFRENTAR LOS DESAFÍOS DE LA NATURALEZA



**EDITADO POR**  
Lisa Bagnoli y  
Eduardo Cavallo



Del riesgo a la confiabilidad:  
**SERVICIOS DE INFRAESTRUCTURA  
RESILIENTE PARA ENFRENTAR  
LOS DESAFÍOS DE LA NATURALEZA**

---

**EDITADO POR**

Lisa Bagnoli y  
Eduardo Cavallo

---

**Catalogación en la fuente proporcionada por la  
Biblioteca Felipe Herrera del  
Banco Interamericano de Desarrollo**

Del riesgo a la confiabilidad: servicios de infraestructura resiliente para enfrentar los desafíos de la naturaleza / editado por Lisa Bagnoli, Eduardo Cavallo.

p. cm. — (Monografía del BID ; 1302)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Resilience (Ecology)-Latin America. 2. Resilience (Ecology)-Caribbean Area. 3. Sustainable transportation-Latin America. 4. Sustainable transportation-Caribbean Area. 5. Energy consumption-Climatic factors-Latin America. 6. Energy consumption-Climatic factors-Caribbean Area. 7. Water-supply-Climatic factors-Latin America. 8. Water-supply-Climatic factors-Caribbean Area. 9. Infrastructure (Economics)-Environmental aspects-Latin America. 10. Infrastructure (Economics)-Caribbean Area. I. Bagnoli, Lisa, editora. II. Cavallo, Eduardo A., editor. III. Banco Interamericano de Desarrollo. Sector de Infraestructura y Energía. IV. Serie. IDB-MG-1302

**Códigos JEL:** H54, L91, L94, L95, L98, O13, O18, O54, Q25, Q28, Q38, Q42, Q48, Q53, Q54.

**Palabras clave:** Infraestructura resiliente, servicios de infraestructura, desastres naturales, variaciones meteorológicas, transporte, energía, agua, saneamiento, América Latina y el Caribe.

Copyright © 2025 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



# Índice de contenidos

	Lista de tablas, gráficos y recuadros	6
	Prefacio	8
	Agradecimientos	11
CAPÍTULO 1	Infraestructura resiliente en América Latina y el Caribe: diagnóstico de riesgos, promoción de soluciones y movilización de inversiones	14
CAPÍTULO 2	En el ojo de la tormenta: cómo el clima y los desastres naturales amenazan la infraestructura	23
CAPÍTULO 3	Resiliencia: la palabra clave para la política de infraestructuras	57

---

CAPÍTULO 4	Las dos piezas del rompecabezas: fondeo y financiamiento de la infraestructura resiliente	104
------------	---	-----

---

CAPÍTULO 5	Del conocimiento a la acción: impulsando la infraestructura resiliente en América Latina y el Caribe	155
------------	--	-----

---

	Referencias	159
--	-------------	-----

---

	Anexos	182
--	--------	-----

---

# Lista de tablas, gráficos y recuadros

## Lista de tablas

<b>Tabla 2.1</b>	Activos globales de infraestructura y nivel de riesgo frente a los peligros climáticos hacia 2030	<b>45</b>
<b>Tabla 2.2</b>	Impactos del cambio climático y de los desastres naturales en los servicios de infraestructura	<b>46</b>
<b>Tabla 3.1</b>	Infraestructura gris y soluciones basadas en la naturaleza en servicios de agua y saneamiento	<b>79</b>

## Lista de gráficos

<b>Gráfico 1.1</b>	Marco conceptual: impactos de las variaciones climáticas y los desastres naturales en la infraestructura	<b>18</b>
<b>Gráfico 2.1</b>	Efecto del calor sobre el consumo de electricidad en diferentes estratos de ingresos	<b>26</b>
<b>Gráfico 2.2</b>	Tipo de desastres naturales y daños asociados (2000-2025)	<b>38</b>
<b>Gráfico 2.3</b>	Daños en la infraestructura por servicio de infraestructura y tipo de evento	<b>39</b>
<b>Gráfico 2.4</b>	Patrones de recuperación tras el huracán Odile en Baja California Sur, México, 2014	<b>40</b>
<b>Gráfico 3.1</b>	Precio promedio del agua por estructuras IBR en diferentes países	<b>82</b>
<b>Gráfico 3.2</b>	Instrumentos de adaptación nacionales, locales y sectoriales de NAPs y NAPAs	<b>100</b>
<b>Gráfico 4.1</b>	Inversión pública en infraestructura económica en América Latina y el Caribe	<b>114</b>
<b>Gráfico 4.2</b>	Inversión privada en infraestructura pública	<b>124</b>
<b>Gráfico 4.3</b>	Inversión privada en infraestructura pública por país (porcentaje del total)	<b>126</b>
<b>Gráfico 4.4</b>	Inversión privada en infraestructura pública por sector	<b>127</b>
<b>Gráfico 4.5</b>	Marco conceptual para instrumentos de financiación de infraestructuras resilientes	<b>129</b>
<b>Gráfico 4.6</b>	Monto total (US\$ miles de millones) de bonos GSS+ por tipo y año en América Latina y el Caribe	<b>135</b>

<b>Gráfico 4.7</b>	Número de bonos GSS+ emitidos en la región por país y tipo (2014-2022)	<b>136</b>
<b>Gráfico 4.8</b>	Participación de bonos GSS+ en la región por país, 2014-2022 (porcentaje del total)	<b>137</b>
<b>Gráfico 4.9</b>	Distribución del valor de la emisión de bonos GSS+ por tipo de emisor y país (2014-2022)	<b>139</b>
<b>Gráfico 4.10</b>	Participación del total de bonos GSS+ por uso (2014-2022)	<b>141</b>
<b>Gráfico 4.11</b>	Desempeño de los bonos alemanes gemelos	<b>144</b>
<b>Gráfico 4.12</b>	Barreras a la inversión privada en infraestructura pública sostenible	<b>150</b>
<b>Gráfico 4.13</b>	Evolución en la preparación de proyectos sostenibles de acuerdo con Infrascopes (2021-2024)	<b>153</b>

## Lista de recuadros

<b>Recuadro 2.1</b>	Respuestas adaptadas a un desafío común: la sequía en América Latina y el Caribe	<b>28</b>
<b>Recuadro 2.2</b>	Desafíos climáticos para la descarbonización de la electricidad: evidencia de Chile	<b>34</b>
<b>Recuadro 2.3</b>	El impacto de las inundaciones en la infraestructura de agua y saneamiento: el caso de Colombia	<b>41</b>
<b>Recuadro 2.4</b>	Cambio climático, transporte, y poblaciones vulnerables	<b>52</b>
<b>Recuadro 3.1</b>	Resiliencia en el transporte: metodología Blue Spot Analysis en la República Dominicana	<b>60</b>
<b>Recuadro 3.2</b>	Eficiencia energética en la Unión Europea	<b>64</b>
<b>Recuadro 3.3</b>	Allanando el camino hacia carreteras más resilientes	<b>66</b>
<b>Recuadro 3.4</b>	Mantener el suministro de agua en San Luis Potosí	<b>71</b>
<b>Recuadro 3.5</b>	Buenos vecinos: interconexión eléctrica entre Colombia y Ecuador	<b>75</b>
<b>Recuadro 3.6</b>	Afrontar la crisis hídrica de 2014-2015 en São Paulo	<b>84</b>
<b>Recuadro 3.7</b>	Etiquetado de eficiencia	<b>92</b>
<b>Recuadro 3.8</b>	Priorización de la resiliencia en los planes subsectoriales	<b>96</b>
<b>Recuadro 4.1</b>	Regulación en fondeo de las inversiones en infraestructura: el caso del almacenamiento de electricidad en Chile	<b>108</b>
<b>Recuadro 4.2</b>	Los bancos multilaterales de desarrollo: un estudio de caso sobre la inversión pública en infraestructura resiliente	<b>115</b>
<b>Recuadro 4.3</b>	Aprendiendo el lenguaje de los bonos sostenibles	<b>130</b>
<b>Recuadro 4.4</b>	El concepto de Greenium	<b>145</b>

# Prefacio

América Latina y el Caribe está cada vez más expuesta a una amplia gama de riesgos naturales. Desde el año 2000, la región ha registrado 1632 desastres naturales que han causado más de 260.000 muertes, han afectado a más de 200 millones de personas y han generado pérdidas por valor de más de US\$398 mil millones. Más allá del costo humano, estos eventos dejan secuelas económicas duraderas: en los países de ingresos bajos y e ingresos medios-bajos, los desastres naturales causan una pérdida permanente del PIB de entre 2,1 y 3,7 puntos porcentuales, y sin una acción decisiva, los daños podrían ascender a US\$100 mil millones anuales en toda la región para 2050. Estas perturbaciones—como huracanes, sequías, inundaciones, incendios forestales, terremotos y deslizamientos de tierra—, junto con cambios climáticos graduales como el aumento de las temperaturas y del nivel del mar, amenazan la continuidad de los servicios de infraestructura esenciales y perjudican de manera desproporcionada a los más vulnerables. A medida que la región se urbaniza y moderniza, construir infraestructura resiliente deja de ser opcional para convertirse en una pieza fundamental del desarrollo inclusivo y sostenible.

Esta publicación, *Del riesgo a la confiabilidad: servicios de infraestructura resiliente para enfrentar los desafíos de la naturaleza*, es el resultado de un esfuerzo colaborativo en todo el Sector de Infraestructura y Energía del Banco Interamericano de Desarrollo, que reúne la experiencia y los conocimientos de las divisiones de Transporte, Agua y Saneamiento, y Energía, así como de la Unidad de Alianzas Público-Privadas. Refleja el compromiso compartido de promover sistemas de infraestructura resilientes que resistan las crisis, se adapten a las condiciones cambiantes y sigan prestando servicios cuando más se necesitan.

Este volumen ofrece un marco de acción integral. Comienza con un diagnóstico de los riesgos y vulnerabilidades a los que se enfrentan los sistemas de infraestructura en la región, seguido de una revisión de las políticas y herramientas técnicas disponibles para incorporar la resiliencia en la planificación, el diseño, la operación y el mantenimiento. A continuación, se analizan los mecanismos de fondeo y financiamiento necesarios para cerrar la brecha de inversión en resiliencia, reconociendo los desafíos que implica movilizar recursos hacia infraestructura cuyos beneficios sean de largo plazo y, en muchos casos, difíciles de cuantificar. El análisis se sustenta en evidencia empírica y se enriquece con estudios de caso regionales y experiencias internacionales.

Si bien este informe presenta estrategias y herramientas prometedoras, también reconoce los límites del conocimiento disponible. Aún sabemos poco sobre qué políticas e inversiones resultan más eficaces para fortalecer la resiliencia. La ausencia de evidencia sólida sobre qué funciona —y bajo qué condiciones— constituye un obstáculo central para expandir la infraestructura resiliente. Superar esta brecha exige una agenda de investigación coordinada que incorpore evaluaciones rigurosas, métricas estandarizadas y una colaboración más estrecha entre gobiernos, el sector privado, la academia e instituciones de desarrollo.

El BID ya está actuando a gran escala para impulsar esta agenda. El Plan de Acción para la Gestión del Riesgo de Desastres 2026-2030 coloca la resiliencia como una prioridad institucional fundamental. El plan presenta la iniciativa insignia *Ready and Resilient in the Americas* y fortalece plataformas innovadoras como *RiskHub* y *RiskMonitor*, que brindan a los tomadores de decisiones mejores datos y herramientas. Al mismo tiempo, se están ampliando los instrumentos financieros, como líneas de crédito contingentes, mecanismos de transferencia de riesgos y facilidades de protección, para ofrecer a los gobiernos mayor margen fiscal ante un desastre.

En la División de Infraestructura y Energía, la resiliencia está en el centro de nuestras operaciones. Las aprobaciones recientes van en esa dirección: corredores viales resilientes a inundaciones que protegen la conectividad en Centroamérica; proyectos de seguridad hídrica basados en soluciones naturales en el Caribe y Sudamérica que restauran ecosistemas y mientras protegen comunidades; e inversiones en redes eléctricas resilientes al clima en los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo, que garantizan un suministro eléctrico confiable aún bajo condiciones extremas. Cada una de estas operaciones demuestra que la resiliencia dejó de ser un complemento, sino se ha convertido en un elemento clave de la inversión en infraestructura sostenible.

Los desafíos son enormes. Si no actuamos, los riesgos climáticos y de desastres podrían borrar décadas de progreso, con pérdidas anuales de cientos de miles de millones de dólares. Pero la oportunidad es aún mayor. Como muestra este informe, pasar del riesgo a la confiabilidad no se trata solo de evitar daños, sino de desbloquear billones en potenciales beneficios económicos, sociales y ambientales. Incorporar resiliencia en cada inversión permite proteger vidas y medios de subsistencia, reducir costos y promover un crecimiento inclusivo y sostenible.

Esta publicación es tanto un recurso como un llamado a la acción —dirigido a responsables de políticas, profesionales y académicos— para trabajar juntos en la construcción de infraestructuras capaces de enfrentar los retos de hoy y de mañana. Esperamos que este informe inspire nuevas ideas, mejore la toma de decisiones y genere las alianzas necesarias para pasar del riesgo a la confiabilidad.

**Tomás Serebrisky**

Gerente, Sector de Infraestructura y Energía  
Banco Interamericano de Desarrollo

# Agradecimientos

Esta publicación es un producto del Sector de Infraestructura y Energía (INE) del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Se elaboró bajo la dirección de Lisa Bagnoli, especialista del Sector de Infraestructura y Energía, y de Eduardo Cavallo, asesor principal del Sector de Infraestructura y Energía.

Tomás Serebrisky, gerente del Sector de Infraestructura y Energía, brindó apoyo y orientación constantes a lo largo de todo el proyecto. Un agradecimiento especial a Ana María Pinto, jefa de la División de Transporte; Marcelino Madrigal, jefe de la División de Energía; Tania Paez, jefa interina de la División de Agua y Saneamiento; y Gastón Astesiano, jefe de la Unidad de Asociaciones Público-Privadas, por sus comentarios y aliento. También queremos expresar nuestro reconocimiento especial a Agustina Calatayud, especialista principal del sector de Transporte, quien inició y dirigió con éxito este proyecto en sus fases iniciales, cuando era asesora económica interina del sector.

Los principales autores de los capítulos son:

- Capítulo 1** Lisa Bagnoli y Eduardo Cavallo
- Capítulo 2** Lisa Bagnoli
- Capítulo 3** Lenin H. Balza, Jesse Libra, María Pérez-Urdiales, M. Eugenia Rivas y Priscila R. Stisman
- Capítulo 4** Juan Pablo Brichetti, Eduardo Cavallo, José Manuel Eguiguren-Cosmell y Ancor Suárez-Alemán
- Capítulo 5** Lisa Bagnoli y Eduardo Cavallo

El informe contiene una serie de recuadros de gran valor. Agradecemos a los siguientes autores sus importantes contribuciones:

- Recuadro 2.1** María Pérez-Urdiales
- Recuadro 2.2** Lisa Bagnoli, Lenin H. Balza, José Belmar y David Matías
- Recuadro 2.3** Anabelle Couleau

- Recuadro 2.4** M. Eugenia Rivas
- Recuadro 3.1** M. Eugenia Rivas
- Recuadro 3.2** David Matías
- Recuadro 3.3** M. Eugenia Rivas
- Recuadro 3.4** Anabelle Couleau
- Recuadro 3.5** Lenin H. Balza y David Matías
- Recuadro 3.6** Beatriz Couto Ribeiro
- Recuadro 3.7** María Pérez-Urdiales
- Recuadro 3.8** Jesse Libra, M. Eugenia Rivas y Priscila R. Stisman
- Recuadro 4.1** José Manuel Eguiguren-Cosmelli
- Recuadro 4.2** Ancor Suárez-Alemán
- Recuadro 4.3** Ancor Suárez-Alemán
- Recuadro 4.4** José Manuel Eguiguren-Cosmelli

José Belmar, Agustina Calatayud, Pilar Castrosín, Anabelle Couleau, Beatriz Couto Ribeiro, Bridget Hoffmann, Carlos León-Gómez, David Matías, Clara Pisman, Lucas Poli y Ben Solís brindaron información adicional.

Elisa Belfiori (Universidad Torcuato Di-Tella) y Marcelo Caffera (Universidad de Montevideo) actuaron como asesores externos durante el primer taller de debate celebrado en Montevideo (Uruguay), aportando guía y comentarios fundamentales en las primeras fases de la preparación de este libro.

Roberto Aiello, María Alejandra Escovar Bernal, María José González Jaramillo, Roberto Guerrero Compean, Carlos León-Gómez, Daniel Pérez-Jaramillo, Laura Rojas Sánchez y Priscila R. Stisman revisaron varias versiones del manuscrito y aportaron comentarios muy útiles durante el proceso.

La producción de este informe fue gestionada por María José González Jaramillo. Rita Funaro realizó un excelente trabajo de edición del manuscrito en inglés. Natalie Ponce Hornos diseñó y maquetó la publicación.

Un agradecimiento especial al equipo administrativo del Sector de Infraestructura y Energía, que dedicó un enorme esfuerzo y dedicación a avanzar en todos los pasos necesarios para producir este estudio.

A pesar de las valiosas contribuciones de todas las personas que aportaron insumos a este volumen, los editores y autores asumen toda la responsabilidad por cualquier error en la información o en el análisis. Las opiniones expresadas en esta publicación corresponden exclusivamente a los editores del proyecto y a los autores de los capítulos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo, o de los países que representa.

## CAPÍTULO 1

# Infraestructura resiliente en América Latina y el Caribe: diagnóstico de riesgos, promoción de soluciones y movilización de inversiones

En octubre de 2023, el huracán Otis pasó de ser una tormenta tropical a un huracán de categoría 5 en menos de 12 horas, azotando el puerto mexicano de Acapulco. Las líneas eléctricas se derrumbaron, las carreteras se inundaron de barro y escombros, y cientos de miles de residentes se quedaron sin servicios básicos durante horas. Ese mismo año, una sequía en Montevideo, Uruguay, obligó a las autoridades a relajar las normas de calidad del agua, lo que tuvo repercusiones directas en la salud pública y la satisfacción de los usuarios. En febrero de 2024, los incendios forestales que se propagaron rápidamente en Chile se convirtieron en los más mortíferos de la historia del país, causando la muerte de más de 130 personas y destruyendo miles de viviendas. Unos meses más tarde, unas inundaciones sin precedentes arrasaron el estado sureño brasileño de Rio Grande do Sul, dejando al menos 183 muertos, más de 580.000 desplazados y más de 3,15 millones de personas sin acceso a agua potable.

Los episodios de este tipo no son anomalías estadísticas. A nivel mundial, los desastres meteorológicos (tormentas o temperaturas extremas), los desastres hidrológicos (inundaciones y deslizamientos de tierra) y los desastres climatológicos (incendios forestales y sequías) han aumentado drásticamente en las últimas décadas; América Latina y el Caribe no es una excepción (Cavallo, Hoffmann y Dueñas, 2025). La región sufre el 22% de las inundaciones más graves del mundo (lo que supone tres veces más que la proporción de población mundial de la región) y se enfrenta a distintos patrones de riesgo, desde tormentas —especialmente en el Caribe y América Central— hasta sequías —especialmente en América del Sur— y episodios de temperaturas extremas en toda la región (Blackman et al., 2025). Si bien la frecuencia de los desastres geofísicos, como terremotos y tsunamis, no ha cambiado, estos también pueden ser muy destructivos.

Las redes de transporte, energía, agua y saneamiento son cruciales para prácticamente todas las actividades sociales y económicas. Permiten la movilidad y el comercio, abastecen a hospitales y escuelas, y protegen la salud pública. Cuando alguno de estos sistemas se interrumpe, las pérdidas se propagan rápidamente. En América Latina y el Caribe, la baja calidad de la infraestructura limita el bienestar y la productividad, y las alteraciones provocadas por la variabilidad climática y los desastres naturales agravan estos problemas. Sin una infraestructura resiliente diseñada para resistir riesgos climáticos y naturales, aumenta el riesgo de interrupciones del servicio y de impactos en cadena en la economía y la sociedad.

Estos eventos afectan con mayor fuerza a los grupos más vulnerables. Los hogares pobres están más expuestos a los desastres naturales y sufren sus efectos de forma desproporcionada. En América Latina y el Caribe, al menos 78 millones de personas en situación de pobreza viven en zonas altamente expuestas a fenómenos climáticos (Bagolle, Costella y Goyeneche, 2023). Cuando ocurre un desastre, estos hogares suelen perder una proporción mayor de sus activos en comparación a los hogares de mayores ingresos, tanto por su mayor exposición como por la falta de recursos para prepararse y recuperarse. Además, muchas poblaciones vulnerables viven en zonas con infraestructura de menor calidad y menor redundancia de los servicios, lo que agrava las interrupciones y sus efectos sobre los medios de vida y el bienestar.

La exposición a amenazas es solo una de las muchas presiones que enfrenta hoy la región. A ello se suma una combinación de desafíos: bajos niveles de inversión, brechas persistentes en el acceso, la calidad y la asequibilidad de los servicios de infraestructura, y una inversión insuficiente en infraestructura resiliente.<sup>1</sup> Estos problemas se ven agravados por los altos niveles de urbanización—América Latina y el Caribe es una de las regiones más urbanizadas del mundo—, por cambios demográficos como las migraciones internas y el envejecimiento poblacional, y por la necesidad de descarbonizar las economías en línea con los compromisos climáticos globales.<sup>2</sup>

Estos desafíos ponen bajo presión a los sistemas de infraestructura y muestran la necesidad de invertir mejor. La infraestructura obsoleta, como las centrales eléctricas o las plantas de saneamiento, deben ser sustituidas; la rápida urbanización requiere sistemas de transporte

---

1 Véase Cavallo, Powell y Serebrisky (2020).

2 Véase Blackman et al. (2025).

nuevos y ampliados. Estas necesidades de inversión representan una oportunidad para incorporar la resiliencia—la capacidad de anticipar, absorber y recuperarse rápidamente de las crisis, así como adaptarse y transformarse ante los cambios de largo plazo (Grünwaldt, Glass y McCarthy, 2021)—en cada nuevo proyecto. Es fundamental destacar que resiliencia no significa indestructibilidad; es un enfoque adaptativo que pondera los costos y beneficios sociales bajo incertidumbre para reducir el riesgo, proteger la continuidad y la calidad del servicio, y acelerar la recuperación. La infraestructura resiliente es capaz de prevenir, absorber, adaptarse y recuperarse con rapidez frente a perturbaciones como desastres naturales, variaciones climáticas u otros eventos disruptivos (UNDRR, 2022). Incluso cuando las cosas no funcionan como deberían, sigue cumpliendo su función esencial y prestando servicios de calidad. Además, no solo se recupera: aprende, se adapta y mejora su capacidad para enfrentar desafíos futuros. La infraestructura resiliente genera importantes ahorros al evitar reconstrucciones costosas e interrupciones del servicio en el futuro. Como estos beneficios favorecen especialmente a los hogares de menores ingresos, planificar y construir infraestructura resiliente no es solo un objetivo técnico o económico, sino también una condición necesaria para promover la equidad y la prosperidad compartida.

El presente volumen aborda la resiliencia en los sectores de la energía, el transporte, el agua y el saneamiento mediante un análisis integral y basado en evidencia. El estudio se organiza en torno a tres ejes: un diagnóstico de los riesgos y vulnerabilidades asociados a los eventos climáticos y a otras perturbaciones frecuentes en la región; un conjunto de herramientas políticas y técnicas para fortalecer la resiliencia de las infraestructuras; y los mecanismos de fondeo y financiamiento necesarios para cerrar la brecha de resiliencia.

## Diagnóstico de los impactos: variabilidad climática, desastres y vulnerabilidad de la infraestructura

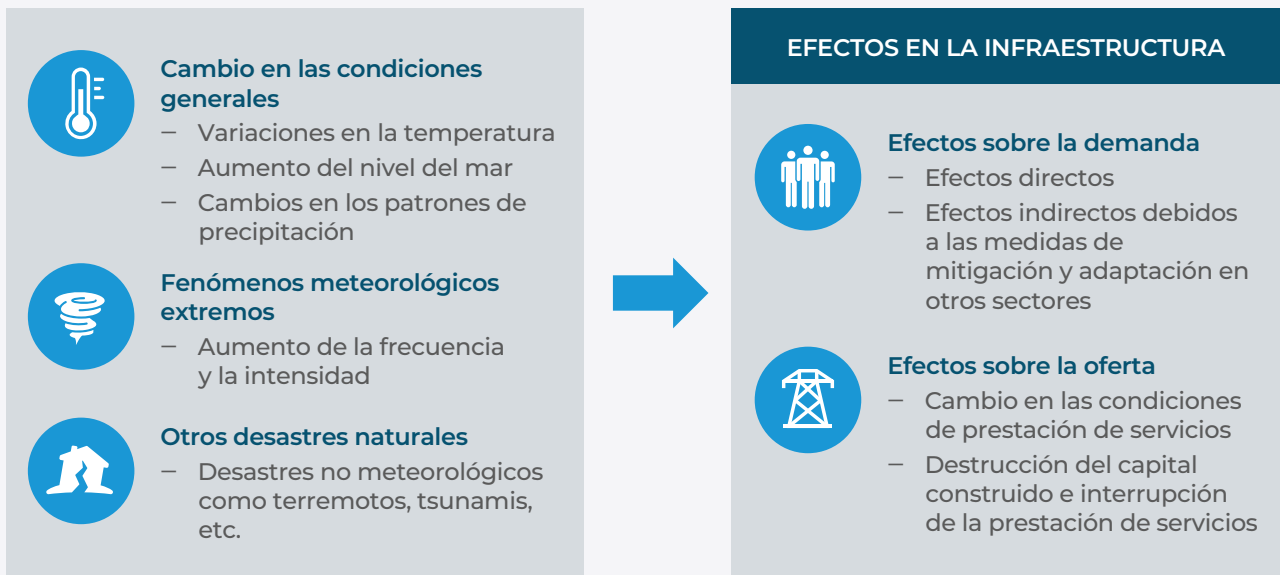
El capítulo 2 presenta una evaluación de cómo las variaciones climáticas y otros desastres naturales afectan a los sistemas y servicios de infraestructura en América Latina y el Caribe. La infraestructura de la región está expuesta a una amplia gama de amenazas—desde sequías e inundaciones hasta huracanes y olas de calor—cuya frecuencia e intensidad están aumentando debido al cambio climático. También enfrenta eventos

geofísicos, como terremotos y tsunamis, debido a su ubicación geográfica. Pero una cosa es el «riesgo»—quien y qué territorios están en riesgo—y otra es la «incidencia»—cuándo y dónde se materializa la amenaza, una vez que ocurre—. Una tercera dimensión es el impacto—a quién afecta y de qué manera—cuando el evento ocurre. Para que una amenaza se convierta en un desastre, debe destruir capital físico y humano. Aunque muchos países están expuestos a riesgos climáticos y geofísicos, la incidencia de los desastres depende de su capacidad para enfrentarlos, lo que hace que sus impactos sean endógenos al desarrollo económico, incluida la calidad y la resiliencia de su infraestructura. En América Latina y el Caribe, estas amenazas a menudo se convierten en desastres que interrumpen tanto la demanda como la provisión de servicios esenciales, con efectos en cadena en los hogares, las empresas y el desempeño macroeconómico. Más allá de los desastres repentinos y disruptivos, los sistemas de infraestructura también se ven afectados de manera constante por los cambios graduales en las condiciones climáticas—incluido el aumento de las temperaturas y del nivel del mar, así como las variaciones en los patrones de precipitación—, que transforman tanto la demanda como la provisión de los servicios de infraestructura.

El gráfico 1.1 resume estos impactos y presenta el marco conceptual utilizado a lo largo del capítulo 2, que evalúa los efectos de los cambios climáticos graduales, de los fenómenos meteorológicos extremos y de otros desastres naturales. Por el lado de la demanda, los efectos son tanto directos—los días más calurosos aumentan el consumo de electricidad para la refrigeración—como indirectos—por ejemplo, el avance de la descarbonización en el sector del transporte y la adopción de vehículos eléctricos, que eleva la demanda total de electricidad—. Por el lado de la oferta, las variaciones climáticas y los desastres no solo destruyen activos y afectan los servicios durante eventos extremos, sino que también modifican las condiciones generales en las que operan los prestadores de servicios. Los cambios climáticos graduales, como la reducción de los glaciares andinos, amenazan la confiabilidad o el costo de operación de los sistemas de agua y energía, mientras que los eventos extremos, como inundaciones y deslizamientos de tierra, dañan repetidamente las infraestructuras de transporte y saneamiento.

**Gráfico 1.1**

Marco conceptual: impactos de las variaciones climáticas y los desastres naturales en la infraestructura



**Fuente:** Elaboración propia.

Las consecuencias de estas interrupciones son multidimensionales. Los daños físicos directos a los activos son solo el efecto inicial; las interrupciones del servicio se propagan a través de las cadenas de suministro, reducen la productividad e imponen grandes costos de adaptación a los presupuestos públicos y privados. Las vulnerabilidades no se distribuyen de manera uniforme: la exposición geográfica, la estructura económica y la calidad y la redundancia de los sistemas de infraestructura determinan el perfil de riesgo. Los pequeños Estados insulares y los países de ingresos bajos se ven afectados de manera desproporcionada, lo que refleja tanto una mayor exposición como una menor capacidad de adaptación.

## Avanzar en el conjunto de herramientas políticas y técnicas: del diagnóstico a la acción

Construir resiliencia requiere más que reconocer los riesgos; exige

un enfoque sistemático de planificación, diseño y operación de las infraestructuras. El capítulo 3 sintetiza los últimos avances en materia de políticas y prácticas de resiliencia de la infraestructura, basándose en la experiencia internacional y en casos de estudios regionales.

Una idea central es la necesidad de contar con marcos sólidos para la evaluación y priorización de riesgos. La heterogeneidad espacial de los riesgos climáticos y físicos en la región exige diagnósticos locales e intervenciones específicas. Metodologías como las evaluaciones de criticidad y vulnerabilidad, el blue spot analysis para priorizar inversiones y la toma de decisiones bajo elevada incertidumbre se están incorporando cada vez más en la planificación de infraestructura, lo que permite a las autoridades asignar los recursos de manera eficiente y adaptativa.

Las herramientas técnicas para la resiliencia están evolucionando. Medidas como elevar activos fuera de zonas inundables, reforzar estructuras y actualizar los códigos de diseño continúan siendo fundamentales; pero deben complementarse con soluciones basadas en la naturaleza que aprovechan los servicios ecosistémicos para la reducción del riesgo. La integración de infraestructura verde y gris—por ejemplo, la reforestación de cuencas, los espacios verdes urbanos y la restauración de ecosistemas costeros—ofrece vías rentables y con múltiples beneficios para fortalecer la resiliencia.

La diversificación, la descentralización y la redundancia son temas recurrentes. Las redes de infraestructura que dependen de una única fuente o de configuraciones altamente centralizadas son, por definición, más vulnerables a las perturbaciones. El capítulo 3 destaca el valor de diversificar las fuentes de agua—incluida la desalinización, la reutilización y la captación de agua de lluvia—, fomentar la generación distribuida de energía y promover sistemas de transporte multimodales. El mantenimiento y la gestión de activos también son fundamentales: la falta de inversión en operación y mantenimiento incrementa tanto los costos del ciclo de vida como la vulnerabilidad de los sistemas.

La adaptación por el lado de la demanda es una herramienta de política prometedora, aunque todavía subutilizada. Los sistemas de alerta temprana brindan información clave y reducen la exposición de la población a los desastres. Las campañas de información, las intervenciones de comportamiento y las tarifas dinámicas también son instrumentos relevantes que pueden orientar o incentivar a los consumidores a un uso más eficiente de los recursos, por ejemplo, promoviendo el ahorro de agua

durante las sequías.

En términos generales, el diseño de los marcos regulatorios e institucionales debe facilitar la innovación, la flexibilidad y la coordinación entre sectores, reconociendo las interdependencias entre los distintos sistemas de infraestructura y la necesidad de estrategias de adaptación coherentes.

## Movilización de fondos y financiación: cerrar la brecha de inversión en resiliencia

El capítulo 4 aborda la brecha entre la necesidad reconocida de contar con infraestructura resiliente y los recursos que se movilizan para implementarla. La infraestructura resiliente suele implicar mayores costos iniciales—debido a estándares de diseño más exigentes, redundancias y soluciones basadas en la naturaleza—, mientras que los beneficios, como las pérdidas evitadas y la continuidad del servicio, se materializan con el tiempo y suelen ser difusos y difíciles de monetizar. Este desajuste temporal complica la economía política de la inversión, la movilización de capital y el diseño de mecanismos de pago equitativos.

La brecha de inversión en infraestructura en la región está bien documentada: la inversión pública en infraestructura económica ha sido, en promedio, inferior al 2% del PIB desde 2015 (Brichetti et al., 2021), lo que está por debajo de la necesidad estimada para lograr el acceso universal a servicios resilientes y de alta calidad. Si bien el sector público sigue siendo el principal inversor, las restricciones fiscales y las prioridades contrapuestas limitan su capacidad para aumentar las inversiones. La participación privada, aunque significativa en algunos países y sectores, suele estar concentrada y no se ajusta lo suficiente a los objetivos de resiliencia. En promedio, la inversión privada en infraestructura ha sido inferior al 1% del PIB desde 2015. Los bancos multilaterales de desarrollo desempeñan un papel catalizador, pero sus recursos, por sí solos, no son proporcionales a la magnitud del desafío.

Un tema central del capítulo 4 es la necesidad de aclarar e innovar tanto en el fondeo como en el financiamiento. La distinción no es meramente semántica: el financiamiento se refiere al capital inicial, ya sea proveniente de presupuestos públicos, inversores privados o fuentes mixtas, mientras que el fondeo es la última fuente de reembolso, ya sea a través de tarifas

de usuario (fondeo privado), transferencias gubernamentales o impuestos específicos (fondeo público), o una combinación de ambos. En el caso de la infraestructura resiliente, el reto es particularmente complejo: muchos de los beneficios son bienes públicos o externalidades positivas que no pueden captarse fácilmente mediante tarifas directas a los usuarios. Esto crea la necesidad de fondeo público, de mecanismos de reparto de riesgos y de instrumentos financieros innovadores para cerrar la brecha entre los incentivos privados y los retornos sociales.

El capítulo examina el panorama cambiante de las finanzas sostenibles en América Latina y el Caribe, incluyendo el rápido crecimiento de los bonos verdes, sociales y vinculados a la sostenibilidad, así como el financiamiento combinado (blended finance) y los fondos de adaptación climática. Si bien estos instrumentos están ampliando la disponibilidad de capital, la falta de definiciones estandarizadas, la escasez de proyectos resilientes bancables y las persistentes barreras regulatorias e institucionales atenúan su impacto. El análisis subraya la importancia de contar con entornos habilitantes sólidos—marcos regulatorios, mecanismos de preparación de proyectos e instrumentos de mitigación de riesgos—para atraer y sostener inversiones a gran escala.

## Hacia una agenda práctica para una infraestructura resiliente

Las tres dimensiones analizadas en este volumen—el diagnóstico de riesgos, el desarrollo de herramientas políticas y técnicas, y la movilización de fondeos y financiamiento—son interdependientes. Una resiliencia efectiva requiere una agenda que integre la evaluación de riesgos, la planificación adaptativa y las soluciones financieras innovadoras. También exige capacidad institucional, coordinación intersectorial y compromiso con la formulación de políticas basadas en evidencia.

Hay mucho en juego. Sin una acción decidida, la región se expone al riesgo de sufrir pérdidas cada vez mayores por los shocks climáticos, de un aumento de las brechas de acceso, calidad y asequibilidad, y de limitar su potencial de crecimiento sostenible. Por el contrario, invertir en infraestructura resiliente ofrece la posibilidad de reducir los costos a lo largo del ciclo de vida, mejorar la continuidad del servicio y generar nuevas

oportunidades económicas, especialmente para las poblaciones más vulnerables.

Este informe ofrece a los responsables de políticas públicas, especialistas y académicos un marco integral, técnicamente sólido y orientado a la acción para promover la infraestructura resiliente en América Latina y el Caribe. Su objetivo es inspirar una nueva generación de estrategias de infraestructura: robustas frente a la incertidumbre, inclusivas en sus beneficios y alineadas con las metas de desarrollo de la región. Aun así, pese al creciente conocimiento sobre cómo construir infraestructura resiliente y los beneficios potenciales que conlleva, persisten preguntas clave: ¿cuáles son sus impactos a largo plazo? ¿cuáles son las políticas más rentables para promover la resiliencia? ¿qué políticas públicas favorecen un entorno habilitante? ¿Y cómo se puede financiar de forma sostenible la infraestructura resiliente? Este informe también busca identificar estas brechas de conocimiento y sentar las bases de la investigación necesaria para cerrarlas.

## CAPÍTULO 2

# En el ojo de la tormenta: cómo el clima y los desastres naturales amenazan la infraestructura

Las variaciones climáticas, los fenómenos meteorológicos extremos y otros desastres naturales plantean un desafío para los sistemas de infraestructura en toda América Latina y el Caribe. Las temperaturas más altas aumentan la demanda de agua y aire acondicionado, el aumento del nivel del mar impacta las carreteras y los puertos costeros, y las tormentas más frecuentes y severas dañan los activos de infraestructura e interrumpen la prestación de servicios de infraestructura. Estos fenómenos perturban tanto la oferta como la demanda de servicios de infraestructura esenciales.

Las repercusiones van más allá del impacto destructivo sobre los activos físicos; los fenómenos meteorológicos y los desastres naturales interrumpen la prestación de servicios. Las personas, los hogares, las empresas y los países pagan el costo de estas interrupciones, con importantes consecuencias sociales y económicas que obstaculizan la reducción de la pobreza y el crecimiento sostenible.

Ejemplos recientes muestran cómo los cambios en las condiciones climáticas y los desastres naturales interrumpen los servicios de infraestructura esenciales para la población. En 2023, Montevideo, Uruguay, se vio afectada por la sequía más grave en 74 años. En julio, las reservas de agua se encontraban al 2% de su capacidad, lo que obligó a las autoridades a utilizar agua de mayor salinidad para garantizar el suministro. El resultado fue un mayor descontento de los usuarios, daños en los electrodomésticos e hipertensión en las mujeres embarazadas y en otros usuarios vulnerables (Balza et al., 2025). Durante ese mismo año, el huracán Otis azotó Acapulco, México. El huracán de categoría 5 se intensificó desde una tormenta tropical en menos de 12 horas, causando destrucción generalizada e interrupciones en los servicios de agua, electricidad e Internet durante más de una semana (Balza et al., 2025). Los cambios graduales en las condiciones climáticas también afectan a los servicios. Por ejemplo, la reducción de la

disponibilidad de recursos hídricos disminuye la capacidad de las centrales hidroeléctricas para generar electricidad, lo que aumenta la posibilidad de apagones, como ocurrió en 2024 en Ecuador (FMI, 2024).

Dados los efectos calamitosos del cambio climático y de los desastres, existe una necesidad urgente de aumentar la resiliencia de los servicios de infraestructura ante los cambios en la demanda y las amenazas de interrupción del servicio. El diseño de políticas eficaces requiere un diagnóstico exhaustivo de los efectos del cambio climático y de los desastres naturales sobre la infraestructura, así como una mejor comprensión de los factores determinantes de la vulnerabilidad. El objetivo de este capítulo es proporcionar dicho diagnóstico.

A lo largo del capítulo, se centra la atención en el efecto de tres tipos de fenómenos: los cambios en las condiciones climáticas generales—como el aumento de la temperatura o los cambios en los patrones de precipitación—, la mayor frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos y la incidencia de otros desastres naturales.<sup>3</sup> El capítulo evalúa cómo estos fenómenos afectan a la demanda de servicios de infraestructura, por ejemplo, a través de la demanda de agua, electricidad y transporte, así como a través de los efectos indirectos sobre la demanda de energía derivados de las medidas de adaptación y mitigación en otros sectores. El capítulo también aporta evidencia de cómo las variaciones climáticas y los desastres naturales perturban la prestación de servicios de infraestructura a través de cambios en los costos operativos y en las condiciones en las que deben operar los proveedores de servicios, o mediante la destrucción de activos y la interrupción de los servicios (véase el gráfico 1.1). A continuación, el capítulo expone los efectos de estos cambios y perturbaciones generales en los hogares, las empresas y la economía, y presenta los principales factores determinantes de la vulnerabilidad de los sistemas de infraestructura—características geográficas, económicas y de los sistemas—al clima y a los desastres naturales.

---

**3** Se señala el siguiente peligro natural a modo de referencia, aunque queda fuera del alcance de este informe. Las tormentas solares causadas por intensas ráfagas de radiación solar pueden perturbar las redes eléctricas al inducir corrientes geomagnéticas que sobrecargan los transformadores y dañan la infraestructura. Aunque se producen regularmente tormentas geomagnéticas de diversa intensidad, solo cuatro eventos importantes desde 1932 han afectado significativamente a la red eléctrica mundial. Las empresas de servicios públicos deben prepararse para estos eventos poco frecuentes, pero potencialmente graves invirtiendo en el refuerzo de la red, sistemas de monitoreo en tiempo real y protocolos de contingencia para mitigar los cortes generalizados.

## Presión de la demanda sobre los servicios de infraestructura

El cambio climático es un peligro real y presente que afecta a la demanda de servicios de infraestructura (Balza et al., 2025). Comprender estos efectos permite a los responsables políticos planificar la prestación de servicios de infraestructura para hacer frente a los desafíos y aumentar la resiliencia al cambio climático, no solo a través de políticas del lado de la oferta, sino también a través de políticas del lado de la demanda.

Un ejemplo es la demanda de agua. A pesar de la abundancia de recursos de agua dulce en América Latina y el Caribe, una gran parte de la población se enfrenta a un alto estrés hídrico. América Latina y el Caribe es la región más rica en agua del mundo, con aproximadamente un tercio de los recursos de agua dulce del mundo y solo el 8,5% de la población. Aun así, millones de personas sufren estrés hídrico. El suministro de agua es desigual tanto dentro de un mismo año como entre años, pero también se concentra en las zonas menos pobladas; el 35% de la población vive en zonas con estrés hídrico de medio-alto a extremadamente alto (Carrera et al., 2018).<sup>4</sup>

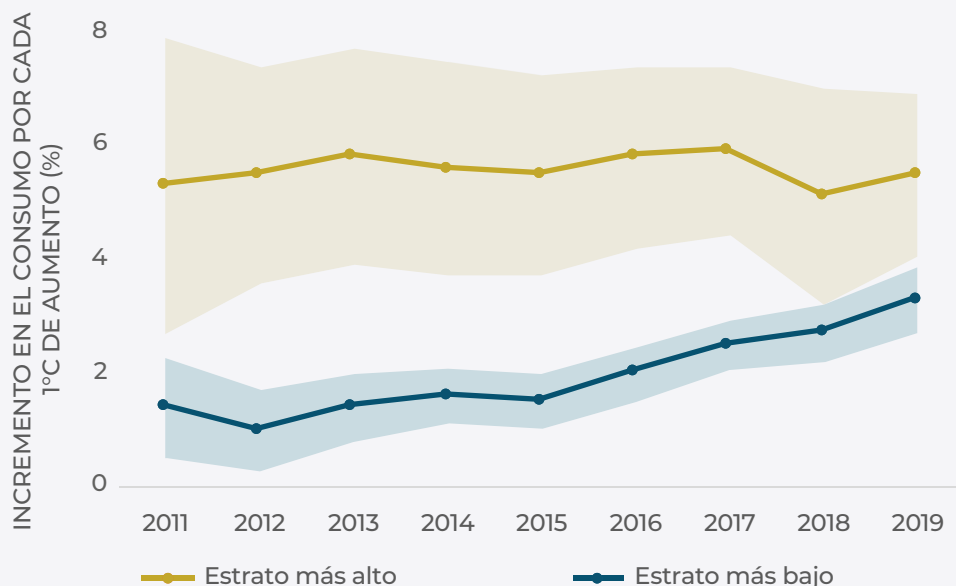
El cambio climático incrementa la presión sobre los recursos hídricos debido al aumento de la demanda y a la mayor competencia entre los distintos sectores. Garantizar el acceso al agua a la población y asegurar el suministro de agua ya son retos, y la situación no hará más que empeorar dada la presión sobre los recursos hídricos que ejercen el crecimiento demográfico y los efectos del cambio climático sobre la demanda. El aumento de las temperaturas se traduce en una mayor demanda de necesidades residenciales. Sin embargo, otros sectores también experimentan un aumento de la demanda de agua debido al cambio climático; las necesidades de riego para la agricultura, las necesidades de agua para la generación de electricidad, la minería u otras industrias que consumen mucha agua aumentan aún más la competencia entre los usuarios (Balza et al., 2025; IPCC, 2023; Ferrazzo Naspolini, Libra y Pérez-Urdiales, 2024).

---

<sup>4</sup> El estrés hídrico varía entre los países, con cifras que alcanzan el 79% y el 82% en México y Chile. Además, la cifra promedio del 35% para América Latina y el Caribe se eleva al 65% de la población si se tiene en cuenta la falta de calidad o de acceso debido a la escasa capacidad institucional (Libra et al., 2022).

La demanda de energía también está aumentando debido al cambio climático. Las anomalías de temperatura ejercen una mayor presión sobre la refrigeración y la calefacción residenciales, lo que incrementa la demanda de energía. Un aumento de 1°C por encima de las temperaturas globales actuales incrementaría la demanda mundial de refrigeración en aproximadamente un 25% (AIE, 2018). Un estudio realizado en Colombia revela que las temperaturas más altas provocan un aumento del consumo de electricidad, pero con diferencias importantes entre los distintos tipos de hogares: los efectos son mayores en los hogares con ingresos más altos que pueden permitirse comprar y utilizar aire acondicionado (McRae, 2023). Cada grado Celsius adicional aumenta el consumo de electricidad en un 6% para los hogares más ricos y en un 2% para los hogares con ingresos más bajos, y la brecha entre los estratos de ingresos se reduce con el tiempo (véase el gráfico 2.1).

**Gráfico 2.1.**  
Efecto del calor sobre el consumo de electricidad en diferentes estratos de ingresos



**Fuente:** Elaboración propia basada en McRae (2023).

**Nota:** El análisis solo considera las regiones cálidas de Colombia. Las áreas sombreadas muestran intervalos de confianza del 95%.

Estos efectos del cambio climático sobre la demanda de energía también implican un impacto directo en la pobreza energética. Las pruebas a nivel mundial muestran que el aumento de la temperatura promedio, el aumento de la varianza de temperaturas, y las precipitaciones pueden aumentar los niveles de pobreza entre los segmentos más vulnerables de la población (Wu, Hu y Zhang, 2025; Feeny, Trinh y Zhu, 2021). En climas más templados, un aumento de la temperatura puede reducir la dependencia de los hogares de la calefacción y aliviar la pobreza energética, como se ha demostrado en el caso de Australia (Churchill, Smyth y Trinh, 2022).

Las políticas para abordar el cambio climático en otros sectores económicos también pueden afectar a la demanda de electricidad. Por ejemplo, en el caso de las políticas de mitigación de las emisiones de carbono en el transporte, alcanzar el objetivo de que el 10% de los vehículos de América Latina sean eléctricos para 2030 requiere un aumento del 1,2% en la demanda de electricidad (López et al., 2022). Lo mismo se aplica a las políticas de adaptación al clima. Por ejemplo, fortalecer la resiliencia frente a las sequías incrementa la dependencia de la extracción de aguas subterráneas y de las plantas desalinizadoras, ambos procesos intensivos en el uso de energía (AIE, 2021a; Balza et al., 2025).

También se prevé que el cambio climático afecte a la demanda de transporte al alterar cuándo y dónde viajan las personas. A medida que aumentan las temperaturas, los patrones turísticos pueden cambiar en respuesta a los cambios en los destinos preferidos por los viajeros y en el momento en que realizan sus viajes. Del mismo modo, los cambios en los patrones de temperatura y precipitación pueden afectar la producción agrícola, el destino de los productos y, a su vez, el transporte de mercancías. La frecuencia y la intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos también pueden afectar la demanda de transporte si algunas rutas se vuelven propensas a sufrir daños o destrucción recurrentes (Koetse y Rietveld, 2009).

## Un doble golpe a la prestación de servicios de infraestructura

El cambio climático también afecta a la prestación de servicios de infraestructura al menos de dos maneras. En primer lugar, los cambios meteorológicos y la disponibilidad de recursos naturales influyen en las

condiciones generales en las que los operadores y las empresas de servicios públicos pueden prestar sus servicios, reduciendo la disponibilidad y la calidad de los recursos o aumentando los costos operativos. En segundo lugar, los fenómenos meteorológicos extremos pueden destruir o dañar los activos físicos necesarios para prestar los servicios, lo que provoca interrupciones en el suministro (Balza et al., 2025). A esto se suman los efectos de los desastres naturales no relacionados con el clima, que también destruyen o dañan los activos de infraestructura e interrumpen la prestación de servicios (Cavallo y Noy, 2011).

### Cambios en las condiciones climáticas generales

Los cambios lentos en las condiciones climáticas generales, provocados por el cambio climático, plantean retos para el suministro de servicios de agua a la población. Por ejemplo, la disminución de las precipitaciones puede provocar situaciones de emergencia por sequía, lo que puede ejercer una presión considerable sobre la población (véase el recuadro 2.1 para los casos de Uruguay, México y Colombia).

#### RECUADRO 2.1. Respuestas adaptadas a un desafío común: la sequía en América Latina y el Caribe

En los últimos años, varias ciudades de América Latina y el Caribe se han enfrentado a emergencias por sequía, pero sus poblaciones se vieron afectadas de manera diferente debido a las distintas respuestas de políticas.

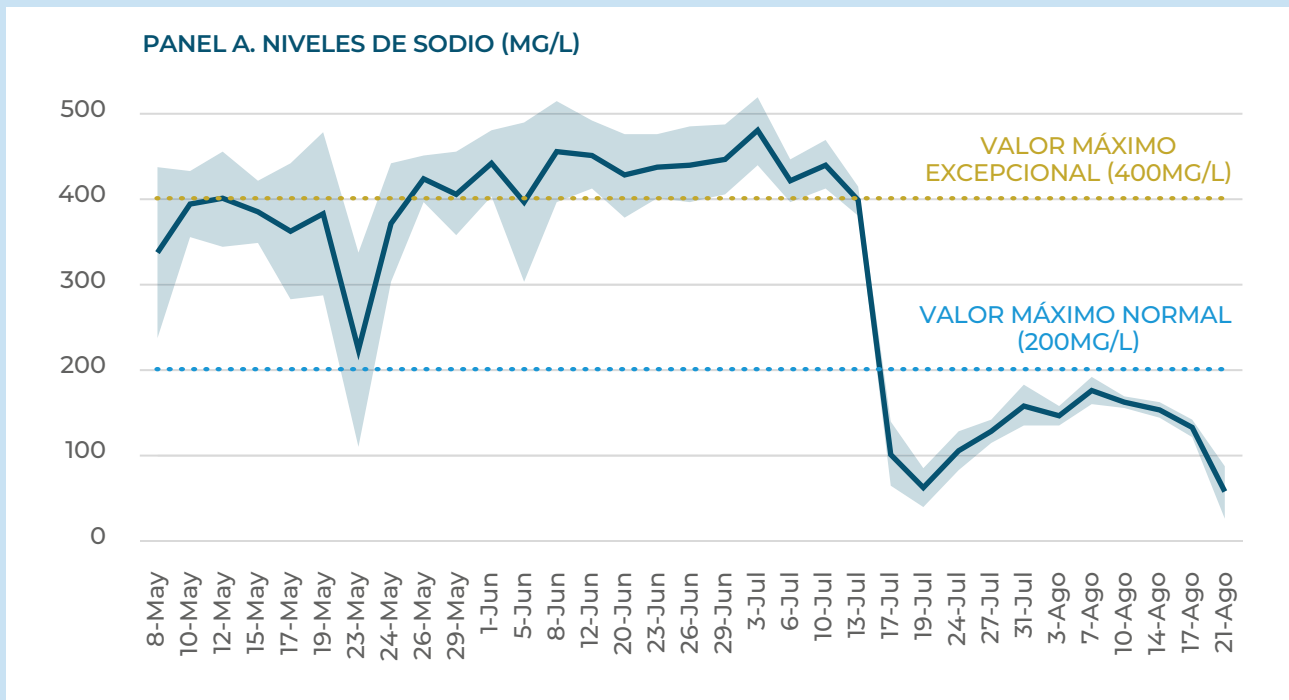
#### Uruguay

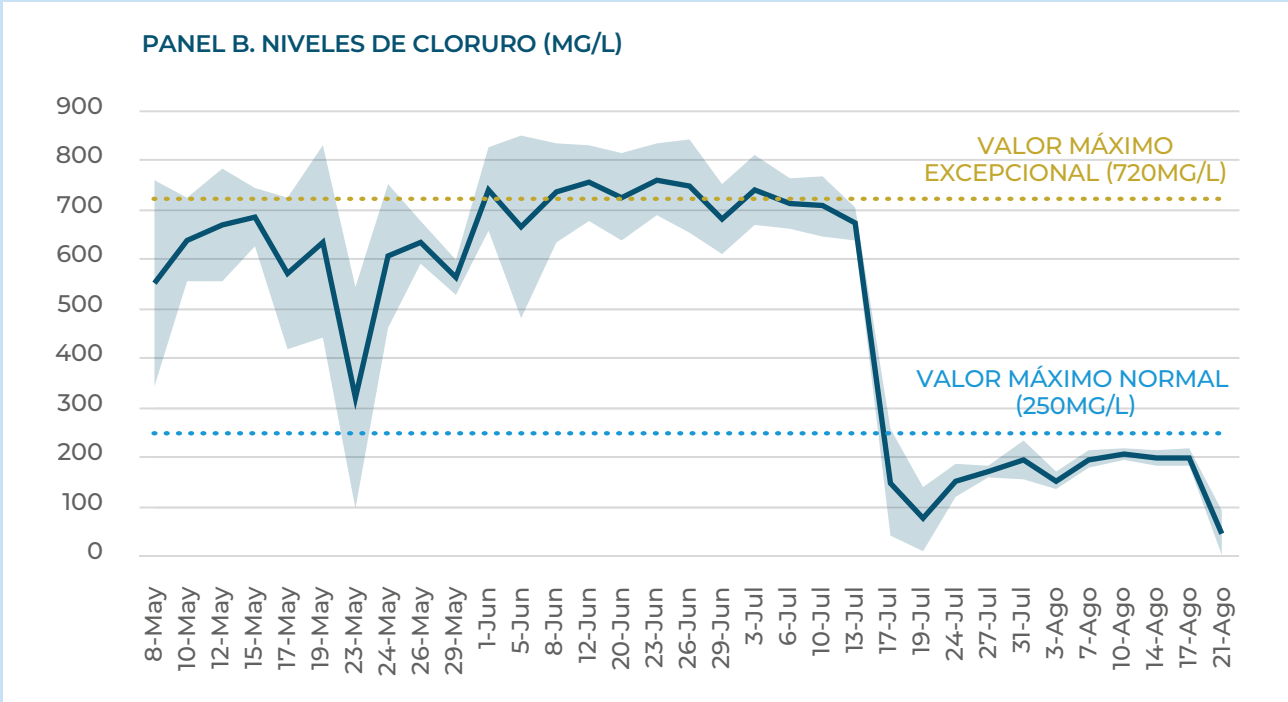
La sequía que sufrió Uruguay en 2023 fue una de las más graves de la historia reciente, causada principalmente por el fenómeno de La Niña, que provocó una reducción significativa de las precipitaciones. A los problemas climáticos se sumaron pérdidas en el sistema de

distribución de entre el 40% y el 50%. El resultado fue una grave escasez de agua en el área metropolitana de Montevideo. Las principales fuentes de agua, como el embalse de Paso Severino, se encontraban en niveles críticamente bajos, lo que llevó al Gobierno a declarar el estado de emergencia.

Para hacer frente a la crisis, a principios de 2023 se bombeó agua con mayor salinidad procedente del Río de la Plata. A medida que la sequía se agravaba en abril y mayo de 2023, el Ministerio de Salud Pública aprobó valores máximos excepcionales para el sodio y el cloruro en la producción de agua potable (véase el gráfico B2.1.1 para la serie histórica de valores registrados de sodio y cloruro). Como resultado de esta flexibilización de las normas de calidad del agua, el 37% de los hogares pasó de beber agua del grifo a agua embotellada, y la percepción de la calidad del agua se deterioró (El Observador, 2024).

**Gráfico B2.1.1.**  
Niveles promedio de sodio y cloruro en 2023



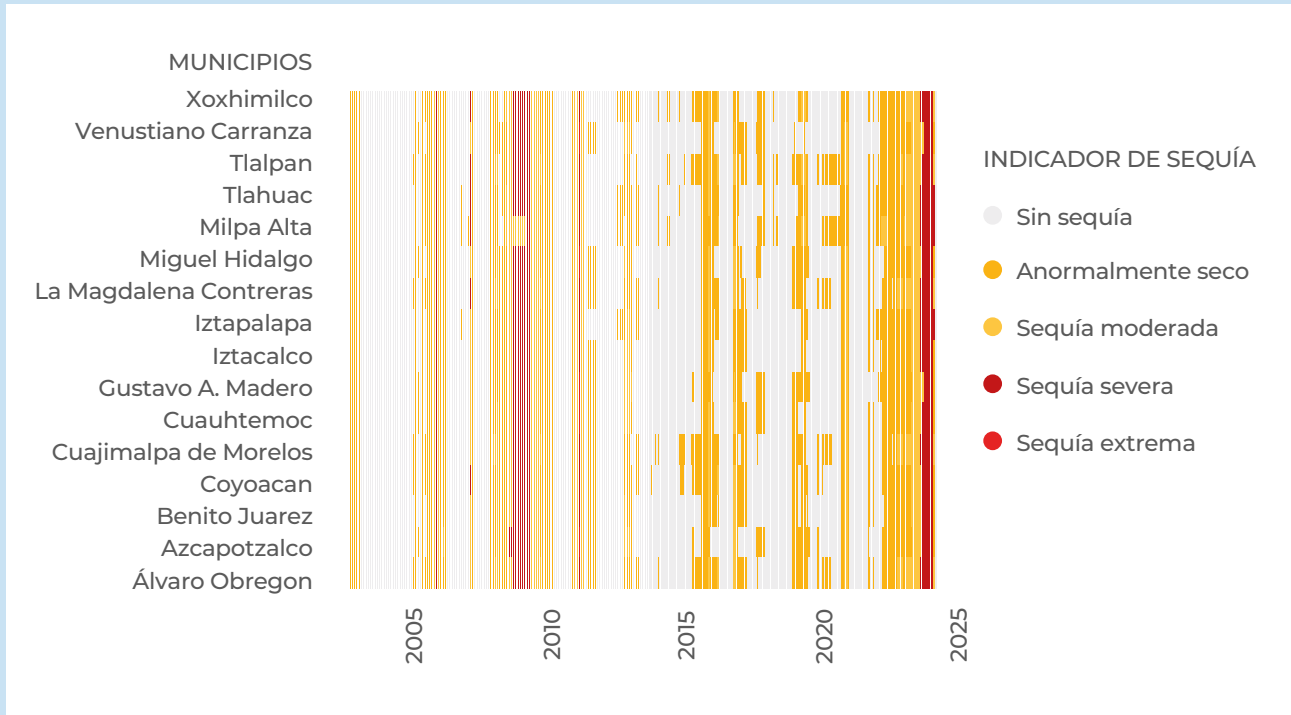


Fuente: Elaboración propia basada en datos de la Intendencia de Montevideo, Montevidata (2023).

### México

Desde el verano de 2023, México ha sufrido una de las sequías más graves en más de una década, que se intensificó a lo largo de 2024. A principios de 2024, todos los distritos de la Ciudad de México se encontraban en alerta por sequía grave (véase el gráfico B2.1.2).

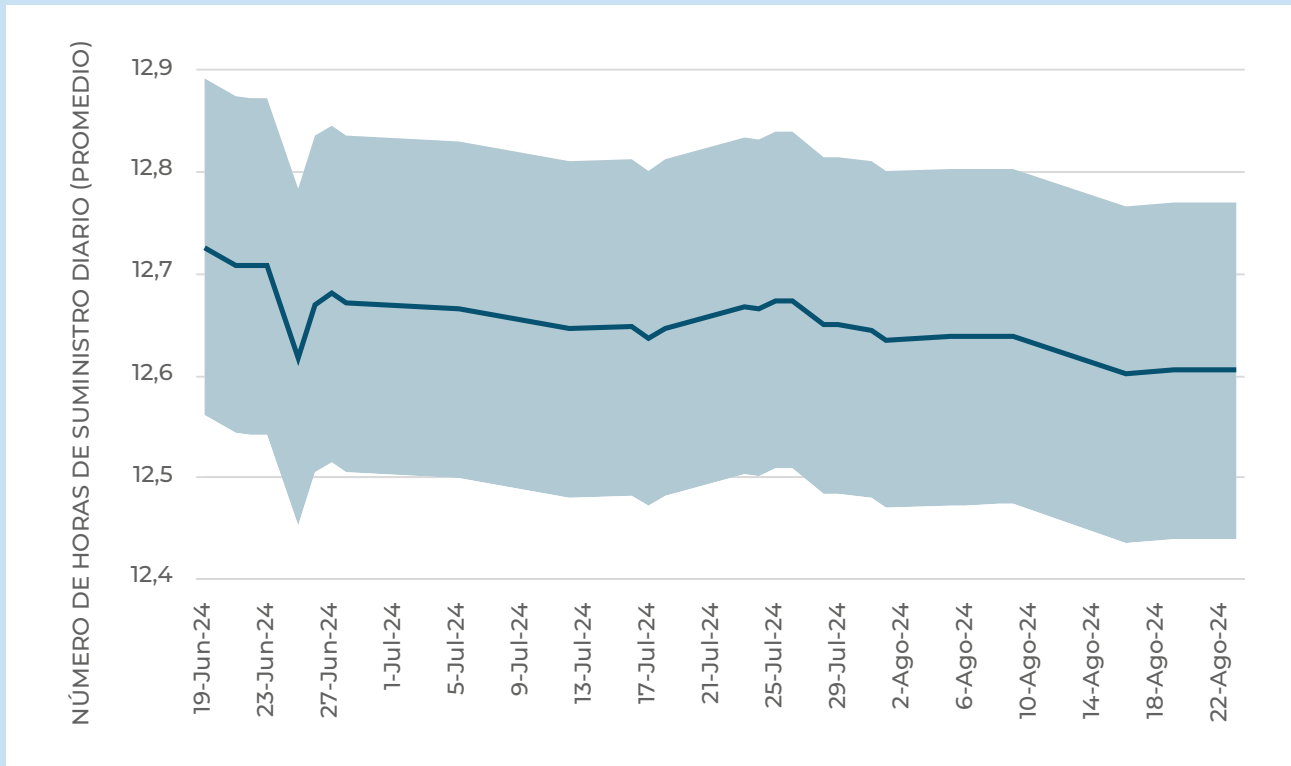
**Gráfico B2.1.2.**  
Monitor de sequías en CDMX, 2003-2024



**Fuente:** Couleau y Pérez-Urdiales (de próxima publicación-a).

El 26 de junio fue popularmente apodado «Día Cero», el día previsto en que la Ciudad de México agotaría sus reservas de agua. Aunque este escenario se evitó, la ciudad sufrió cortes intermitentes en el suministro de agua (véase el gráfico B2.1.3). La crisis se mitigó finalmente gracias a una combinación de lluvias, una mayor dependencia de los acuíferos e intervenciones políticas durante el período electoral concurrente.

**Gráfico B2.1.3.**  
Evolución de la continuidad del servicio de agua



**Fuente:** Couleau y Pérez-Urdiales (de próxima publicación-a).

### Colombia

Bogotá también sufrió una grave sequía en 2024, lo que obligó a programar cortes en el suministro de agua a partir del 11 de abril. Estas medidas incluyeron períodos de racionamiento más estrictos y períodos más flexibles, que se han prolongado hasta 2025.

Además, las temperaturas más altas reducen la cobertura glaciara, que actúa como un reservorio natural de agua. El deshielo de los glaciares disminuye la disponibilidad de agua y altera los caudales estacionales, lo que provoca sequías e inundaciones en distintas épocas del año. Los glaciares andinos

de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia han perdido entre el 20% y el 50% de su superficie desde mediados del siglo XX (Magrin, 2015). La calidad del agua también se ve afectada por el deshielo de los glaciares, ya que aumenta la turbidez. Otros fenómenos, como los incendios forestales o la erosión del suelo, aumentan la carga de sedimentos en los ríos, mientras que el aumento de la temperatura del agua incrementa la gravedad, la frecuencia y la localización de las floraciones de algas nocivas, que afectan al sabor y al olor del agua (IPCC, 2023). Todos estos fenómenos suponen una amenaza para la salud humana si no se abordan. En consecuencia, los operadores se enfrentan a la necesidad de un tratamiento adicional del agua o a una mayor presión sobre las aguas subterráneas extractivas, lo que incrementa los costos operativos del suministro de agua y de los sistemas de aguas residuales (Balza et al., 2025). Alrededor de dos tercios de las empresas de suministro de agua de la región reportaron, en una encuesta, un mayor gasto en productos químicos para el tratamiento del agua debido al cambio climático (Solis y Serebrisky, 2023).

Los cambios en las condiciones climáticas, junto con la disponibilidad de recursos naturales, también afectan la generación y el transporte de energía (Nascimento et al., 2017). Las variaciones en los patrones del viento, la exposición solar, la nubosidad y la densidad del aire afectan la generación de energía de los parques eólicos y de las centrales solares. El calor también afecta a la generación de energía solar, ya que reduce la eficiencia de las células fotovoltaicas y daña las células y otros materiales (AIE, 2022; Balza et al., 2025). Las altas temperaturas y las olas de calor también dificultan la capacidad de transferencia de las líneas de transmisión, lo que a su vez agrava las pérdidas de energía y el riesgo de pandeo de las líneas. Los cambios en las precipitaciones y las sequías más frecuentes o intensas limitan la disponibilidad de agua de escorrentía, el principal insumo para producir energía en las centrales hidroeléctricas (Talbot-Wright, Hallack y Vogt-Schilb, 2023). Esto es especialmente crítico para América Latina y el Caribe, ya que la generación hidroeléctrica representa más de la mitad de la matriz eléctrica, más que en otras regiones (Balza et al., 2025). En Surinam, se prevé que los cambios en los patrones de precipitación reduzcan la generación de energía en la central eléctrica de Afobaka entre un 5% y un 9% (dependiendo del escenario climático) y entre un 10% y un 14% para 2100 (San Salvador Del Valle et al., 2022; Balza et al., 2025). Los cambios en la generación de energía hidroeléctrica también pueden tener repercusiones indirectas en la población y en la transición energética, dependiendo del tipo de tecnología utilizada para reemplazar la pérdida de generación hidroeléctrica renovable y no contaminante. El recuadro 2.2 sobre las

sequías en Chile ilustra los impactos indirectos del cambio climático en la contaminación y el uso de combustibles fósiles, a través del canal de una menor disponibilidad de recursos hidrológicos naturales y renovables. En general, la vulnerabilidad de las distintas fuentes de generación eléctrica pone de relieve el valor de la diversificación de la red. Depender de diversas fuentes incrementa la resiliencia de la generación en su conjunto frente a distintos choques.

## RECUADRO 2.2. Desafíos climáticos para la descarbonización de la electricidad: evidencia de Chile

Las variaciones climáticas amenazan cada vez más la seguridad del suministro eléctrico al afectar a la capacidad de generación, la eficiencia operativa y la resiliencia de las redes de transmisión y distribución. La creciente frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos plantean retos particulares para la descarbonización del sistema energético, ya que las fuentes de energía renovables —como la hidroeléctrica, la solar y la eólica— son muy sensibles a la variabilidad climática. Entre ellas, la energía hidroeléctrica, que representa más del 15% de la generación eléctrica mundial, es especialmente vulnerable al aumento de la frecuencia y la gravedad de las sequías, que afectan tanto a la disponibilidad estacional como interanual y a la capacidad de generación.

En un estudio reciente, Bagnoli et al. (de próxima publicación) examinan cómo se adaptan los sistemas eléctricos a las crisis provocadas por las sequías, utilizando Chile como caso de estudio. La peculiar geografía del país, caracterizada por cuencas fluviales paralelas que fluyen desde los Andes hasta el Pacífico, genera una variación sustancial a nivel subnacional en la exposición a la sequía. Junto con datos de alta calidad a nivel de planta que abarcan dos décadas, este escenario permite a los autores examinar cómo responden las diferentes tecnologías de generación a las condiciones de sequía y evaluar la resiliencia del sector eléctrico al estrés climático.

La matriz eléctrica de Chile experimentó una transformación significativa entre 2003 y 2022. Al comienzo de este período, la generación se dividía de manera parecida entre fuentes hidroeléctricas y térmicas. Sin embargo, en 2022, la matriz eléctrica había evolucionado significativamente: la energía hidroeléctrica representaba solo el 24% de la generación total, mientras que la térmica comprendía el 47%, y las fuentes renovables variables —solar y eólica— aumentaron al 17% y al 11%, respectivamente. Esta transición se produjo en un contexto de grave sequía que afectó a las regiones centrales del país, donde se encuentra la mayor parte de la capacidad hidroeléctrica del país.

Aprovechando datos detallados a nivel de planta, Bagnoli et al. (de próxima publicación) examinan este período para evaluar cómo las condiciones de sequía remodelan los patrones de generación de electricidad:

- A nivel de planta, los episodios de sequía provocaron una reducción del 17% en la generación de energía hidroeléctrica, lo que pone de relieve la vulnerabilidad de esta tecnología crucial de bajas emisiones de carbono ante los fenómenos climáticos extremos.
- Las grandes centrales térmicas compensaron la reducción de la producción hidroeléctrica, y las centrales afectadas aumentaron su generación en aproximadamente un 25% durante los periodos de sequía. Esta respuesta se debió principalmente a las centrales térmicas ya establecidas con capacidad disponible, más que a nuevas inversiones.

Estos hallazgos ponen de relieve consideraciones importantes para la planificación del sistema eléctrico. Si bien la capacidad de generación de reserva es crucial para la fiabilidad del sistema durante las interrupciones de la generación renovable provocadas por las condiciones meteorológicas, la elección de las fuentes de reserva y su distribución geográfica deben ajustarse a objetivos medioambientales más amplios. La investigación también sugiere que la integración del mercado solo mitiga parcialmente las perturbaciones meteorológicas, ya que las centrales térmicas responden tanto a las condiciones de sequía locales como a las del sistema en su conjunto.

La experiencia de Chile ofrece valiosas lecciones de política para gestionar los riesgos relacionados con el clima en los sistemas eléctricos. En primer lugar, la diversificación de las fuentes de generación entre diferentes tecnologías y zonas geográficas mejora la resiliencia del sistema y ayuda a reducir la vulnerabilidad de todo el sistema a fenómenos meteorológicos específicos. En segundo lugar, la elección y la ubicación de la capacidad de generación de reserva deben equilibrar las necesidades de fiabilidad y el impacto medioambiental. Por último, el refuerzo de las interconexiones de la red y la integración del mercado pueden ayudar a mitigar los efectos de las perturbaciones meteorológicas locales, aunque su capacidad para absorber completamente los fenómenos climáticos extremos sigue siendo limitada.

En el transporte, el cambio climático puede afectar significativamente al estado de las carreteras, las vías férreas, los puertos marítimos, las vías navegables interiores y los sistemas de transporte público. Las sequías más frecuentes e intensas, así como las lluvias torrenciales, suponen una amenaza importante para la infraestructura vial (Calatayud et al., 2023). El aumento de las precipitaciones también agrava la congestión, afecta a la seguridad vial y provoca pérdidas de productividad (Koetse y Rietveld, 2009; Gordillo et al., 2015). Los cambios en los patrones climáticos están perturbando cada vez más el transporte aéreo y marítimo. En la aviación, las tormentas más frecuentes, las turbulencias y los cambios en los patrones de viento están afectando a la seguridad de los vuelos, la programación y la fiabilidad de los servicios de emergencia. Del mismo modo, el transporte marítimo se enfrenta al aumento del nivel del mar, a tormentas más fuertes y a la alteración de las corrientes oceánicas, lo que amenaza la infraestructura portuaria, la seguridad de los buques y la estabilidad del comercio mundial. Los principales puertos marítimos de la región y los aeropuertos del Caribe son vulnerables al aumento del nivel del mar (Camacho, 2024). Además, los períodos prolongados de bajos niveles de agua pueden aumentar significativamente los costos del transporte por vías navegables interiores (Koetse y Rietveld, 2009). Las sequías también afectan al transporte marítimo. Por ejemplo, el Canal de Panamá gestiona alrededor del 3% del comercio marítimo mundial y depende en gran medida del agua dulce, lo que lo hace más vulnerable al cambio climático. Las intensas

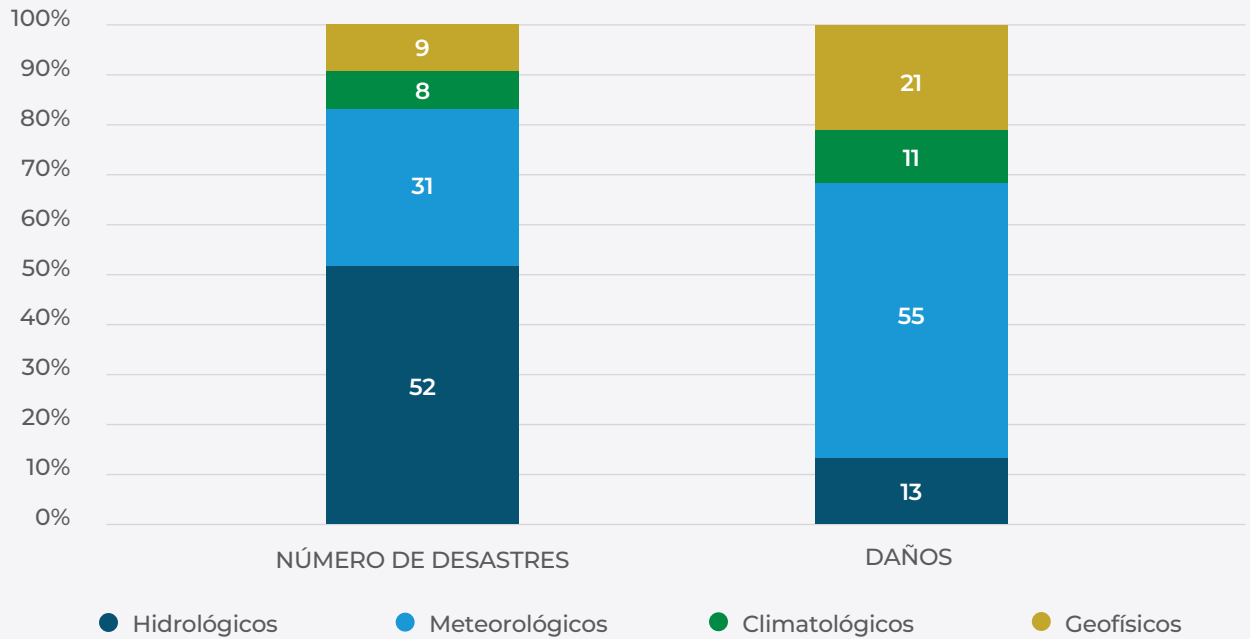
sequías registradas desde 2019 han limitado el paso de grandes buques, lo que afecta al comercio mundial y aumenta notablemente los precios de las materias primas, al tiempo que supone una pérdida de ingresos para el Gobierno panameño (Calatayud et al., 2023).

### **Destrucción de activos e interrupción de los servicios**

Más allá de los cambios graduales en las condiciones operativas, el suministro de servicios de infraestructura también es vulnerable a fenómenos meteorológicos extremos y otros desastres naturales. Los derrumbes, daños y destrucción de activos físicos no solo representan costos debido a la destrucción de capital, sino que también interrumpen de manera importante la prestación de servicios, lo que a su vez puede desencadenar efectos dominó negativos en otros sectores (Kadri, Birregah y Châtelet, 2014).

Los desastres naturales abarcan diversos tipos de eventos. Los eventos hidrológicos, como las inundaciones, han representado el mayor número de desastres en América Latina y el Caribe desde el año 2000 (véase el gráfico 2.2). Representan el 52% de los desastres y alrededor del 13% del total de daños registrados. Los desastres meteorológicos incluyen tormentas y temperaturas extremas. Estos representan el 31% de los eventos y el 55% de los daños. Los desastres climatológicos incluyen sequías e incendios forestales. Representan un menor número de eventos y daños: el 8% y el 11%, respectivamente, pero pueden tener consecuencias significativas al interrumpir servicios como la electricidad y el agua potable. Por último, los fenómenos geofísicos, como los terremotos o la actividad volcánica, representaron el 9% de los eventos en la región en las últimas dos décadas y media, pero hasta el 21% de la destrucción total de activos.

**Gráfico 2.2.**  
Tipo de desastres naturales y daños asociados (2000-2025)

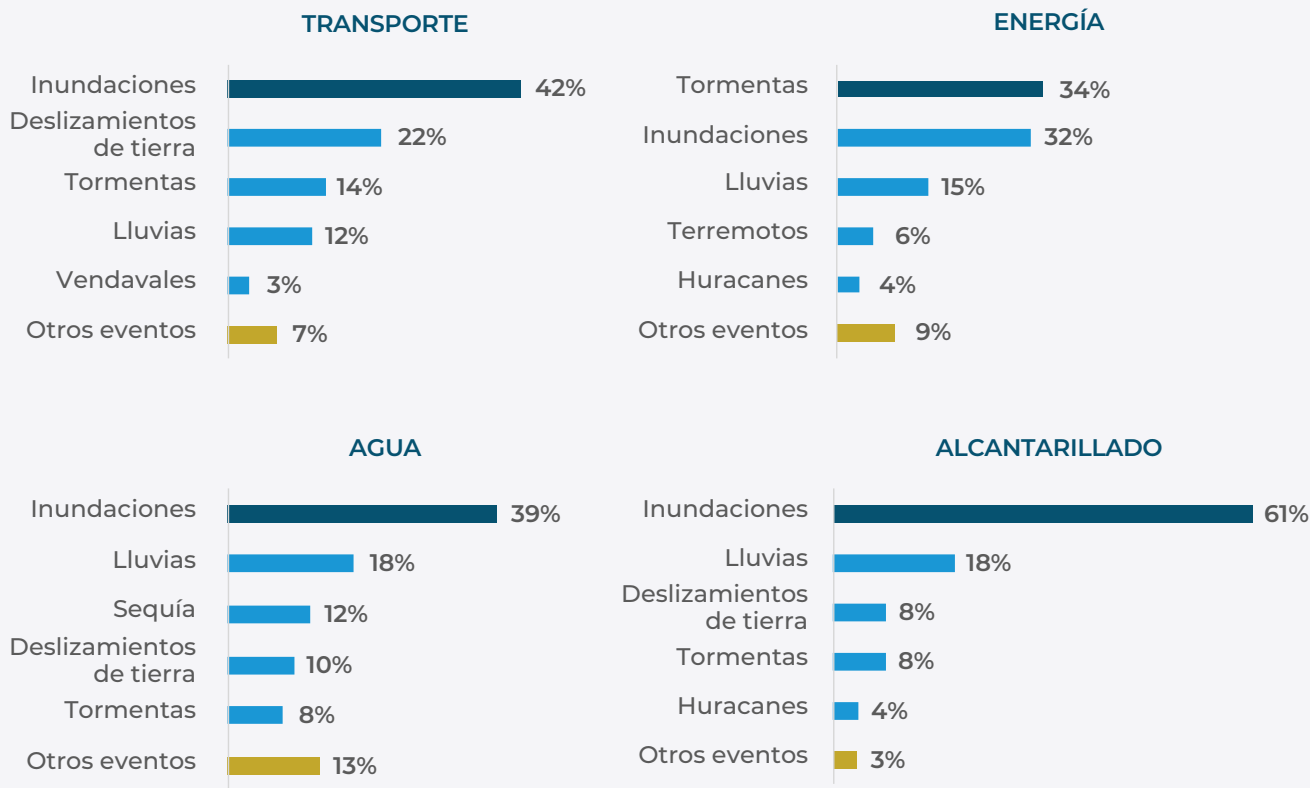


**Fuente:** Elaboración propia basada en datos de EM-DAT: la base de datos internacional sobre desastres.

**Nota:** El número total de desastres naturales que se produjeron en América Latina y el Caribe entre enero de 2000 y mayo de 2025 es de 1617. En estos cálculos se excluyeron los desastres biológicos (que representan 79 desastres y ningún daño económico). Los daños son el valor de las pérdidas económicas causadas directa o indirectamente por el desastre, ajustadas por la inflación.

Las inundaciones son especialmente problemáticas para los servicios de infraestructura. Representan el tipo de evento más frecuente en el transporte (42% de todos los eventos dañinos), el agua (39%) y el alcantarillado (61%), y ocupan el segundo lugar, muy cerca de las tormentas en el sector energético (32% y 34%, respectivamente). El segundo tipo de evento dañino más frecuente son los deslizamientos de tierra para el transporte y la lluvia para el agua y el alcantarillado.

**Gráfico 2.3.**  
Daños a la infraestructura, por servicio y tipo de evento



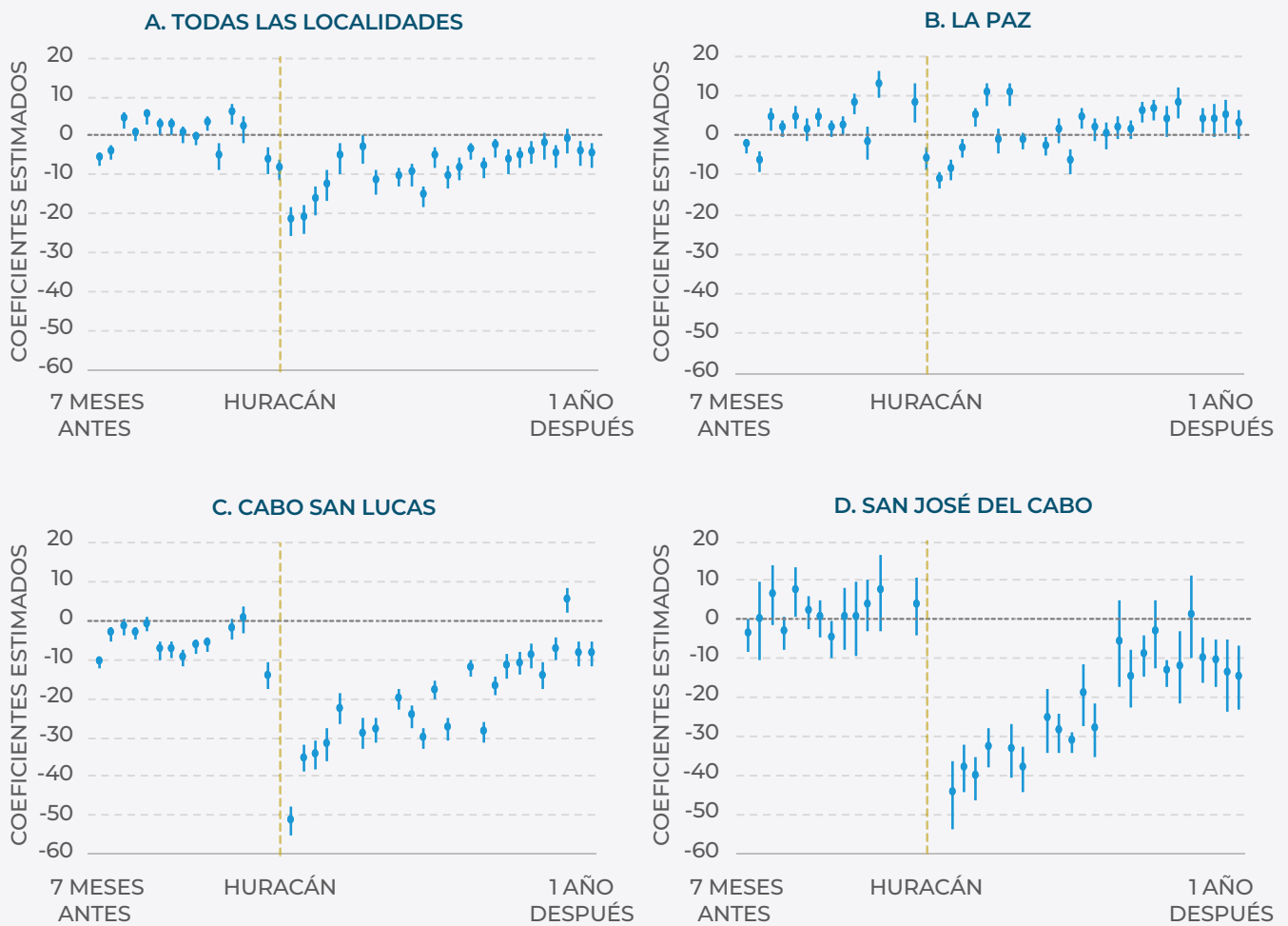
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de DesInventar (1970-2023).

**Nota:** Porcentaje de eventos con efectos perjudiciales para los sistemas de infraestructura por sector.

Las tormentas se consideran una de las principales causas de perturbaciones eléctricas de gran alcance en todo el mundo (Panteli y Mancarella, 2015; Kenward y Raja, 2014). De hecho, estas interrupciones del suministro eléctrico suelen durar más debido a los graves daños que sufren las infraestructuras de transmisión y distribución. Por ejemplo, los ciclones tropicales y las tormentas pueden dañar gravemente las líneas de distribución, los postes y los transformadores (AIE, 2022). En 2014, el huracán Odile azotó el estado de Baja California Sur, en México. Los vientos intensos destruyeron las líneas eléctricas y comprometieron el suministro eléctrico en los grandes centros urbanos, lo que afectó entre el 50% y el 100% de los usuarios, dependiendo del municipio. Bagnoli et al. (2025) utilizaron datos de luz nocturna para evaluar los patrones de recuperación tras el

huracán. En promedio, la luz nocturna se redujo al 78% de su nivel anterior al huracán, con algunas localidades alcanzando tan solo el 49% de la luminosidad anterior al huracán (véase el gráfico 2.4). Aunque se tardó dos meses en restablecer por completo el servicio eléctrico a la población, los niveles de luminosidad no se recuperaron a los niveles anteriores al huracán sino hasta un año después del desastre, lo que implica impactos de largo plazo, especialmente en una región tan turística como Baja California Sur.

**Gráfico 2.4.**  
Patrones de recuperación tras el huracán Odile en Baja California Sur, México, 2014



Fuente: Elaboración propia basada en Bagnoli et al. (2025).

Los deslizamientos de tierra también representan una amenaza para la infraestructura eléctrica, como las líneas de transmisión (Balza et al., 2025). Además, las fallas en la infraestructura pueden crear o aumentar los riesgos naturales. Por ejemplo, durante olas de calor y sequías, las chispas en las líneas de transmisión o de distribución cercanas a la vegetación, causadas por el sobrecalentamiento, pueden provocar incendios forestales, que a su vez suponen una grave amenaza para la infraestructura y las poblaciones cercanas (Hallegatte et al., 2019).

Si bien los sistemas de agua son vulnerables a los fenómenos meteorológicos extremos, también son fundamentales para reducir los riesgos de desastres naturales relacionados con las inundaciones y las sequías (Hallegatte et al., 2019). Por ejemplo, las presas son necesarias para gestionar las inundaciones aguas abajo, pero pueden tener consecuencias catastróficas si se derrumban debido al aumento del caudal de los ríos (Hallegatte et al., 2019). Las plantas de tratamiento de agua y de aguas residuales suelen ubicarse en la parte más baja de la red y, por lo tanto, son especialmente vulnerables a las inundaciones. El recuadro 2.3 ilustra la importancia de los efectos de las inundaciones sobre la infraestructura de agua y saneamiento en Colombia.

### RECUADRO 2.3. El impacto de las inundaciones en la infraestructura de agua y saneamiento: el caso de Colombia

La infraestructura de agua y saneamiento está amenazada por los fenómenos meteorológicos extremos. Entre 1998 y 2022, se registraron 1514 casos de daños en la infraestructura de agua y saneamiento debido a las inundaciones en Colombia (véase el gráfico B2.3.1). Estos fenómenos afectaron a 335 municipios que albergan al 46% de la población nacional (Couleau y Pérez-Urdiales, de próxima publicación-b). Los daños en la infraestructura se producen con mayor frecuencia durante los fenómenos de La Niña (Vega, Barco e Hidalgo, 2024). Sin embargo, las características geográficas también desempeñan un papel importante; los municipios más afectados

suelen estar situados a mayor altitud (Cullen, Al Suhili y Aristizabal, 2022), lo que los hace más vulnerables a los daños en la infraestructura.

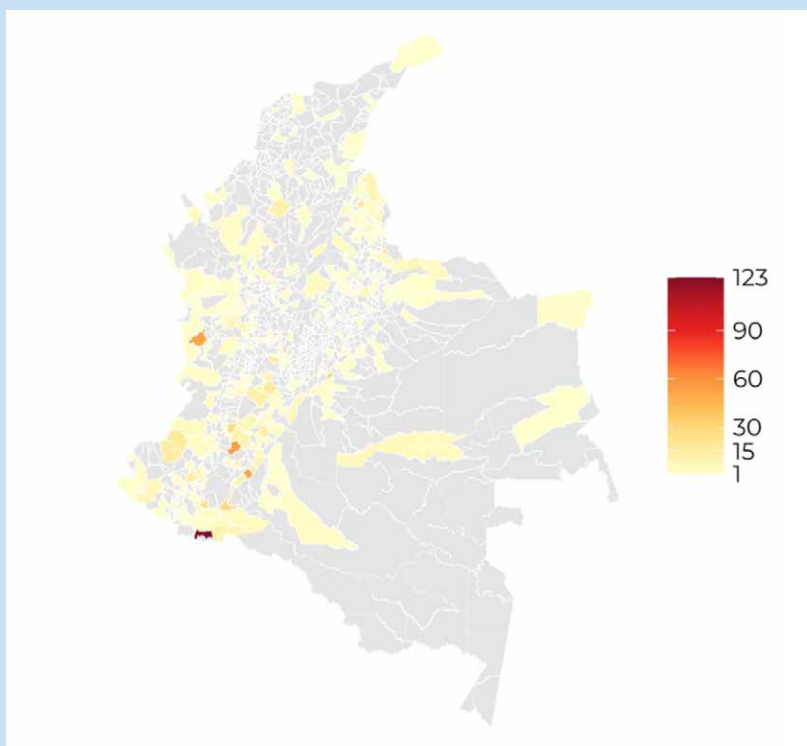
Las inundaciones pueden dañar el sistema de abastecimiento de agua a través de diversos canales. El daño más común se produce cuando los sistemas superan su capacidad y se acumulan desbordamientos o sedimentos en las tuberías, lo que provoca interrupciones en el servicio, baja presión y procesos de tratamiento más difíciles debido a una mayor turbidez o a nuevos contaminantes. En casos extremos, todo el sistema, incluida la planta de tratamiento de agua, se inunda, lo que obliga a cortar por completo el suministro de agua. Las inundaciones también pueden dañar las tuberías de alcantarillado debido a la presión excesiva, o inundar propiedades con aguas residuales debido a un drenaje inadecuado. La exposición a inundaciones prolongadas, como las que se producen durante el fenómeno de La Niña, se ha asociado con un mayor riesgo de diarrea entre los niños menores de cinco años en los países de ingresos bajos y de ingresos mediano bajos. Este riesgo es aún mayor cuando las inundaciones van precedidas de sequías (Wang et al., 2023), algo habitual en un clima tropical como el de Colombia.

Las intervenciones específicas, los sistemas de alerta temprana y la infraestructura resiliente pueden ayudar a mitigar el impacto de las inundaciones. Estas estrategias de mitigación tienen un efecto aún mayor en los hogares rurales, donde la conexión a la infraestructura de agua y saneamiento es escasa. Por ejemplo, en el Valle de Aburrá (Antioquia, Colombia), el Departamento Administrativo de Gestión de Riesgos de Desastres (DAGR) implementa sistemas de alerta temprana para mitigar los daños cuando los ríos del municipio se desbordan, especialmente durante la temporada de lluvias. Estos sistemas, que incluyen sensores de nivel en los ríos, sirenas, grupos de chat comunitarios y comunicación directa con las autoridades, tienen como objetivo alertar a la población sobre posibles inundaciones y crecidas repentinas. Este sistema permite realizar evacuaciones preventivas eficaces. Cuando un sensor de nivel de agua pasa de naranja (que indica una inundación menor) a rojo, la plataforma central que monitorea los caudales de los ríos (SIATA) se pone en contacto con los miembros de la comunidad para obtener observaciones en tiempo real antes de decidir si se activan las sirenas para alertar a los residentes

(Área Metropolitana Valle de Aburrá, 2021). Además, el DAGRD lleva a cabo intervenciones preventivas en zonas de alto riesgo para reducir los peligros de inundación; limpia los ríos de vertederos ilegales y realiza campañas de educación pública para prevenir la acumulación de residuos sólidos en las vías fluviales (Alcaldía de Medellín, 2022).

### Gráfico B2.3.1.

Daño a la infraestructura de agua y saneamiento debido a inundaciones, Colombia (1998–2022)



**Fuente:** Couleau y Pérez-Urdiales (de próxima publicación-b).

Los desastres naturales también pueden interrumpir, dañar o destruir la infraestructura de transporte, lo que puede provocar pérdidas sociales y económicas significativas debido a la interrupción de los servicios y al posible aislamiento. Solo el sector del transporte soporta el 25% de las pérdidas asociadas a los desastres naturales (CAF, 2018). Los deslizamientos

de tierra causados por las fuertes lluvias, el deshielo de los glaciares o los terremotos suponen una amenaza importante para el transporte por carretera. Estos fenómenos dañan los activos y provocan pérdidas sociales y económicas debido a las interrupciones del servicio, que incluso pueden superar el valor de los activos dañados (Calatayud et al., 2023). Por ejemplo, en la República Dominicana, los huracanes, las crecidas de los ríos, los terremotos y los tsunamis causan alrededor de US\$1 millón en daños anuales a la red de transporte. Sin embargo, las pérdidas para los usuarios son casi tres veces mayores (Olaya González et al., 2022). Otros ejemplos similares incluyen el caso del huracán Dorian en las Bahamas (2010) y la tormenta tropical Eta y el huracán Iota en Honduras (2020) (Balza et al., 2025). Las empresas son especialmente vulnerables a las interrupciones del transporte y la cadena de suministro; se estima que más de la mitad (56%) de las pérdidas sufridas por las empresas en América Latina y el Caribe tras un desastre pueden atribuirse a interrupciones en el sector del transporte (Rozenberg et al., 2019).

En resumen, la vulnerabilidad de los activos de infraestructura ante distintos tipos de eventos varía según el sector. La tabla 2.1 resume los niveles de riesgo derivados de la exposición a los peligros climáticos para 2030 en cada subsector de infraestructura. Confirma que algunos peligros climáticos, como las inundaciones fluviales y pluviales, representan un riesgo para todos los subsectores de infraestructura, mientras que los huracanes, las tormentas y los tifones suponen un riesgo mayor para al menos uno de los subsectores de transporte, de energía y de agua. Además, los activos de cada sector están expuestos al riesgo de al menos otro tipo de peligro climático. Las inundaciones son una amenaza para el transporte, los incendios forestales para la transmisión y la distribución de energía, y las sequías para la infraestructura de agua dulce. Finalmente, la tabla 2.2 resume todos los impactos del cambio climático y de los desastres naturales en los servicios de infraestructura.

**Tabla 2.1.**  
Activos globales de infraestructura y nivel de riesgo frente a los peligros climáticos hacia 2030

	TRANSPORTE					ENERGÍA					AGUA		
						GENERACIÓN			T&D				
	Aeropuertos	Vías Férreas	Caminos	Ríos	Puertos marítimos	Centrales térmicas	Centrales eólicas	Centrales solares	Centrales hidroeléctricas	Líneas de T&D	Subestaciones	Infraestructura de agua dulce	Sistemas de tratamiento de agua
Aumento del nivel del mar e inundaciones por mareas													
Inundaciones fluviales y pluviales													
Huracanes, tormentas y tifones													
Tornados y otros eventos de vientos extremos													
Sequías													
Calor (aire y agua)													
Incendios forestales													

Escaso o ningún riesgo    Aumento del riesgo



**Fuente:** Woetzel et al. (2020).

**Nota:** El riesgo se define como las pérdidas potenciales futuras (interrupción, daño o destrucción de activos) derivadas de la exposición a peligros climáticos. T&D: transmisión y distribución.

**Tabla 2.2.**  
Impactos del cambio climático y de los desastres naturales en los servicios de infraestructura

	TEMPERATURAS MÁS ALTAS Y SEQUÍAS	PRECIPITACIONES EXTREMAS, INUNDACIONES, VIENTOS EXTREMOS Y CICLONES	VARIACIONES EN EL NIVEL DEL MAR	TERREMOTOS Y MOVIMIENTOS SÍSMICOS
AGUA Y SANEAMIENTO	<p>Aumento en la demanda de agua*</p> <p>Evaporación del agua almacenada</p> <p>Disminución del nivel freático debido al aumento en el bombeo</p> <p>Aumento en los costos de bombeo</p> <p>Grietas y ropturas en las redes de distribución por hundimiento del terreno</p> <p>Aumento de la carga de sedimentos en ríos y lagos debido a los incendios forestales</p> <p>Aumento en la frecuencia, la gravedad y la distribución geográfica de la floración de algas nocivas en las fuentes de aguas superficiales</p> <p>Aumento de los olores en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales</p>	<p>Daños a la infraestructura física por escombros e inundaciones</p> <p>Desbordamientos de los sistemas de drenaje de aguas</p> <p>Erosión de las riberas</p> <p>Desbordamiento de sistemas de aguas pluviales</p> <p>Aumento de la turbidez en las fuentes de agua superficial (incremento de los costos de tratamiento o incapacidad para tratarla)</p>	<p>Salinización de acuíferos por intrusión marina</p> <p>Inundación de plantas de desalinización</p> <p>Inundación de plantas de tratamiento de aguas residuales</p>	<p>Daños o ruptura en tuberías y embalses, interrumpiendo el suministro</p>
TRANSPORTE	<p>Derretimiento de superficies de carreteras y vías férreas</p> <p>Daño en la red vial por deshielo de suelo</p> <p>Pérdida de capacidad de navegación por el bajo nivel de las aguas</p> <p>Deterioro de las carreteras que requiere más mantenimiento</p> <p>Hundimiento del suelo por sobreexplotación de acuíferos durante sequías</p>	<p><b>Cambios en la demanda* y la oferta debido a la paralización de la aviación</b></p> <p>Caminos y vías férreas cubiertos por agua, lodo y escombros</p> <p>Daños en caminos y vías férreas por erosión del suelo</p> <p>Colapso de puentes debido a la erosión del suelo y los escombros</p> <p>Destrucción física de puertos marítimos</p> <p>Cierres temporales de puertos y aeropuertos por vientos extremos</p> <p>Inundaciones y daños en estaciones de metro, paradas de autobuses, material rodante, autobuses, etc</p>	<p>Inundación de caminos costeros</p> <p>Inundación de infraestructura portuaria (cierre de vías marítimas)</p> <p>Inundación de aeropuertos costeros</p> <p>Colapso de puentes debido al aumento del nivel del agua</p>	<p>Derrumbe de carreteras, vías férreas, puentes, puertos y aeropuertos</p> <p>Carreteras y vías férreas bloqueadas por escombros y deformaciones del terreno</p>

	TEMPERATURAS MÁS ALTAS Y SEQUÍAS	PRECIPITACIONES EXTREMAS, INUNDACIONES, VIENTOS EXTREMOS Y CICLONES	VARIACIONES EN EL NIVEL DEL MAR	TERREMOTOS Y MOVIMIENTOS SÍSMICOS
ENERGÍA	<p>Aumento de la demanda de electricidad por un mayor uso del aire acondicionado*</p> <p>Aumento de la demanda de electricidad debido al bombeo de aguas subterráneas y a las plantas desalinizadoras*</p> <p>Menor eficiencia de los paneles solares</p> <p>Reducción de las reservas hídricas y la generación eléctrica</p> <p>Reducción de la producción de energía debido al aumento de la temperatura del agua en las centrales termoeléctricas</p> <p>Cortes de energía debido a picos de carga inmanejables</p> <p>Ineficiencias en las líneas de transmisión</p> <p>Mayor riesgo de incendios forestales por las altas temperaturas y la expansión de las líneas de transmisión que entran en contacto con la vegetación</p>	<p>Inundación de infraestructuras</p> <p>Daños en líneas eléctricas y en infraestructura de generación hidroeléctrica por deslizamientos de tierra</p> <p>Caída de líneas eléctricas</p> <p>Interrupción del suministro eléctrico</p> <p>Daños en turbinas eólicas y paneles solares debido a la velocidad extrema del viento</p> <p>Daños a los activos físicos de energía hidroeléctrica</p>	<p>Inundación de centrales eléctricas costeras</p>	<p>Derrumbe de líneas eléctricas</p> <p>Interrupciones en el suministro de energía</p> <p>Daños en centrales eléctricas, subestaciones, torres y líneas de transmisión, y líneas de distribución</p>

\* Efectos sobre la demanda de infraestructura

Fuente: Elaboración propia basada en Balza et al. (2025).

### Los efectos en cadena de las interrupciones en los servicios de infraestructura

El cambio climático y los desastres naturales perturban cada vez más los sistemas de infraestructura, provocando daños físicos e interrupciones en los servicios. Estas perturbaciones no solo afectan las estructuras, sino que también incrementan considerablemente el costo y la complejidad de la prestación de servicios de infraestructura. Las consecuencias se propagan por toda la sociedad, con profundas implicaciones sociales y económicas para las personas, los hogares, las empresas y las comunidades enteras. Estos impactos se manifiestan a través de múltiples canales, incluidos daños directos, costos de adaptación y efectos indirectos que se acumulan con el tiempo.

Para los hogares, los impactos directos incluyen las consecuencias a corto plazo de no tener acceso a cada servicio de infraestructura y a los beneficios que estos proporcionan. Por ejemplo, los cortes de electricidad pueden afectar la conservación de los alimentos, así como los sistemas de calefacción y refrigeración, con posibles consecuencias para la salud. Los efectos indirectos abarcan desde los resultados educativos de los niños hasta el limitar el acceso a puestos de trabajo, mercados y servicios en general. Los efectos sobre la salud pueden derivarse de la falta de acceso a la atención sanitaria, la falta de aire acondicionado durante las olas de calor o de calefacción durante las olas de frío, la contaminación de las fuentes de agua, la contaminación del aire debido a la congestión, o consecuencias a más largo plazo de inversiones que se dejaron de realizar debido a la frecuencia y duración de las interrupciones. Por último, los hogares pueden tener que hacer frente a los costos que conlleva aumentar su resiliencia ante los efectos adversos del cambio climático y los desastres naturales. Estos pueden incluir inversiones en generadores, fuentes de agua alternativas o medios de transporte alternativos (Hallegatte et al., 2019).

Las interrupciones en los servicios de infraestructura también afectan a las actividades de las empresas: reducen su productividad, las obligan a operar con menor capacidad, disminuyen las ventas y aumentan los retrasos en los suministros y las entregas. El principal impacto directo proviene del menor uso de la electricidad, del agua y del transporte. En conjunto, esto supone pérdidas anuales de US\$151 mil millones en todo el mundo (Hallegatte et al., 2019). Las pérdidas de ventas causadas únicamente por las interrupciones del suministro eléctrico ascienden a US\$82 mil millones al año (Hallegatte et al., 2019). Entre los efectos indirectos se incluyen mayores barreras de entrada, menores inversiones, menos competencia e innovación, menor competitividad en los mercados internacionales y sesgos hacia la producción intensiva en mano de obra. Por último, los costos de adaptación para las empresas también incluyen mayores inversiones en generadores o en fuentes de agua alternativas (Solís, 2025). Estas pueden reducir, por ejemplo, los impactos directos de los apagones, pero tienen altos costos operativos y requieren una inversión inicial que puede impedir inversiones alternativas y más productivas. Otros costos de adaptación se relacionan con el traslado a zonas más costosas para evitar ciertas vulnerabilidades (Hallegatte et al., 2019).

Los efectos combinados sobre los hogares y las empresas se traducen en importantes consecuencias macroeconómicas. Se ha demostrado, por ejemplo, que el aumento de las temperaturas reduce el crecimiento del PIB,

y la magnitud del impacto depende de la temperatura base de cada país (Cavallo, Hoffmann y Dueñas, 2025). En América Latina y el Caribe, donde la mayoría de los países ya experimentan climas cálidos de base, se prevé que los aumentos de temperatura reduzcan el crecimiento del PIB per cápita hasta en un 22% en países como El Salvador y las Bahamas para 2050. Incluso en países como Chile, donde el PIB agregado podría aumentar con mayores temperaturas, se esperan pérdidas sectoriales en la agricultura, el agua y la energía.

Los desastres naturales agravan aún más estos riesgos. En América Latina y el Caribe, el impacto económico de las tormentas sigue siendo significativo, independientemente de su intensidad, a diferencia de otras regiones donde solo los fenómenos más graves tienen efectos duraderos. Esto sugiere que la región es particularmente vulnerable al aumento de la frecuencia y la gravedad de los desastres relacionados con el clima. Como resultado, América Latina y el Caribe se enfrentan a mayores riesgos macroeconómicos, con implicaciones a largo plazo para el desarrollo y la reducción de la pobreza (Cavallo, Hoffmann y Dueñas, 2025).

## Principales determinantes de la vulnerabilidad

Los principales determinantes de la vulnerabilidad al cambio climático y a los desastres naturales pueden clasificarse en tres categorías: (i) características geográficas, (ii) características económicas, (iii) características del sistema.<sup>5</sup>

### Características geográficas

No todos los países o regiones se enfrentan a las mismas amenazas, ya que no todos están expuestos de la misma manera. Los países del Caribe, y en particular los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (SIDS, por sus siglas en inglés), son especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático. Situados en el corredor de huracanes, estos países están muy expuestos a ciclones, tormentas tropicales y vientos extremos, terremotos y tsunamis. Además, dada su relativa pequeña extensión, una gran parte de la población y de la infraestructura se concentra en zonas costeras de alto riesgo (Calatayud et al., 2023). Por ejemplo, en las Bahamas, el

---

<sup>5</sup> La gobernanza y las características institucionales también son factores determinantes importantes de la vulnerabilidad y la capacidad de recuperación ante los desastres. Entre los aspectos relevantes se incluyen la capacidad reguladora, la coordinación intersectorial y los marcos generales de gobernanza. Estas dimensiones se desarrollarán con mayor detalle en el capítulo 3.

25% de la población y el 32% del territorio se encuentran a menos de 0,5 metros sobre el nivel del mar, lo que los hace especialmente vulnerables al aumento del nivel del mar y a los efectos destructivos de los fenómenos meteorológicos extremos que se originan en el océano (Strauss y Kulp, 2018). De hecho, el aumento previsto del nivel del mar y la mayor frecuencia asociada de marejadas ciclónicas e inundaciones se consideran algunos de los efectos más preocupantes del cambio climático, especialmente en las zonas costeras (Koetse y Rietveld, 2009). Además, los países SIDS dependen en gran medida del turismo, que representa entre el 11% y el 79% de su PIB (Monioudi et al., 2018), lo que amplifica el impacto de los fenómenos meteorológicos extremos en sus economías y mercados laborales (Calatayud et al., 2023).

Centroamérica y la costa occidental de Sudamérica se encuentran dentro del «Anillo de Fuego», caracterizado por volcanes activos y terremotos frecuentes, lo que los hace especialmente vulnerables a este tipo de fenómenos. De hecho, el 65% de los terremotos de magnitud 8 o superior registrados en el mundo desde el año 2000 se han producido en Sudamérica (OCHA, 2023). En particular, Chile, Ecuador y Guatemala presentan el mayor riesgo sísmico. Sin embargo, otros países también son vulnerables a este tipo de amenazas. Por ejemplo, las consecuencias del terremoto de 2010 en Haití se vieron agravadas por su alta vulnerabilidad, lo que provocó más de 222.500 víctimas mortales y lo situó entre los diez terremotos más mortíferos de la historia de la humanidad (OCHA, 2023).

Por último, los países de la zona ecuatorial son más vulnerables a las inundaciones y los deslizamientos de tierra, lo que, junto con su topografía montañosa, provoca graves daños a la infraestructura vial (Calatayud et al., 2023).

### **Características económicas**

La vulnerabilidad de los países, las comunidades y las personas ante los desastres naturales depende de su exposición y de su resiliencia o capacidad para hacer frente a las crisis.

Los países de ingresos bajos son más vulnerables. En América Latina y el Caribe, los países de ingresos bajos suelen ubicarse en zonas más vulnerables a los desastres y en latitudes más cálidas, lo que agrava los efectos del aumento de las temperaturas. Si bien los países de ingresos bajos representan el 74% de la población mundial, sufren el 93% de la mortalidad relacionada con los desastres (Cavallo y Noy, 2011). Además,

el calentamiento global ha ralentizado la convergencia de ingreso entre los países a nivel mundial en las últimas décadas, ya que los países más ricos, con climas más fríos, tienden a beneficiarse del aumento de las temperaturas (Diffenbaugh y Burke, 2019). Las condiciones económicas de un país también afectan su capacidad de recuperación tras las crisis. Las restricciones presupuestarias restringen la capacidad financiera de un país para hacer frente a las emergencias tras los desastres. Además, cuando los países dependen más de la agricultura, son más vulnerables a las crisis climáticas. Por otro lado, cuando los países, especialmente los más grandes, tienen una economía más diversificada, están en mejores condiciones de absorber las crisis negativas en todos los sectores y regiones (Cavallo, Hoffmann y Dueñas, 2025).

Dentro de los países, las personas con ingresos más bajos son las que corren mayor riesgo (Hallegatte y Rozenberg, 2017). Los hogares con ingresos más bajos pueden verse obligados a establecerse en zonas más peligrosas, no solo por los precios más bajos, sino también porque estas zonas pueden ofrecer otras oportunidades; por ejemplo, transporte más barato u oportunidades de empleo por estar situadas más cerca del agua (Hallegatte et al., 2017). Sin embargo, la exposición es solo un componente del riesgo; la vulnerabilidad es el otro e incluye tanto las vulnerabilidades físicas como la capacidad para hacer frente al suceso. Los hogares más pobres tienden a perder más cuando se ven afectados por un desastre (Bagolle, Costella y Goyeneche, 2023). Por ejemplo, mientras que el huracán Mitch en Honduras destruyó el 3% de los activos del quintil más rico, destruyó el 18% de los activos del quintil más pobre de la población (Morris et al., 2002). Las personas más pobres tienen menos recursos para prepararse e invertir en activos resilientes o para recuperarse de los efectos de las crisis climáticas (Bagolle, Costella y Goyeneche, 2023). Los hogares en asentamientos informales —una quinta parte de los residentes urbanos de América Latina y el Caribe— suelen estar situados en zonas de alto riesgo, carecen de servicios básicos de infraestructura formales y viven en viviendas que no cumplen con las normas de planificación y construcción (Libertun de Duren y González Jaramillo, 2025). También en las zonas rurales y remotas, las comunidades de bajos ingresos suelen tener una menor cobertura de servicios de infraestructura y, por lo tanto, se ven más afectadas por las interrupciones en la prestación de servicios (Calatayud et al., 2023). El recuadro 2.4 ilustra los vínculos entre el cambio climático y las poblaciones vulnerables en el caso del sector del transporte.

## RECUADRO 2.4. Cambio climático, transporte y poblaciones vulnerables

En las últimas décadas, los fenómenos climáticos extremos han aumentado significativamente en América Latina y el Caribe, en particular las lluvias torrenciales y las inundaciones. Entre 1900 y 2021, la frecuencia anual de las inundaciones en la región aumentó más que la de otros desastres naturales, como tormentas, deslizamientos de tierra y temperaturas extremas (Calatayud et al., 2023). A medida que se intensifica el cambio climático, se prevé que estos fenómenos sean cada vez más frecuentes y graves, lo que supondrá una carga adicional para las infraestructuras de transporte, ya de por sí insuficientes, que prestan servicio a las poblaciones vulnerables y restringirá aún más su acceso a servicios que mejoran su calidad de vida (Hallegatte y Rozenberg, 2017).

Las comunidades vulnerables suelen ser las más afectadas por las interrupciones en los servicios de transporte durante los fenómenos meteorológicos extremos. En las zonas rurales, muchas dependen de carreteras deterioradas o mal conectadas para acceder a servicios esenciales como la atención sanitaria, la educación y el empleo (Scholl et al., 2022). En las zonas urbanas, las poblaciones vulnerables suelen concentrarse en barrios periféricos donde los servicios de transporte público suelen ser de menor calidad y deficientes (Cavallo, Powell y Serebrisky, 2020). En los entornos urbanos, donde reside el 81% de la población de la región, las lluvias extremas suelen provocar inundaciones graves debido a las grandes superficies impermeables, lo que conlleva importantes costos económicos y sociales.

Las inundaciones dañan la infraestructura, interrumpen los servicios de transporte público, aumentan la congestión y limitan la movilidad de peatones y ciclistas (Pregolato et al., 2017; He et al., 2021). Por ejemplo, en 2013, Buenos Aires sufrió una de las tormentas más intensas de las últimas cinco décadas, afectando a 350.000 personas y causando US\$300 millones en daños directos debido a las inundaciones en las

rutas de transporte público y a las interrupciones en los sistemas de transporte masivo (Banco Mundial, 2016). En Río de Janeiro, las fuertes lluvias han reducido la velocidad de los autobuses entre un 1,7% y un 8,9%, lo que ha provocado retrasos con un costo anual estimado de US\$56 millones en salarios (Chaves Maia, 2022).

Abordar las necesidades de las poblaciones vulnerables en el diseño de políticas de transporte es esencial para construir sistemas de movilidad más resilientes e inclusivos. Un análisis realizado con académicos regionales identificó la inclusión y la transición como prioridades principales en la agenda de transporte y cambio climático para América Latina y el Caribe. Las preguntas críticas de investigación se centran en comprender cómo las políticas de descarbonización y adaptación afectan la desigualdad en la región y cómo las poblaciones vulnerables se ven afectadas por los eventos climáticos que perturban el sector del transporte (Beltrán, Rivas y Calatayud, 2024). Dado que estas poblaciones soportan la mayor carga de los impactos relacionados con el clima, la integración de sus necesidades en la planificación de la resiliencia climática puede mejorar significativamente el desempeño del sistema de transporte y generar beneficios generalizados (AbdelMagid et al., 2023).

### **Características del sistema**

Por último, la vulnerabilidad al cambio climático y a los desastres naturales depende de las características de los sistemas de infraestructura. La calidad de infraestructura y la incorporación de aspectos resilientes en su diseño y mantenimiento son cruciales para su capacidad de soportar impactos graves. Por ejemplo, los sistemas eléctricos antiguos y deteriorados son mucho más vulnerables a las condiciones meteorológicas adversas (Panteli y Mancarella, 2015; Shafieezadeh et al., 2014). El grado en que las medidas de adaptación se incorporan al diseño de la infraestructura tiene importantes implicaciones para su capacidad de resistir condiciones meteorológicas extremas (Calatayud et al., 2023).

La redundancia es un componente crucial de los sistemas de infraestructura que aumenta la resiliencia. La redundancia en el sistema es clave para restablecer el acceso al servicio de infraestructura lo antes

posible tras un desastre natural. Sin embargo, en muchos casos, las limitaciones de recursos y las deficiencias institucionales y de planificación dan lugar a una baja redundancia en el sistema. En el caso de las redes de carreteras, por ejemplo, las interrupciones en algunos tramos de zonas con baja redundancia pueden generar un grave aislamiento y escasez de suministros para las comunidades más vulnerables (Calatayud et al., 2023).

## Del alto riesgo a la alta recompensa

En este capítulo se ha presentado un diagnóstico de los riesgos y vulnerabilidades a los que los sistemas de infraestructura se enfrentan en América Latina y el Caribe. Los cambios en las condiciones climáticas afectan la demanda de servicios de infraestructura. Las temperaturas más altas incrementan la demanda residencial de agua y electricidad debido al uso de aire acondicionado, entre otros factores. También aumenta la competencia por el uso del agua entre distintos sectores y afecta los patrones de transporte, tanto de pasajeros como de mercancías. Finalmente, la demanda de electricidad también puede aumentar debido a las medidas de mitigación y adaptación en otros sectores, como la electrificación de los vehículos o la mayor dependencia de la extracción de agua subterránea.

Los cambios en las condiciones meteorológicas también afectan las condiciones generales en las que se prestan los servicios de infraestructura. El aumento de las temperaturas y los cambios en los patrones de precipitación son algunos de los factores que afectan los costos operativos de los servicios de agua en toda la región, ya que los operadores deben gastar más en tratamientos químicos y en la extracción de aguas subterráneas. Las sequías también afectan a la generación de energía, especialmente porque América Latina y el Caribe dependen en gran medida de la generación de energía hidroeléctrica. Otras tecnologías de energía renovable también pueden verse afectadas por fenómenos climáticos, como las olas de calor. Por último, el aumento del nivel del mar supone una amenaza especial para la infraestructura costera, así como para los puertos marítimos y los aeropuertos situados cerca del océano.

Los desastres naturales pueden causar daños a las estructuras, lo que provoca pérdidas sociales y económicas aún mayores debido a las interrupciones en el servicio. Las inundaciones son especialmente

perjudiciales para todos los sectores de la infraestructura. Aunque son menos frecuentes, los huracanes y las tormentas intensas también pueden causar daños graves a los activos, pérdidas de conectividad y demorar la recuperación. Las pérdidas sociales y económicas derivadas de las interrupciones del servicio pueden incluso superar el valor de los activos dañados y tener consecuencias a largo plazo para la población.

Las interrupciones de los servicios afectan a los hogares y a las empresas mediante impactos directos e indirectos, así como altos costos de adaptación, y también repercuten de manera más amplia en la economía. Los hogares se enfrentan a impactos directos cuando se interrumpen servicios esenciales como el agua, la energía o el transporte y soportan elevados costos de adaptación cuando pueden permitírseles. Estos impactos, así como los efectos indirectos, pueden tener consecuencias negativas a largo plazo para la salud, la pobreza y el desarrollo del capital humano. Del mismo modo, las empresas sufren una menor productividad, mayores costos y una menor competitividad en los mercados internacionales. A mayor escala, el cambio climático también afecta negativamente al crecimiento del PIB, tanto por el aumento de las temperaturas como por la mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos u otros desastres naturales no relacionados con el clima.

Las características geográficas son un factor determinante de la vulnerabilidad. Las pequeñas islas del Caribe son extremadamente vulnerables al cambio climático; se encuentran en el corredor de huracanes y se enfrentan a intensas amenazas de tormentas extremas, pero también corren el riesgo de que suba el nivel del mar, con la mayor parte de su población e infraestructura ubicada en zonas costeras. Asimismo, en el caso de los países no insulares, las áreas costeras presentan una vulnerabilidad especialmente alta frente al cambio climático. La costa occidental de Centroamérica y Suramérica es particularmente vulnerable a los terremotos y las erupciones volcánicas. Por último, las zonas con lluvias intensas y topografía montañosa se enfrentan a un alto riesgo de deslizamientos de tierra capaces de interrumpir gravemente los servicios de infraestructura.

Las características económicas también son un factor clave de vulnerabilidad, ya que amplifican la exposición y limitan la resiliencia de los países y poblaciones de ingreso bajo. Muchos países de ingresos bajos se encuentran en regiones más cálidas, propensas a condiciones meteorológicas extremas. Sin embargo, al disponer de recursos limitados para adaptarse e incrementar la resiliencia ante este tipo de eventos, presentan una mayor mortalidad por desastres y una menor capacidad de recuperación.

Por último, las características de los sistemas de infraestructura — en particular su calidad, redundancia y la forma en que la resiliencia y la adaptación se integran en la planificación— también influyen significativamente en su vulnerabilidad al cambio climático y a los desastres naturales. Los activos antiguos o degradados, como las redes eléctricas obsoletas o las carreteras que no están bien mantenidas, se enfrentan a riesgos elevados, mientras que un diseño robusto y medidas de adaptación pueden mejorar la supervivencia y la recuperación tras los desastres. Sin embargo, muchos sistemas presentan una baja redundancia debido a las limitaciones de recursos y a una planificación deficiente, lo que incrementa el aislamiento y la escasez de suministros, particularmente en comunidades vulnerables.

De cara al futuro, aunque los efectos del cambio climático y de los desastres naturales sobre la infraestructura son significativos, también representan una importante oportunidad para construir sistemas más resilientes y sostenibles en América Latina y el Caribe. El diseño de carreteras, puentes y puertos según normas de resiliencia climática, la combinación de infraestructura tradicional con soluciones basadas en la naturaleza que amortigüen las tormentas y las inundaciones, la diversificación de las fuentes de energía con energía solar y eólica, y el uso de la monitorización digital para detectar fallas antes de que se produzcan ya se están aplicando en varias partes de la región. Estos enfoques pueden reducir los tiempos de recuperación, disminuir los costos del ciclo de vida, abrir nuevas oportunidades económicas y ayudar a prevenir las interrupciones del servicio que a menudo generan las mayores pérdidas sociales y económicas. Aprovechar estas oportunidades requiere una planificación con visión de futuro, la mejora de la capacidad institucional y mecanismos de financiación adecuados que recompensen la reducción de riesgos a largo plazo. El siguiente capítulo se basa en esta idea, explorando políticas concretas para reforzar la resiliencia de los servicios de infraestructura en los sectores de la energía, el transporte y el agua y el saneamiento.

## CAPÍTULO 3

# Resiliencia: la palabra clave para la política de infraestructura

El cambio climático, los eventos meteorológicos extremos y los desastres naturales afectan cada vez más los servicios de infraestructura de los que dependen nuestras sociedades, en particular el agua y el saneamiento, la energía y el transporte. Estos sectores son fundamentales para satisfacer las necesidades básicas, facilitar el comercio, impulsar la innovación y apoyar el crecimiento económico. El acceso confiable a estos servicios es crucial para la productividad, la competitividad y la calidad de vida (Hallegatte, Rentschler y Rozenberg, 2019; Cavallo, Powell y Serebrisky, 2020).

Las economías de ingresos bajos e ingresos medios bajos invierten entre el 3,4% y el 5% de su PIB en infraestructura, lo que equivale a aproximadamente US\$1 billón al año (Fay et al., 2019). Por el contrario, América Latina y el Caribe apenas ha invertido, en promedio, 1,8% en los últimos años, lo que evidencia la falta crónica de inversión en la región (Brichetti et al., 2021). Las consecuencias son evidentes: las redes eléctricas son poco fiables, los sistemas de agua y saneamiento son insuficientes y las redes de transporte están sobrecargadas. La calidad y la cobertura varían mucho entre los países de la región y dentro de ellos, lo que provoca que millones de personas sufran interrupciones diarias. Las deficiencias de las infraestructuras se ven aún más agravadas por los peligros naturales. Las inundaciones urbanas, por ejemplo, interrumpen las redes de transporte y de energía eléctrica, al tiempo que propagan enfermedades transmitidas por el agua debido a la insuficiencia de los sistemas de drenaje y saneamiento (Hallegatte, Rentschler y Rozenberg, 2019). Las crisis más extremas pueden paralizar prácticamente sistemas enteros, como se vio con el huracán María en Puerto Rico (2017), el huracán Otis en Acapulco, México (2023), y la grave sequía que afectó a Montevideo, Uruguay (2023). Estos ejemplos ponen de relieve cómo las inversiones limitadas, sumadas a un mantenimiento insuficiente, se traducen en una baja resiliencia, lo que convierte la adaptación de la infraestructura en una prioridad central de política pública para la región.

Como se detalló en el capítulo 2, las consecuencias de estas crisis van mucho más allá de los daños físicos. Las interrupciones en los servicios de agua, electricidad y transporte pueden desencadenar efectos en cascada en la economía y la sociedad, lo que agrava las vulnerabilidades de los hogares, las empresas y los servicios públicos. Diseñar políticas de infraestructura eficaces que estén preparadas para resistir y adaptarse a las disrupciones relacionadas con el clima y otros choques es, por lo tanto, esencial para proteger vidas, medios de subsistencia y la economía.

Las políticas de adaptación eficaces deben abordar tanto el lado de la oferta como el de la demanda de los servicios de infraestructura. Por el lado de la demanda, no hay lugar para el derroche. Los patrones de consumo e inversión deben priorizar la eficiencia y la conservación de los recursos y apoyarse en instrumentos como políticas de fijación de precios o campañas de sensibilización. Las políticas del lado de la demanda también protegen a los usuarios, por ejemplo, mediante sistemas de alerta temprana que ayudan a reducir el impacto de los desastres sobre la población. Por el lado de la oferta, los proveedores deben garantizar que los sistemas de infraestructura se planifiquen, construyan y mantengan para funcionar en situaciones de estrés que van desde cambios en los patrones climáticos hasta fenómenos cada vez más frecuentes y graves. Para lograrlo, se requieren marcos normativos sólidos que incluyan la planificación en condiciones de incertidumbre, normas de diseño resilientes, códigos de construcción que consideren los fenómenos climáticos, una regulación de los servicios públicos basada en el riesgo y mecanismos contractuales que garanticen el mantenimiento y la continuidad del servicio. Abordar ambas dimensiones es fundamental para construir infraestructura resiliente: sistemas capaces de minimizar las interrupciones del servicio y, al mismo tiempo, de proteger a la sociedad y la actividad económica de distintos choques.

El desarrollo de la resiliencia también exige un cambio de enfoque: pasar de centrarse en los activos individuales a centrarse en garantizar la continuidad de los servicios a nivel de red. Esto implica identificar los nodos más críticos y las medidas que reducen las vulnerabilidades, desde el refuerzo de activos clave hasta la diversificación del suministro y la incorporación de redundancias en el sistema. En este contexto, la planificación resulta fundamental para integrar la resiliencia en todos los proyectos de infraestructura, ya que permite identificar riesgos y vulnerabilidades, así como priorizar las inversiones y acciones necesarias para asegurar la continuidad de los servicios esenciales en situaciones de estrés.

Este capítulo presenta una hoja de ruta para una infraestructura resiliente en los sectores del agua y el saneamiento, la energía y el transporte. Comienza examinando dónde y cómo debe construirse la infraestructura para que resista los riesgos climáticos y otras crisis, y destaca la importancia del mantenimiento adecuado. A continuación, analiza la diversificación, la descentralización y la redundancia como mecanismos clave para construir sistemas de infraestructura resilientes, así como el papel de las soluciones basadas en la naturaleza. El capítulo también explora estrategias para adaptar el comportamiento de los consumidores, incluyendo campañas de información, sistemas de alerta temprana e incentivos de precios para reducir la vulnerabilidad y mejorar la eficiencia. Concluye con un conjunto de prioridades políticas con visión de futuro para orientar a los gobiernos y las partes interesadas en el avance de infraestructuras resilientes en toda la región.

## Dónde y cómo construir infraestructura

### Ubicación, ubicación, ubicación

La decisión sobre dónde construir infraestructura es fundamental para fortalecer la preparación y la resiliencia. La ubicación determina el tipo y la magnitud de los riesgos a los que se enfrentarán los activos de infraestructura: el aumento del nivel del mar y las marejadas ciclónicas amenazan las zonas costeras, mientras que las sequías, el calor extremo y la escasez de agua afectan cada vez más a las zonas del interior de toda la región. La planificación adaptada al territorio, basada en datos de riesgo y en las vulnerabilidades locales, es clave para asegurar que las inversiones en infraestructura sean efectivas.

Sin embargo, en muchos países de América Latina y el Caribe, la falta de datos detallados sobre la exposición a amenazas suele conducir a inversiones mal focalizadas. La debilidad de los sistemas de información y una planificación insuficiente pueden hacer que los proyectos de infraestructura resulten hasta diez veces más costosos (Hallegatte, Rentschler y Rozenberg, 2019). Para abordar esta limitación, los países pueden adoptar herramientas de planificación que permitan una adaptación flexible y a largo plazo. Una de estas herramientas es la evaluación robusta de riesgos, que facilita la identificación de las zonas prioritarias donde las inversiones generarán mayores beneficios en

términos de resiliencia. Por ejemplo, la metodología Blue Spot Analysis de la Dirección de Carreteras de Dinamarca identifica los segmentos viales más vulnerables a las inundaciones y ayuda a priorizar las intervenciones en contextos de elevada incertidumbre climática y económica. Este enfoque ya ha sido implementado en la República Dominicana para orientar las decisiones de inversión en infraestructura vial (Olaya González et al., 2022; véase el recuadro 3.1).

### RECUADRO 3.1. Resiliencia en el transporte: metodología Blue Spot Analysis en la República Dominicana

La metodología del Blue Spot Analysis (BSA) identifica las zonas sensibles a las inundaciones en las redes de carreteras, donde un «punto azul» se define como un tramo de carretera con una probabilidad relativamente alta de inundación y consecuencias significativas (Climate-ADAPT, 2022). Desarrollada inicialmente en el marco del proyecto SWAMP (Storm Water Prevention) y aplicada a la red vial danesa en 2010 (Grauert, Hansson y Hellman, 2010), el BSA es útil tanto para (i) identificar las zonas más vulnerables a los fenómenos naturales como para (ii) proponer y priorizar las intervenciones más eficaces en un contexto de gran incertidumbre climática y económica, con el objetivo de fortalecer la resiliencia del sistema frente a posibles amenazas (Olaya González et al., 2022).

En la República Dominicana, el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), junto con el BID, implementó el BSA para priorizar las inversiones en infraestructura vial teniendo en cuenta los efectos del cambio climático y estimar los daños y pérdidas causados por fenómenos hidrometeorológicos (Olaya González et al., 2022). El análisis ayuda a priorizar las intervenciones en la red nacional de carreteras y a estimar sus costos asociados (tabla B3.1.1).

**Tabla B3.1.1.****Metodología para estimar los daños y las pérdidas en infraestructura vial**

ETAPA	DETALLES
1. IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS AFECTADAS	Los técnicos del Ministerio identifican los elementos de la infraestructura vial afectados (puentes, tramos de carretera, carreteras locales).
2. CLASIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL	Clasificada por tipo (puentes, carreteras locales, autopistas), nivel de red (nacional, regional, local) y estado pavimentado o sin pavimentar. La información se obtiene a partir de los datos aportados por los técnicos o de los datos georreferenciados existentes del inventario de carreteras.
3. DEFINICIÓN DEL COSTO PROMEDIO DE RECONSTRUCCIÓN	Se determina utilizando los resultados del BSA y la clasificación de la infraestructura.
4. ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS	Los daños (el costo económico que supone para el gobierno la rehabilitación de las infraestructuras) se cuantifican a partir de los resultados a los costos de reparación: el porcentaje de los costos promedios de reconstrucción de la función de vulnerabilidad, de acuerdo con el alcance de los daños, la clasificación de la infraestructura y la magnitud del evento, multiplicado por la longitud del segmento evaluado.
5. ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS	Las pérdidas (el costo económico para la sociedad de no poder viajar debido a los daños en la infraestructura) se calculan estimando el tiempo total necesario —o el tiempo transcurrido— para la rehabilitación del tráfico en horas, y multiplicándolo por el costo socioeconómico diario. BSA proporciona el costo socioeconómico de cada segmento de carretera en dos escenarios: (a) si existe una ruta alternativa entre los puntos A y B, y (b) si este segmento es la única ruta para llegar al destino.

**Fuente:** Elaboración de los autores basado en Olaya González et al. (2022) y Suardí, Lefevre, y Rodríguez Porcel (2024).

Las autoridades portuarias utilizan las directrices de la Asociación Mundial para la Infraestructura de Transporte Acuático (PIANC) para evaluar la exposición de los puertos a las marejadas ciclónicas y la erosión costera. Sobre la base de estas evaluaciones, las intervenciones siguen una estrategia de «elevar, defender, retirarse»: elevar las instalaciones por encima de los niveles de inundación previstos, reforzar las defensas costeras o reubicar los activos en zonas de alto riesgo (Van Houtven et al., 2022). Del mismo modo, los aeropuertos están aplicando marcos de riesgo climático desarrollados por la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) para evaluar las amenazas derivadas del aumento del nivel del mar y de las condiciones meteorológicas extremas. Las medidas de adaptación en los aeropuertos incluyen elevar las pistas, reubicar los equipos críticos y mejorar los sistemas de drenaje (ICAO, 2022).

En el sector energético, los riesgos climáticos amenazan tanto la oferta como la demanda, con importantes implicaciones para los sistemas eléctricos de América Latina y el Caribe. Las decisiones sobre dónde construir infraestructura energética son fundamentales para la resiliencia. La ubicación de las plantas de generación, las líneas de transmisión y los activos de distribución determina en gran medida el tipo y la magnitud de los riesgos a los que estarán expuestos. Las sequías y los cambios en los patrones de precipitación afectan a la hidroelectricidad en las cuencas fluviales (Bagnoli et al., de próxima publicación); las olas de calor y la escasez de agua para refrigeración afectan a las plantas térmicas (Byers et al., 2020); y las plantas costeras y subestaciones enfrentan marejadas ciclónicas y el aumento del nivel del mar (AIE, 2021b).

Por ello, la planificación eléctrica resiliente debe ir más allá de los criterios tradicionales de fiabilidad e incorporar análisis de riesgos específicos por ubicación, la incertidumbre y respuestas adaptativas en las decisiones de expansión y operación (Sauma, Poveda Bonilla y Gil Sevilla, 2025). Esto requiere el uso sistemático de datos climáticos y de amenazas para orientar la localización de nuevos activos, someter la infraestructura existente a pruebas de estrés y desarrollar planes basados en escenarios que consideren altos niveles de incertidumbre.

Los sistemas eléctricos deben diseñarse en torno a tres principios clave: (i) preparación proactiva, que incluye identificar amenazas y desarrollar escenarios robustos adaptados a las condiciones locales; (ii) respuesta y recuperación rápidas, que aseguren protocolos de contingencia para los activos ubicados en zonas de alto riesgo; y (iii) adaptación y aprendizaje, que implican ajustar las prioridades de inversión a medida que surgen nuevos datos climáticos e impactos locales. Incorporar estos principios en los procesos de planificación, respaldados por mandatos regulatorios y evaluaciones de inversión basadas en riesgos, permite que los sistemas energéticos minimicen las vulnerabilidades derivadas de su ubicación y refuercen su resiliencia. Estos ejemplos ponen de manifiesto que la planificación basada en la ubicación vincula las evaluaciones de riesgo con las estrategias de inversión y las decisiones operativas para fortalecer la resiliencia. La planificación permite a los gobiernos orientar y priorizar las inversiones, ya sea reubicando activos cuando sea necesario, modernizando la infraestructura existente, reforzándola cuando sea posible o construyendo nuevos activos capaces de soportar impactos.

## Los aspectos prácticos de la construcción resiliente

El diseño de infraestructuras resilientes requiere más que una adecuada selección de su ubicación; también demanda una transformación en la manera de construirlas. Los materiales, las normas de diseño y los códigos de construcción determinan la capacidad de los sistemas de infraestructura para resistir las amenazas climáticas (Alvear et al., 2023). Un diseño adecuado implica aplicar prácticas de ingeniería que consideren las nuevas realidades climáticas, establecer marcos normativos que incorporen riesgos cambiantes y, cada vez más, complementar la infraestructura gris tradicional con soluciones basadas en la naturaleza, aprovechando los múltiples beneficios que estas ofrecen.<sup>6</sup>

La base de una construcción resiliente es el uso de materiales y criterios de ingeniería capaces de adaptarse a temperaturas más elevadas, cargas de viento más intensas y precipitaciones más extremas. Las carreteras y los sistemas de drenaje, por ejemplo, deben diseñarse para soportar volúmenes de lluvia superiores a los históricos; las redes energéticas y los corredores de transporte pueden requerir reubicación o refuerzo ante cambios en los patrones climáticos; y las infraestructuras de agua y saneamiento deben prepararse para enfrentar inundaciones y sequías cada vez más frecuentes y severas.

A nivel mundial, los códigos de construcción reflejan cada vez más la necesidad imperiosa de resiliencia. Por ejemplo, las normas de diseño urbano están evolucionando para adaptarse explícitamente al aumento de las temperaturas y a los cambios en los patrones de precipitación. El proyecto de ley 296 de la Asamblea de California promueve los pavimentos reflectantes para contrarrestar el efecto de la isla de calor urbana, fenómeno por el cual las zonas urbanas suelen ser más cálidas que las rurales cercanas, y fomenta el transporte activo, como caminar y montar en bicicleta. La Unión Europea ha implementado un marco legislativo integral para mejorar el rendimiento energético de los edificios, que incluye la Directiva revisada sobre el rendimiento energético de los edificios (UE/2024/1275) y la Directiva revisada sobre eficiencia energética (UE/2023/1791) (véase el recuadro 3.2).

---

<sup>6</sup> Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) se refieren a la restauración, protección o gestión estratégica de los ecosistemas para lograr resultados de desarrollo que aborden los retos sociales mediante el refuerzo de los servicios que presta la naturaleza (BID, 2024).

### RECUADRO 3.2. Eficiencia energética en la Unión Europea

En los últimos años, la Unión Europea ha intensificado sus esfuerzos para reducir las emisiones y adaptarse al aumento de las temperaturas mediante la mejora del desempeño de los edificios a lo largo de todo su ciclo de vida, especialmente en las construcciones nuevas (Comisión Europea, 2024).

Esto implica fortalecer la eficiencia energética mediante soluciones adaptadas a las condiciones climáticas locales, los riesgos climáticos futuros y a enfoques rentables que garanticen el confort interior. La urgencia de esta transición radica en que dos tercios de la calefacción y la refrigeración en la UE todavía dependen de combustibles fósiles, lo que hace fundamental su eliminación gradual.

Para cumplir con sus metas climáticas, la UE exige que todos los edificios nuevos sean de cero emisiones para 2030; y que el parque edificatorio existente alcance este estándar para 2050. Esto es especialmente relevante si se considera que aproximadamente el 75% de los edificios actuales son energéticamente ineficientes. El camino hacia los edificios de cero emisiones (ZEB, por sus siglas en inglés) estará guiado por los Estándares Mínimos de Desempeño Energético (MEPS), una herramienta central de la revisión de la Directiva sobre el Desempeño Energético de los Edificios (EPBD). Los MEPS obligan a los Estados miembros a establecer marcos nacionales que prioricen la mejora de los edificios con peor desempeño y eleven progresivamente los requisitos de eficiencia.

Estos estándares cumplen una doble función: son esenciales no solo para reducir las emisiones, sino también para aumentar la resiliencia ante los fenómenos climáticos extremos, en particular la creciente frecuencia e intensidad de las olas de calor. Los MEPS exigen mejoras como aislamiento, ventilación y sistemas de refrigeración eficientes que permiten mantener ambientes interiores seguros y confortables

mientras reducen los riesgos para la salud asociados con la mala calidad del aire y el sobrecalentamiento.

Al mismo tiempo, las soluciones de diseño pasivo—como el sombreado, los materiales reflectantes y la arquitectura resistente al calor—ayudan a reducir la necesidad de aire acondicionado de alto consumo energético, aliviando la presión sobre las redes eléctricas durante los picos de demanda. La adopción de tecnologías inteligentes, como los medidores inteligentes, las simulaciones de desempeño de edificios y los sistemas energéticos con respuesta a la demanda, mejora aún más la eficiencia y el rendimiento. Esfuerzos complementarios, como la expansión de la energía solar en techos, la adopción de sistemas de techos verdes extensivos e intensivos, la instalación de bombas de calor y la provisión de infraestructura para la carga de vehículos eléctricos y estacionamientos para bicicletas, contribuyen a una transformación más amplia hacia entornos urbanos más limpios y resilientes al clima.

Las normas de construcción más destacadas en materia de resiliencia climática en América Latina y el Caribe se encuentran en Chile, Costa Rica y varios países del Caribe, en particular los que forman parte de la Organización de Estados del Caribe Oriental (OECS). Chile es líder en la integración del riesgo climático en los códigos de construcción, especialmente en lo que respecta a los terremotos, los vientos fuertes y la eficacia energética. Costa Rica cuenta con códigos avanzados de sostenibilidad, eficiencia energética y cartografía de riesgos, respaldados por sólidos marcos institucionales (Abell et al., 2017). En el Caribe, países como Jamaica, Dominica y Santa Lucía han adoptado o adaptado códigos internacionales (por ejemplo, los códigos ICC) y normas regionales, como el Código Regional de Eficiencia Energética en la Construcción de la CARICOM (CREEBC), para la eficiencia energética (Benavidez, 2021). El código modelo de construcción de la OECS se utiliza ampliamente y se actualiza para reflejar la evolución de los riesgos climáticos.

Algunos países también están incorporando proyecciones climáticas en las normas técnicas para mejorar el diseño de infraestructura. En el sector del transporte, por ejemplo, el Reino Unido ha actualizado sus directrices de evaluación ambiental (LA114) y ha revisado sus manuales de diseño

de carreteras y puentes para reflejar los riesgos climáticos futuros. En Canadá, los códigos actualizados para puentes ahora tienen en cuenta los cambios en los patrones de carga de nieve, de precipitaciones y de temperatura. Del mismo modo, Escandinavia, Noruega y Dinamarca han revisado sus manuales de diseño de infraestructura para abordar los riesgos de inundaciones, deslizamientos de tierra y precipitaciones extremas, y exigen evaluaciones formales de riesgo y vulnerabilidad durante la etapa de planificación. En América Latina y el Caribe, varios países están ampliando el uso del pavimento asfáltico reciclado (RAP, por sus siglas en inglés) para mejorar la resistencia y la durabilidad del pavimento, al tiempo que reducen la dependencia de agregados y materiales vírgenes (véase el recuadro 3.3).

### RECUADRO 3.3. Allanando el camino hacia carreteras más resilientes

Técnicas innovadoras de pavimentación están ayudando a los países a reducir las emisiones, disminuir los costos de construcción y mejorar la durabilidad de las carreteras. Uno de estos métodos es el uso de pavimento asfáltico reciclado (RAP), que reutiliza materiales de pavimentos en desuso. Al reducir la demanda de agregados vírgenes y disminuir las necesidades de transporte y eliminación, el RAP ofrece beneficios tanto medioambientales como económicos. Introducido por primera vez en la década de 1970, el RAP es ahora la técnica de pavimentación predominante en Estados Unidos (Calatayud et al., 2023).

En América Latina y el Caribe, países como Argentina, Brasil, Colombia y Chile han adoptado el RAP—principalmente para estabilizar capas base más que para producir mezclas asfálticas en caliente, aunque estas últimas ofrecen un desempeño comparable a las alternativas elaboradas con materiales vírgenes. Colombia ha establecido regulaciones nacionales y locales que rigen el uso del RAP, mientras que Brasil ha aprovechado la tecnología durante más de tres décadas para rehabilitar millones de metros cuadrados de carreteras. El estado de São Paulo, en particular, utiliza con frecuencia el reciclaje en frío in

situ con cemento Portland para restaurar extensas redes de carreteras (Fedrigo, Núñez y Visser, 2020).

Otra innovación prometedora es la incorporación de polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso (ELT, por sus siglas en inglés) en las mezclas asfálticas. Este enfoque no solo evita que los neumáticos acaben en los vertederos, sino que también mejora la resistencia y la durabilidad del pavimento, al tiempo que reduce aún más la dependencia de los materiales vírgenes. En la región de América Latina y el Caribe, los países están fomentando su adopción mediante proyectos piloto, normativas e incentivos a la contratación pública. El Instituto Nacional de Vías de Colombia, por ejemplo, otorgó puntuaciones más altas a las licitaciones de autopistas 4G que incluían caucho asfáltico. En Brasil, las normativas federales como las estatales apoyan el uso de ELT, con numerosas carreteras construidas con asfalto modificado con caucho en estados como São Paulo, Río de Janeiro y Santa Catarina. Chile también ha desarrollado especificaciones técnicas para el asfalto con caucho en su Manual de Carreteras (Sección 5.420) y ha implementado tramos de prueba para evaluar su rendimiento (Calatayud et al., 2023).

Es importante destacar que invertir en resiliencia es costo-efectivo. El uso de materiales más resistentes, la mejora de los estándares de diseño y la actualización de los códigos de construcción pueden incrementar los costos de inversión inicial solo de manera moderada—alrededor de 1–2% en el sector de agua, 3–6% en energía y aproximadamente 5% en transporte—pero estas medidas evitan pérdidas futuras mucho mayores. La evidencia muestra que tales inversiones pueden generar retornos de entre cuatro y siete veces su costo inicial (Hallegatte, Rentschler y Rozenberg, 2019; Barandiarán et al., 2019).

## Mantenimiento: la clave de la longevidad

El mantenimiento adecuado es otro pilar fundamental de la infraestructura resiliente. Las consecuencias de un mantenimiento deficiente incluyen una calidad de servicio inferior, ineficiencias operativas y riesgos para la

seguridad pública. En el sector del transporte, el deterioro de las carreteras provoca daños a los vehículos, mayores tiempos de viaje, un aumento del consumo de combustible y accidentes. En el sector de la energía, una conservación inadecuada debilita la estabilidad de la red, generando pérdidas de energía, fallas en los equipos y, en algunos casos, incendios. En el sector de agua, la falta de mantenimiento incrementa las fugas y las interrupciones del servicio (Cavallo, Powell y Serebrisky, 2020).<sup>7</sup>

Los presupuestos fiscales ajustados, la escasa capacidad institucional, la corrupción y la ausencia de incentivos contractuales para garantizar el mantenimiento son factores que impulsan la subinversión en esta área. También intervienen dinámicas de economía política: los gobiernos suelen priorizar proyectos de construcción nuevos, que son más visibles y políticamente atractivos, por encima del trabajo menos visible de mantener los activos existentes (Serebrisky, Suárez-Alemán y Pastor, 2018). Desde una perspectiva económica, la falta de mantenimiento de la infraestructura equivale a una asignación ineficiente de los recursos públicos (Pastor, 2020).

Al igual que planear la localización de los activos y la mejora de materiales y códigos de construcción, el mantenimiento también es un componente fundamental y rentable de la infraestructura resiliente. A lo largo de la vida útil de un activo, los costos de capital representan entre el 15 y el 30% del gasto total, mientras que el resto corresponde a operaciones y mantenimiento (CDRI, 2023). Estos costos permanentes son inversiones esenciales que preservan el desempeño del activo y prolongan el ciclo de vida de la infraestructura, evitando su deterioro prematuro y los reemplazos costosos. Descuidar el mantenimiento aumenta las necesidades de reposición de capital: según proyecciones, el mantenimiento insuficiente podría incrementar los costos de reemplazo en al menos un 50% en el sector de transporte y en un 60% en el sector de agua en los países de ingreso bajo e ingreso medio-bajo entre 2015 y 2030 (Rozenberg y Fay, 2019).

Un mantenimiento adecuado incluye medidas preventivas y adaptativas destinadas a reforzar las infraestructuras existentes para que puedan soportar los riesgos emergentes y cada vez más intensos. Por ejemplo, la

---

<sup>7</sup> A pesar de su importancia fundamental, el mantenimiento sufre una falta crónica de financiación en la región. Las infraestructuras están diseñadas para prestar servicios durante décadas, pero esa larga vida útil depende de un mantenimiento regular y eficaz. Cuando se aplaza o se ignora el mantenimiento, el rendimiento social de la inversión disminuye drásticamente, lo que socava la eficiencia de los gastos de capital iniciales (véase Cavallo, Powell y Serebrisky, 2020).

gestión de la vegetación alrededor de las líneas de transmisión reduce los riesgos de incendios forestales para la red eléctrica, mientras que enterrar los cables los protege de los ciclones, las inundaciones y los deslizamientos de tierra (AIE, 2021b). A pesar de los claros beneficios, las prácticas de mantenimiento actuales a menudo no son suficientes. Los datos de AquaRating del BID, un sistema de evaluación del rendimiento de los servicios de agua y saneamiento, revelan que más de la mitad de los proveedores carecen de planes formales de mantenimiento y sustitución de activos basados en evaluaciones de riesgos y costos (Pastor, 2020). Para cerrar estas brechas es necesario aumentar la inversión en mantenimiento en un 40% para 2030 (Brichetti et al., 2021). En última instancia, garantizar la resiliencia a largo plazo requiere situar el mantenimiento en el centro de la inversión en infraestructuras, de la elaboración de presupuestos y del diseño de proyectos, en lugar de tratarlo como algo secundario.

## La necesidad de un plan B para la continuidad del servicio: diversificación, descentralización y redundancia

La prestación de servicios de infraestructura depende de redes interconectadas, en las que las interrupciones en una parte del sistema pueden propagarse a otras. Garantizar la continuidad del servicio cuando partes de un sistema se ven afectadas por fenómenos naturales requiere, por lo tanto, invertir en diversificación, descentralización y redundancia.

La diversificación se refiere al uso de múltiples fuentes o sistemas alternativos para la prestación de un servicio, lo que reduce la dependencia de un único nodo y, en consecuencia, la probabilidad de fallas generalizadas. Ante la interrupción o el deterioro de una de las fuentes, otras pueden compensarla, disminuyendo la vulnerabilidad del sistema y fortaleciendo su resiliencia. En el sector del agua, por ejemplo, las ciudades pueden diversificar sus fuentes de abastecimiento para garantizar la provisión de agua potable durante episodios de fenómenos meteorológicos extremos. Santiago de Chile ilustra este punto: las intensas lluvias han incrementado cada vez más los episodios de turbidez en los ríos Maipo y Mapocho, lo que temporalmente los vuelve inutilizables para el suministro de agua potable. En respuesta, la empresa de servicios públicos Aguas Andinas invirtió en pozos profundos y grandes estanques de almacenamiento para reducir la dependencia de estos ríos, aumentando su capacidad para mantener el suministro de agua durante los

episodios de aumento de la turbidez de 4 a 37 horas, con planes de alcanzar las 48 horas para 2030 (Solís y Serebrisky, 2023).

Otra alternativa para la diversificación de las fuentes de agua es la recolección de agua de lluvia. Este método consiste en recolectar y almacenar el agua de lluvia proveniente de techos u otras superficies para usos domésticos, como la limpieza y la irrigación, y, en algunos casos, para beber y cocinar. Las políticas que fomentan la captación de agua de lluvia pueden ayudar a mitigar la escasez hídrica, especialmente en áreas urbanas. Por ejemplo, el programa «Cosecha de Lluvia» de la Ciudad de México ha logrado reducir la escasez de agua en barrios de bajos ingresos, mejorar el bienestar de los hogares beneficiarios, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al suministro centralizado de agua en la ciudad y reducir la escorrentía urbana (Bejarano et al., 2025).

La recarga gestionada de acuíferos (MAR, por sus siglas en inglés) también puede ayudar a reducir la presión sobre el agotamiento de las aguas subterráneas y promover la economía circular del agua. MAR se refiere a técnicas que implican la recarga intencional de los acuíferos subterráneos. También conocida como «banco de agua», la estrategia se basa en la idea de que el exceso de agua puede almacenarse para su uso como suministro de reserva durante una sequía prolongada. El agua destinada a la recarga puede provenir de diferentes fuentes, como la lluvia, los caudales de ríos, las liberaciones de presas o el agua reutilizada. Las ventajas de almacenar agua en los acuíferos son múltiples: minimiza las pérdidas por evaporación, reduce los riesgos de contaminación y evita la proliferación de mosquitos y la aparición de algas tóxicas. Para que la MAR sea efectiva, se requieren un mandato político claro y un marco regulatorio adecuado, que incluya el reconocimiento gubernamental—como la inclusión formal de la MAR en las políticas de agua y el establecimiento de apoyo institucional—, además de reglas definidas para su implementación. En la práctica, sin embargo, el avance suele verse limitado por brechas en los datos hidrológicos, una débil coordinación institucional y la falta de estándares de calidad consistentes.

Otras estrategias adicionales incluyen la reutilización de aguas residuales tratadas para fines no potables, como la agricultura o la refrigeración industrial, y la desalinización. En San Luis Potosí, México, la planta de tratamiento de Tenorio reutiliza hasta el 45% de las aguas residuales de la ciudad, aliviando la presión sobre las aguas subterráneas y reduciendo la contaminación (Banco Mundial, 2018; véase el recuadro 3.4). De manera similar, Chile ha implementado plantas desalinizadoras para eliminar

la sal y otras impurezas del agua de mar o salobre, abasteciendo tanto las necesidades domésticas como las de las actividades industriales, en particular en el sector minero (Herrera-León et al., 2019).

### RECUADRO 3.4. Mantener el suministro de agua en San Luis Potosí

San Luis Potosí, México, se enfrenta a una escasez crónica de agua debido a las bajas precipitaciones, las crecientes demandas de la población y la expansión de la actividad industrial, lo cual ejerce una presión significativa sobre los acuíferos locales. Para frenar la sobreexplotación de los acuíferos, el uso de agua subterránea fue restringido desde 1961 y se comenzó a utilizar agua residual sin tratar para el riego agrícola. Para proteger aún más los recursos hídricos y promover la reutilización segura de agua no potable, el gobierno lanzó el Plan Integrado de Saneamiento y Reúso de Agua. El eje central de esta estrategia es el Proyecto Tenorio—la planta de tratamiento de agua más grande de la ciudad, en operación desde 2006. La planta se destaca por su enfoque de tratamiento de múltiples calidades, proporcionando agua reutilizada para refrigeración industrial, riego agrícola y restauración ambiental. Su sostenibilidad financiera se apoya en un contrato con un importante usuario industrial.

El agua reutilizada para riego proveniente de la planta Tenorio cumple con los estándares establecidos por el gobierno mexicano en materia de sólidos suspendidos totales (TSS), demanda bioquímica de oxígeno (BOD) y coliformes fecales, sin perder concentraciones adecuadas de nitrógeno o fósforo. El agua tratada destinada a la planta de energía cumple con las normas acordadas con la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que son más estrictas que las requeridas para riego agrícola (Banco Mundial, 2018). Mantener los niveles necesarios de cloro residual en el sistema de conducción hacia las torres de enfriamiento representó un desafío, debido a la alta variabilidad del caudal que refleja los cambios diarios y estacionales en la demanda de energía.

Producir agua de calidad constante fue, por lo tanto, un factor clave para el éxito del proyecto (Lazarova et al., 2013).

El costo total de inversión del proyecto incluyó una planta de tratamiento de aguas residuales, tuberías de alcantarillado, un sistema de distribución de agua y un sistema de riego, financiados en un 40% con fondos públicos y en un 60% con recursos privados. Para garantizar la sostenibilidad, la Comisión Estatal del Agua (CEA) firmó un primer contrato con ARTE para la construcción y operación de la planta de tratamiento, y otro contrato con la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para la compra de agua residual tratada destinada a la planta de energía. La tarifa acordada para el agua tratada fue equivalente al 67% del precio del agua subterránea para uso industrial (Banco Mundial, 2018). Dado que los costos del agua para uso industrial son de los más elevados del país, el acuerdo benefició a ambas partes al reducir los costos operativos (tanto de la planta de tratamiento de aguas residuales como del sistema de enfriamiento de la planta de energía), asegurar un suministro de agua confiable y aliviar significativamente la presión sobre el acuífero.

En el sector energético, diversificar la matriz de generación eléctrica es fundamental para fortalecer la resiliencia. Muchos países siguen dependiendo en gran medida de la generación hidroeléctrica, la cual puede sufrir caídas pronunciadas en su producción durante las sequías (Gonzalez-Salazar y Roger Poganietz, 2022; Bagnoli et al., de próxima publicación). Por ejemplo, las sequías en Brasil, Colombia y Ecuador han provocado apagones, costosas importaciones de electricidad y la generación de energía de emergencia con combustibles fósiles (FMI, 2024; AIE, 2025).<sup>8</sup> Reducir esta dependencia requiere un portafolio energético más amplio que integre fuentes renovables como solar, eólica, biomasa sostenible y geotermia, a menudo respaldadas por sistemas de almacenamiento o sistemas híbridos

---

**8** Ecuador ha sufrido apagones a nivel nacional desde finales de 2024, tras acontecimientos similares a finales de 2023, ya que la grave sequía, agravada por El Niño, redujo la producción hidroeléctrica y detuvo las importaciones de Colombia, igualmente afectada. En Brasil, una tormenta de 30 minutos en octubre de 2024 dañó las líneas de transmisión y las subestaciones, dejando sin electricidad a 2,6 millones de personas.

que estabilizan el suministro.<sup>9</sup> Los mercados eléctricos de corto plazo bien diseñados y los mecanismos de integración regional pueden potenciar el valor de la diversificación, permitiendo que los países absorban mejor los choques de oferta (Balza et al., 2024).<sup>10</sup> Además, herramientas de política como las subastas de largo plazo<sup>11</sup> y los mercados de capacidad<sup>12</sup> pueden acelerar esta transformación, asegurando sistemas eléctricos más estables y adaptables ante el aumento de la variabilidad climática.

La redundancia se refiere a la duplicación intencional de componentes o funciones críticas de un sistema para garantizar la continuidad del servicio en caso de que uno de los elementos falle. En el sector del transporte, la redundancia en la movilidad interurbana implica ofrecer múltiples opciones de transporte—carretera, ferrocarril, vías fluviales y transporte aéreo—de modo que las personas puedan desplazarse incluso si uno de estos modos queda inhabilitado. En algunas zonas, la redundancia es esencial y requiere planificación y acción pública. Por ejemplo, en el estado brasileño de Amazonas, el 30% de las comunidades urbanas solo son accesibles por vía fluvial. Las sequías severas, como la ocurrida en 2023, provocaron descensos drásticos en los niveles de los ríos, interrumpiendo el transporte fluvial y dejando a estas comunidades sin acceso a bienes y servicios esenciales, incluidos alimentos, combustible, medicinas, atención médica y educación. La densa selva tropical de la región y las inundaciones

- 
- 9** Los sistemas híbridos integran múltiples métodos de generación de electricidad, combinando normalmente fuentes renovables como paneles solares y turbinas eólicas. Al combinar diferentes tipos de generación, estos sistemas mejoran la seguridad y la fiabilidad energéticas. A menudo incluyen soluciones de almacenamiento de energía, como baterías o pilas de combustible, o a veces pequeños generadores de combustible fósil, para mantener un suministro eléctrico constante y fiable.
- 10** Los mercados eléctricos a corto plazo son fundamentales para aprovechar las ventajas de la diversificación en términos de resiliencia. A medida que aumenta la cuota de energías renovables variables, los sistemas se enfrentan a una mayor volatilidad en el suministro, que debe compensarse con flexibilidad en la demanda, la generación y el almacenamiento. La volatilidad de los precios, que a menudo se considera un problema, es en realidad un mecanismo clave para señalar la escasez y recompensar los recursos flexibles. Cuando las reglas del mercado limitan demasiado los precios o silencian estas señales mediante intervenciones reguladoras, se desincentivan las inversiones en almacenamiento, respuesta a la demanda y capacidad de respaldo. Por el contrario, permitir que los precios fluctúen ayuda a garantizar que los sistemas sean eficientes y resilientes ante las perturbaciones climáticas (Balza et al., 2024).
- 11** Las subastas de largo plazo se refieren a procesos de licitación competitiva en los que los productores de electricidad se comprometen a suministrar energía durante un período prolongado, a menudo de varios años, a un precio fijo.
- 12** Los mercados de capacidad son mecanismos mediante los cuales los productores de electricidad reciben pagos no solo por la energía que generan, sino también por mantener capacidad disponible para suministrar electricidad cuando se necesita, especialmente durante picos de demanda o situaciones de emergencia.

estacionales limitan aún más la usabilidad de las carreteras y las vías férreas durante parte del año, lo que convierte al transporte fluvial en un vínculo crítico. Estas condiciones subrayan la necesidad urgente de estrategias de movilidad resilientes y diversificadas, que incluyan inversiones en infraestructura de navegación fluvial más confiable, mejores conexiones intermodales—vinculando rutas fluviales con caminos rurales—y sistemas de contingencia que aseguren la entrega de bienes básicos durante las interrupciones. Lograr esto requiere una mejor planificación del transporte y una coordinación más sólida entre distintos niveles de gobierno y, cuando corresponde, entre países (Cavallo y León-Gómez, de próxima publicación).

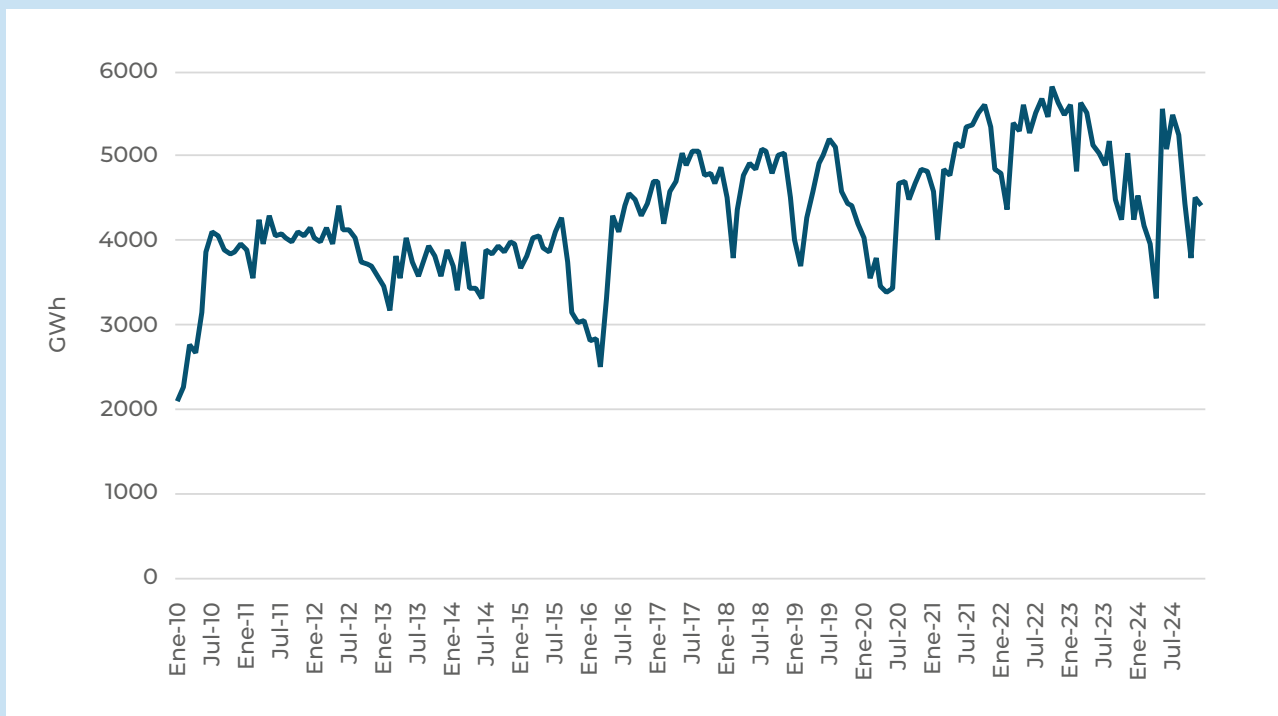
En los sistemas energéticos, la redundancia consiste en distribuir la capacidad de generación entre diversas fuentes y ubicaciones para evitar apagones generalizados provocados por choques localizados. Perú está fortaleciendo su resiliencia mediante la expansión de la energía solar en el sur y la energía eólica en el norte, que juntas representaron más del 8% de la generación eléctrica total en 2024, reduciendo la dependencia de una sola fuente o región (EMBER, 2025). Itaipú, una de las plantas hidroeléctricas más grandes del mundo, de propiedad y operación conjunta entre Brasil y Paraguay, suministra electricidad a alrededor de 80 millones de personas, proporcionando una fuente renovable estable y confiable que complementa otras fuentes energéticas de la región.

La descentralización complementa la diversificación y la redundancia al reducir la dependencia de infraestructuras vulnerables a desastres y choques localizados. Implica distribuir la provisión y el control de los servicios entre múltiples sitios o unidades administrativas, en lugar de concentrarlos en un único punto. Al mismo tiempo, la integración regional actúa como estrategia complementaria para la resiliencia del sistema. El comercio transfronterizo de electricidad amplía la huella geográfica del suministro, lo que permite a los países compartir recursos y atenuar la variabilidad del suministro durante determinados fenómenos climáticos. La interconexión también reduce el costo de la capacidad de respaldo al compartir las reservas de múltiples sistemas. Por ejemplo, la interconexión eléctrica bilateral entre Colombia y Ecuador ha mejorado la resiliencia energética cuando la producción de energía hidroeléctrica disminuye durante sequías prolongadas (véase el recuadro 3.5). Del mismo modo, en el sector del agua, ubicar plantas de tratamiento a pequeña escala dentro de los barrios—en lugar de depender exclusivamente de una planta central—mejora la capacidad de una ciudad para mantener el servicio durante emergencias y permite una recuperación más rápida.

### RECUADRO 3.5. Buenos vecinos: interconexión eléctrica entre Colombia y Ecuador

La integración de los mercados regionales ha demostrado ser esencial para gestionar el riesgo de suministro provocado por el clima en América Latina y el Caribe. El gráfico B3.5.1 presenta la producción hidroeléctrica mensual de Colombia en gigavatios-hora desde enero de 2010 hasta diciembre de 2024. Durante este período, la energía hidroeléctrica representó más del 70% de la generación. Se observan tres patrones. En primer lugar, la producción promedio aumentó de aproximadamente 3500-4500 GWh al mes antes de 2015 a más de 5000 GWh al mes en 2020, lo que refleja la ampliación de la capacidad. En segundo lugar, se observa una fuerte estacionalidad en los picos de la estación húmeda entre marzo y mayo y en los mínimos de la estación seca a partir de septiembre hasta noviembre. En tercer lugar, las sequías extremas de 2016, 2019-2020 y 2023 provocaron fuertes descensos en la producción. Para hacer frente a estos déficits, Colombia aplica dos mecanismos por el lado de la oferta. Aumenta la generación térmica para cubrir la pérdida de producción hidroeléctrica e importa electricidad de Ecuador.

**Gráfico B3.5.1.**  
 Generación hidroeléctrica mensual en Colombia, 2010–2024



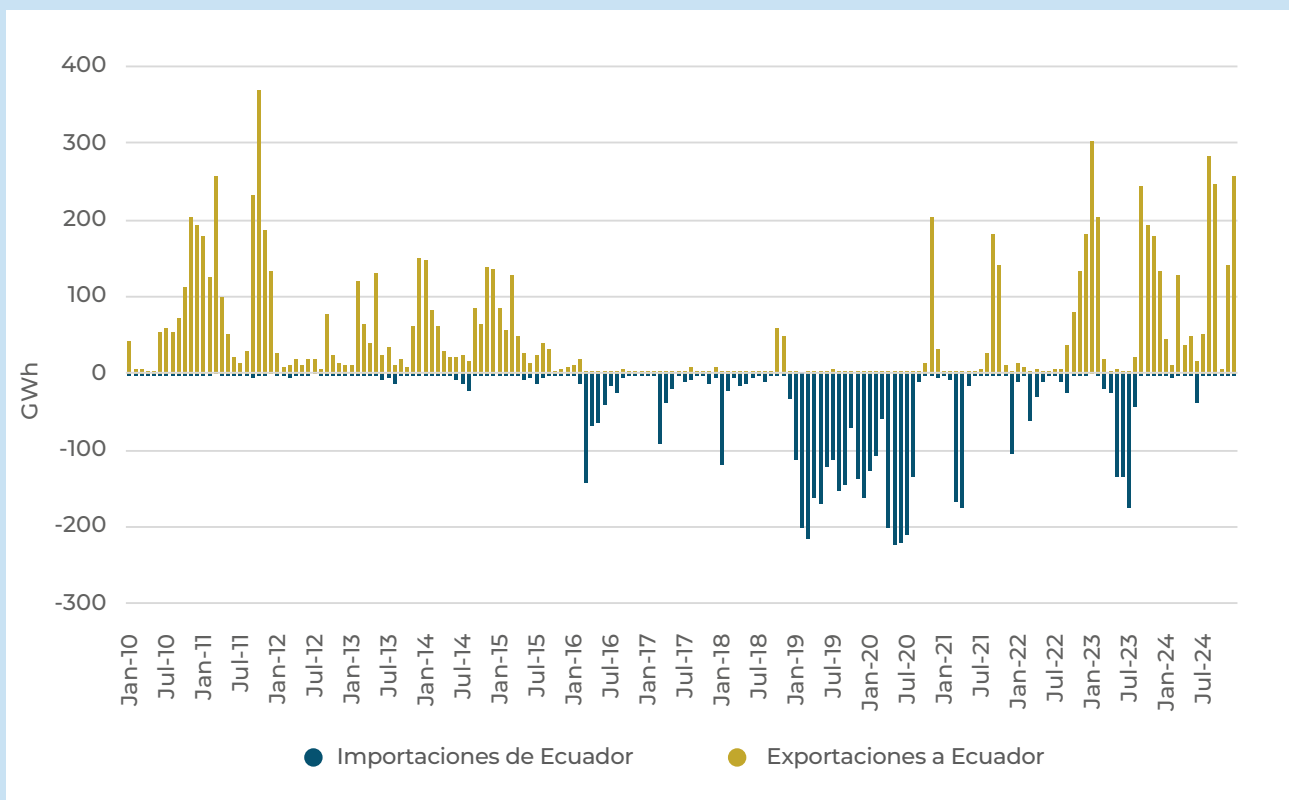
**Fuente:** Elaboración propia a partir de los datos de Sinergox Colombia.

El gráfico B3.5.2 indica que las importaciones de electricidad procedentes de Ecuador solo son importantes para Colombia durante episodios de tensión en el mercado, los más recientes en 2016, 2019-2020 y 2023. El patrón se refleja desde el lado de Ecuador: su sistema predominantemente hidroeléctrico (la energía hidroeléctrica ha suministrado más del 70% de la generación durante la última década) generalmente permite las exportaciones, pero deja al país expuesto cuando se producen escaseces de agua. Durante la sequía de 2024, por ejemplo, Ecuador tuvo que invertir el flujo habitual y recurrir a la energía colombiana para satisfacer la demanda interna. Estos episodios ponen de relieve la interconexión transfronteriza como una inversión ex ante en resiliencia, que permite a ambos sistemas amortiguar los choques del suministro provocados por fenómenos climáticos, cada vez más frecuentes. Los esfuerzos de integración siguen profundizándose,

con Ecuador buscando conexiones adicionales con Perú y Colombia, y Colombia avanzando en una nueva interconexión con Panamá.

**Gráfico B3.5.2.**

Comercio de electricidad de Colombia con Ecuador: exportaciones e importaciones



**Fuente:** Elaboración propia a partir de los datos de Sinergox Colombia.

### De vuelta a la naturaleza

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) son intervenciones que protegen, restauran o gestionan de forma sostenible los ecosistemas, proporcionando soluciones eficaces y rentables para fortalecer los sistemas de infraestructura. Al aprovechar procesos naturales, las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) ofrecen opciones complementarias—o, en algunos

casos, alternativas—a la infraestructura «gris» tradicional, apoyando la prestación de servicios, la adaptación al cambio climático y la reducción de riesgos, al mismo tiempo que generan co-beneficios ambientales y sociales (IPCC, 2022; Ozment et al., 2021; Cavallo, Powell y Serebrisky, 2020).

Los enfoques de adaptación basados en los ecosistemas, como la conservación de los bosques, la restauración de los humedales y la protección de las cuencas hidrográficas, ayudan a mitigar las inundaciones, a reducir la erosión y a salvaguardar el suministro de agua. Por ejemplo, las cuencas hidrográficas boscosas aumentan la retención de agua, disminuyen la sedimentación y ayudan a las empresas de servicios públicos a reducir los costos de tratamiento (Caldwell et al., 2023). Los instrumentos de política, como los pagos por servicios ecosistémicos (PES, por sus siglas en inglés) y las regulaciones sobre el uso de la tierra, proporcionan incentivos financieros y legales. Costa Rica ofrece un ejemplo notable de cómo los marcos normativos pueden institucionalizar las SbN: la Ley de Planificación Urbana (Ley 4240) exige que los planes de uso del suelo asignen áreas para espacios públicos, parques y zonas verdes, y obliga a los promotores inmobiliarios a transferir terrenos de forma gratuita a los municipios, garantizando que el crecimiento urbano incorpore infraestructuras basadas en la naturaleza (Programa de Corredores Biológicos de Costa Rica, 2021).

La gestión de las aguas pluviales es otra área en la que las SbN han demostrado su potencial. Dado que las inundaciones y las tormentas torrenciales representan más del 60% de los daños en el sector del agua, las ciudades de América Latina y el Caribe están adoptando soluciones que integran infraestructura verde y gris (Balza et al., 2025). Entre ellas se incluyen los biofiltros, que ralentizan y filtran la escorrentía de las calles; techos verdes, que absorben la lluvia y reducen la presión sobre los sistemas de drenaje; y estanques de retención, que almacenan temporalmente el exceso de agua para evitar inundaciones. Más allá de la gestión de la escorrentía, estas soluciones ofrecen múltiples beneficios colaterales: mejoran la biodiversidad urbana, la calidad del aire, reducen el calor y crean espacios verdes accesibles para los residentes (Oliver et al., 2021). La tabla 3.1 resume ejemplos específicos de cómo las SbN complementan o sustituyen a la infraestructura gris en procesos clave de los servicios de agua y saneamiento.<sup>13</sup> El uso de las SbN está creciendo en América Latina y el Caribe. Una encuesta realizada a 61 operadores de agua en 11 países reveló que, si bien el 36% aún no ha adoptado SbN, el 43% está invirtiendo

<sup>13</sup> Véase Oliver et al. (2021) para más ejemplos en los sectores del transporte y la energía.

activamente en la reforestación de las cuencas hidrográficas superiores y el 30% en la restauración de ecosistemas como lagos y humedales (Solís y Serebrisky, 2023).

**Tabla 3.1.**  
Infraestructura gris y soluciones basadas en la naturaleza en servicios de agua y saneamiento

PROCESO	INFRAESTRUCTURA GRIS	SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA	
		INFRAESTRUCTURA NATURAL/VERDE	SERVICIOS ECOSISTÉMICOS (BENEFICIOS)
TRATAMIENTO DEL AGUA	Planta de tratamiento de agua	Bosques, zonas ribereñas en torno de fuentes de agua, manglares	<b>Regulación de la calidad del agua:</b> filtran naturalmente las impurezas biológicas y químicas, atrapan sedimentos y reducen la erosión
AUMENTO EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA	Transferencias de agua	Bosques, humedales, llanuras aluviales	<b>Disponibilidad de agua:</b> durante los períodos secos, aumentan la capacidad de almacenamiento, mejoran los caudales de base y la calidad del agua
ALMACENAMIENTO	Represas, embalses	Acuíferos	<b>Almacenamiento del agua:</b> convierten fenómenos inestables como las precipitaciones, en fuentes de agua estables
GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES	Sistema de drenaje de aguas pluviales	Techos verdes, pavimento poroso, humedales, drenajes sostenibles, jardines de lluvia	<b>Recarga de acuíferos y gestión de las inundaciones urbanas:</b> infiltran agua en el suelo, previenen desbordes e inundaciones
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	Planta de tratamiento de aguas residuales	Humedales (artificiales)	<b>Tratamiento:</b> tratan las aguas residuales de forma natural al reducir las necesidades de tratamiento

**Fuente:** Balza et al. (2025) y Oliver et al. (2021).

Cada vez hay más pruebas sobre la rentabilidad y los beneficios colaterales que respaldan el uso de SbN. En São Paulo, donde las sequías recurrentes han ejercido una presión cada vez mayor sobre el suministro de agua, Ciasca et al. (2023) estiman que las pérdidas económicas de la sequía de 2014-2015 (US\$316 millones) podrían haberse reducido en un 28% si se hubieran aplicado soluciones basadas en la naturaleza. Del mismo modo, la protección de los bosques aguas arriba ayudó a la ciudad de Nueva York a evitar la construcción de una planta de tratamiento de agua cuyo costo se estimaba entre US\$8 mil millones y US\$10 mil millones (Abell et al., 2017).

En el sector del transporte, la adopción de SbN está creciendo gracias a programas piloto. Por ejemplo, el proceso de concesión de permisos ecológicos de Chicago acelera la aprobación de proyectos que incorporan jardines de lluvia y pavimentos permeables (US EPA, 2023). Liubliana ha ampliado los espacios verdes para mejorar la refrigeración urbana y promover la movilidad activa (Oppla, 2023). A lo largo de las costas, se utilizan cada vez más barreras naturales, como dunas, manglares y humedales, para proteger las redes de carreteras de las marejadas ciclónicas y de la erosión, un enfoque promovido por la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA, 2019).

En última instancia, el éxito de las SbN depende del contexto, de las regulaciones favorables y de la financiación. Si bien la financiación es el tema del capítulo 4, basta con decir que ya se están implementando mecanismos en la región y en otros lugares para apoyar las SbN. Por ejemplo, en Perú, la Autoridad Reguladora del Agua asigna una parte de las tarifas de agua para financiar una cartera cada vez mayor de proyectos de restauración de cuencas hidrográficas en todo el país (Benites Elorreaga y Gammie, 2021). Y Alemania ofrece subvenciones para tejados y fachadas verdes con el fin de reducir el calor urbano y la escorrentía (Comisión Europea: Dirección General de Investigación e Innovación, 2022).

## Adaptación del comportamiento de los consumidores

Una infraestructura resiliente también requiere políticas orientadas a la demanda que incentiven a los consumidores a utilizar de manera eficiente el agua, la electricidad y el transporte, aliviando así la presión sobre los sistemas existentes. Las políticas para gestionar la demanda incluyen mecanismos de fijación de precios para crear incentivos a largo plazo para el uso eficiente de los recursos, campañas de información y *nudges* que hagan más atractivas las decisiones sostenibles, y sistemas de alerta temprana que permitan ajustes rápidos de comportamiento en situaciones de emergencia.

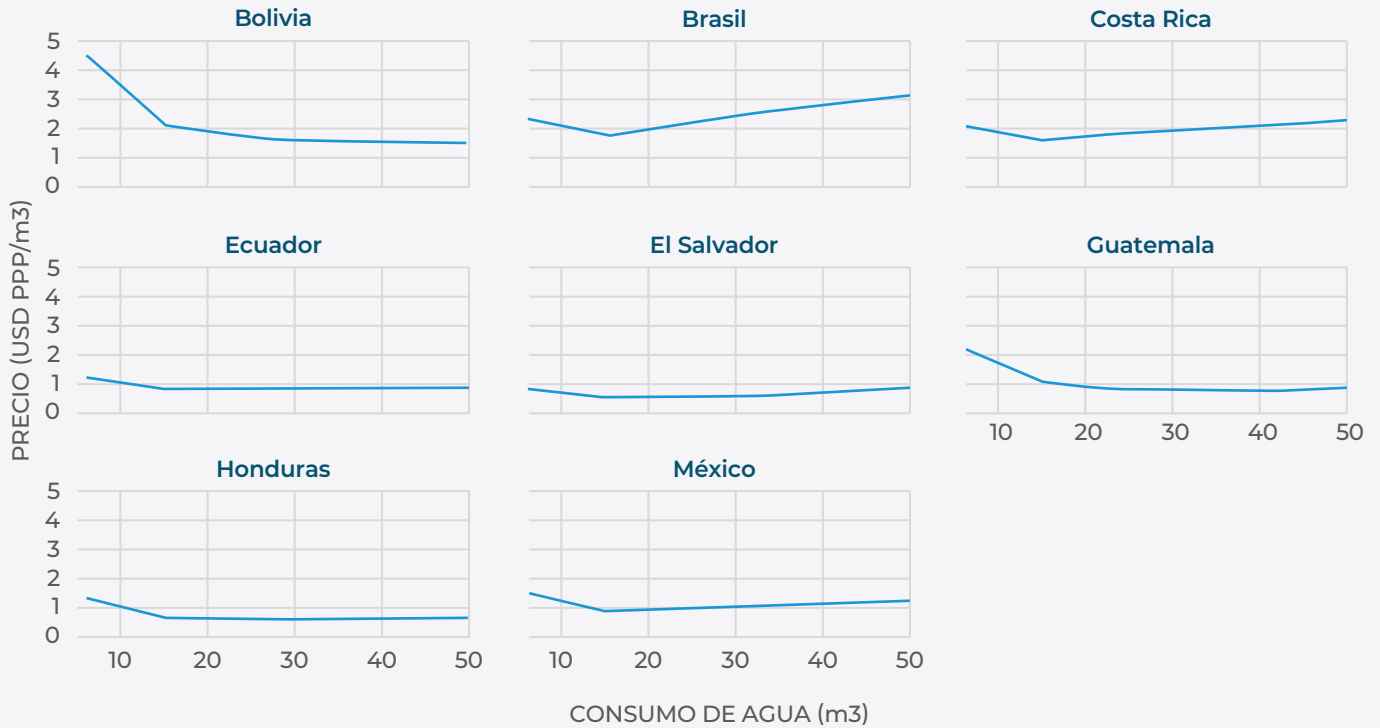
Las intervenciones eficaces deben adaptarse a las capacidades y contextos de los diferentes grupos de usuarios. En las siguientes subsecciones se analizan tres enfoques clave para configurar la demanda.

## Asegurarse de que el precio sea el adecuado

Al igual que en otros mercados, los mecanismos de fijación de precios son una herramienta poderosa para influir en el comportamiento de los consumidores, fomentar el uso eficiente de los recursos y alcanzar otros objetivos, como la recuperación de los costos de la prestación de servicios de infraestructura. Sin embargo, aplicar los mecanismos adecuados de fijación de precios en el ámbito de las infraestructuras es más fácil de decir que de hacer. Para fijar los precios adecuados se necesitan instituciones reguladoras eficaces, datos precisos que permitan ajustar los incentivos a la dinámica del mercado y la tecnología adecuada. Por lo general, la complejidad aumenta en proporción a la fuerza de los incentivos necesarios para fomentar la participación de los consumidores.

En el sector del agua, un mecanismo de fijación de precios muy utilizado es la estructura de tarifa progresiva (IBR, por sus siglas en inglés), en la que el precio por unidad de agua aumenta a medida que el consumo supera determinados umbrales. Pero el problema está en los detalles de su implementación. En la región, la mayoría de las tarifas siguen una estructura de dos partes con un componente volumétrico, a menudo diseñado como IBR, y una tarifa fija (López-Ruiz et al., 2024). Mientras que el IBR incentiva la conservación al penalizar el uso elevado, la tarifa fija puede contrarrestar este efecto. El precio unitario medio del agua en varios países disminuye inicialmente con el aumento del consumo debido al componente fijo de la tarifa, antes de aumentar una vez que predomina la tarifa volumétrica (véase el gráfico 3.1). Otro mecanismo de fijación de precios para gestionar el consumo consiste en ajustar las tarifas en función de las variaciones estacionales de la demanda. Chile, por ejemplo, aplica tarifas más altas durante los meses de verano, cuando la demanda es elevada, y tarifas más bajas durante los períodos de menor consumo (Molinos-Senante y Donoso, 2016). Esto ayuda a los proveedores a reflejar los costos estacionales del suministro de agua en la tarifa y fomenta la conservación por parte de los consumidores cuando los recursos son más limitados.

**Gráfico 3.1.**  
Precio promedio del agua para estructuras IBR en distintos países



Fuente: Elaboración propia basada en BID-OLAS, 2024.

Por otra parte, las tarifas basadas en la asignación (ABR, por sus siglas en inglés) o tarifas basadas en el presupuesto de agua, establecen límites de consumo personalizados para el uso de agua en interiores y exteriores. Con ABR, cada hogar recibe un «presupuesto de agua» que refleja la cantidad que puede utilizar de manera eficiente según el tamaño del hogar, el del terreno y las condiciones climáticas locales.<sup>14</sup> Las empresas de servicios públicos suelen ajustar los presupuestos de agua en cada ciclo de facturación para tener en cuenta los cambios climáticos, como una mayor asignación durante los meses más calurosos, cuando aumenta la necesidad de riego exterior. Los hogares que se mantienen dentro de su presupuesto pagan una tarifa estándar más baja, mientras que los que superan su

<sup>14</sup> La eficiencia en el uso del agua se define como la cantidad mínima de agua necesaria para lograr un objetivo determinado (Gleick, 2004). Si bien el análisis de fronteras mide la eficiencia en los hogares, en la práctica es evaluada por la agencia del agua, lo que refleja una perspectiva más ingenieril que económica (Pérez-Urdiales y Baerenklau, 2019).

presupuesto pagan tarifas progresivamente más altas. Este enfoque crea un incentivo financiero directo para ahorrar agua, especialmente para los hogares con un consumo elevado. Estudios realizados en California muestran que la adopción de la ABR redujo significativamente el consumo de estos hogares (Pérez-Urdiales y Baerenklau, 2019), aunque su implementación exitosa requiere datos detallados a nivel doméstico y mediciones de la evapotranspiración local.<sup>15</sup>

La infraestructura de medición avanzada (AMI), como los medidores inteligentes, amplía las opciones tarifarias al proporcionar datos de consumo en tiempo real. Ampliamente utilizada en los sectores del agua y la energía, permite aplicar tarifas dinámicas que trasladan la demanda a horas de menor uso, mejoran la precisión de la facturación, detectan fugas y cortes y ofrecen información oportuna sobre el servicio. Por ejemplo, en California, los medidores inteligentes contribuyeron a reducir el agua no contabilizada del 6% al 2% del volumen total de entrada del sistema y permitieron ahorrar 236 millones de galones durante dos años de sequía severa (Donnelly y Cooley, 2015).

Una herramienta complementaria a los mecanismos de fijación de precios para promover el uso eficiente del agua es el sistema de certificados de reutilización de aguas residuales (WRC). Inspirados en el comercio de emisiones y en los mercados de carbono, los WRC establecieron objetivos de reutilización del agua para los grandes consumidores, como las grandes industrias, los parques industriales, los complejos residenciales y las comunidades cerradas. También promueven la transferencia de aguas residuales tratadas a otros usuarios, como el sector agrícola, que pueden tener dificultades para cumplir sus objetivos. En esencia, el sistema permite a los usuarios que superan sus objetivos de reutilización obtener WRC, que pueden intercambiarse con quienes no los cumplen.

Finalmente, en períodos de escasez aguda de agua, los incentivos de emergencia —como descuentos temporales en las tarifas o penalidades— pueden reforzar los esfuerzos de conservación, al tiempo que respaldan estrategias más amplias de largo plazo (véase el recuadro 3.6).

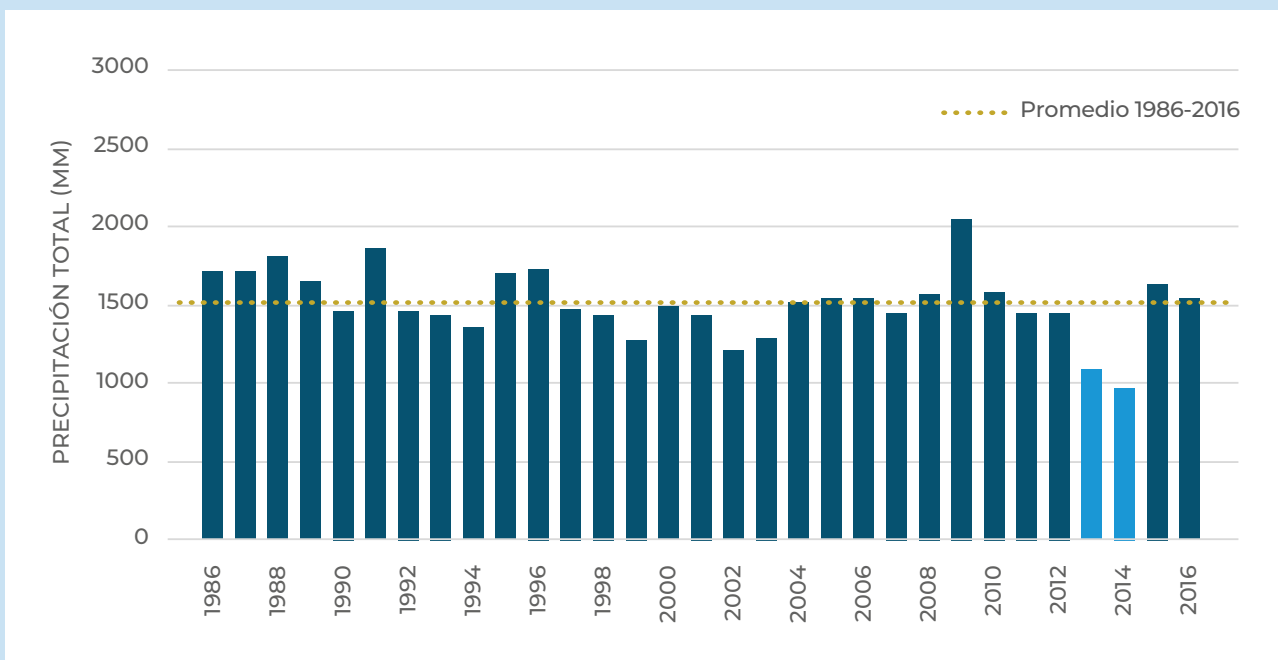
---

<sup>15</sup> La evapotranspiración se refiere a la cantidad de agua que se pierde por evaporación y transpiración de las plantas.

### RECUADRO 3.6. Afrontar la crisis hídrica de 2014-2015 en São Paulo

El Área Metropolitana de São Paulo (AMSP) es una de las áreas metropolitanas más grandes del mundo, con una población total de 23,4 millones de habitantes (Instituto Brasileño de Geografía y Estadística, 2025). Debido a la contaminación de las fuentes cercanas, el agua debe recogerse de embalses distantes para satisfacer la elevada demanda. La región depende de una extensa red de acueductos, tuberías y seis sistemas de embalses: Tietê, Guarapiranga, Cotia, Rio Grande, Rio Claro y Cantareira. El sistema Cantareira es el más grande de ellos y proporciona el 46% del suministro de agua de la AMSP (Agencia Nacional del Agua de Brasil, 2025).

**Gráfico B3.6.1.**  
Precipitación anual total en el embalse de Cantareira (1986-2016)



Fuente: Elaboración propia basada en datos del Departamento de Agua y Energía Eléctrica, 2025.

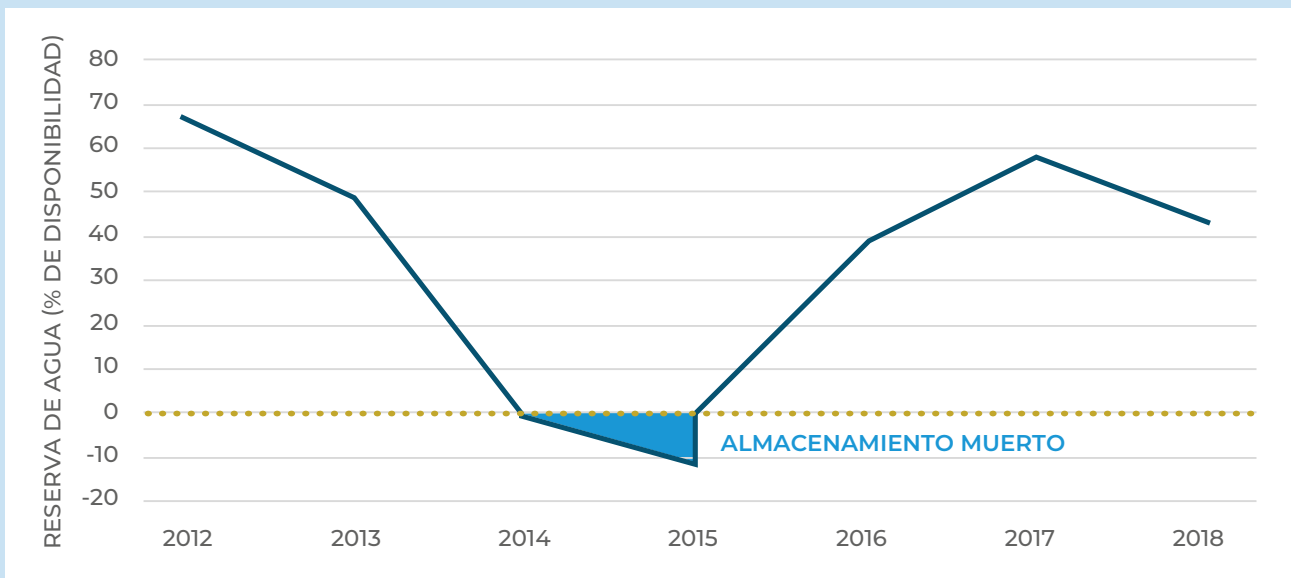
En 2013 y 2014, el AMSP sufrió la sequía más grave de su historia, lo que afectó significativamente al sistema hidráulico de Cantareira (gráfico B3.6.1). La sequía formó parte de una sequía regional y fue el resultado de una nueva realidad climática que difería de los niveles de precipitación para los que se había proyectado originalmente el embalse (Zuffo et al., 2023). Para mitigar el impacto de la sequía en la población y la economía del área metropolitana, Sabesp, la principal empresa de servicios de agua y saneamiento que abastece al AMSP, desarrolló un plan que abordaba tanto la oferta como la demanda.

### Lado de la oferta

En cuanto a la oferta, se llevaron a cabo obras civiles de emergencia para mantener un suministro de agua ininterrumpido. Estas incluyeron la instalación de bombas flotantes, canales y ataguías, la interconexión de sistemas de producción, y extracción de agua del «almacenamiento muerto» (agua por debajo del nivel operativo mínimo habitual) (Braga y Kelman, 2020). Para garantizar el suministro de agua a la población, el embalse de Cantareira tuvo que utilizar su «almacenamiento muerto», descendiendo hasta un 24% por debajo de su nivel operativo normal (véase gráfico B3.6.2).

Debido al bajo nivel del embalse, el AMSP, que solía bombear  $67,8 \text{ m}^3/\text{s}$  en 2013, se redujo a  $51,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo que supone una disminución del 24,7%. En concreto, el agua bombeada por Cantareira pasó de  $32,5 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $14,0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Gráfico B3.6.2.**  
Disponibilidad de agua en el embalse Cantareira (2012-2018)



**Fuente:** Elaboración propia basada en datos del Departamento de Agua y Energía Eléctrica, 2025.

### Lado de la demanda

Por el lado de la demanda, la empresa se centró en reducir las fugas mediante la instalación de válvulas de alivio de presión (VAP). Estas válvulas ayudan a disminuir la presión en momentos de menor demanda, lo que alivia las fugas y los posibles daños a las tuberías y otras estructuras. Otras medidas para reducir las fugas incluyeron la sustitución de las tuberías principales, la realización de barridos acústicos para localizar fugas y la conexión de tuberías a los hogares. En conjunto, estas medidas contribuyeron a reducir las fugas en 7,6 m<sup>3</sup>/s (Braga y Kelman, 2020).

Además, se introdujeron campañas con incentivos económicos para reducir el consumo de agua. Sabesp ofreció un descuento o bono en las facturas de agua a los clientes que ahorraban agua e impuso una tarifa de contingencia a aquellos que aumentaban su consumo. La tarifa bonificada tenía tres fases. La primera fase, que comenzó en febrero de 2014, se dirigía a los residentes de la ciudad de São Paulo

abastecidos por el sistema Cantareira. Los clientes que redujeran su consumo promedio en al menos un 20% con respecto al año anterior recibían un descuento del 30%. La segunda fase, que comenzó en abril de 2014, amplió el descuento a los clientes fuera de la AMSP que recibían agua de Cantareira. En la tercera fase, que comenzó en noviembre de 2014, se revisaron y ampliaron los incentivos a 31 municipios. Los clientes que redujeron su consumo entre un 10% y un 15% recibieron un descuento del 10%, los que lo redujeron entre un 15% y un 20% disfrutaron de un descuento del 20%, y los que lo redujeron más de un 20% recibieron un descuento del 30%. La tarifa de contingencia, introducida en febrero de 2015, aplicaba un recargo del 40% en la factura de agua de los clientes que aumentaban su consumo en menos del 20% (basándose en su consumo promedio entre febrero de 2013 y enero de 2014). Para aquellos que superaban el 20%, el aumento era del 100%. Tanto la tarifa de bonificación como la de contingencia se aplicaban a todos los clientes y se suspendieron en marzo de 2016 (Sabesp, 2015b).<sup>16</sup>

La iniciativa de bonificación tuvo un gran éxito, ya que más del 80% de los consumidores participaron en ella y redujeron su consumo de agua. En 2014, el 49% de los consumidores recibieron el descuento, porcentaje que aumentó hasta el 70% en 2015. La tarifa de contingencia se aplicó al 19% de los consumidores (Braga y Kelman, 2020).<sup>17</sup> En conjunto, las medidas dieron lugar a una reducción del 23% en la producción de agua en la AMSP, que se atribuyó de la siguiente manera: 8,6% a la reducción de fugas, 5,6% a los incentivos financieros destinados a reducir el consumo y 2,5% a los recortes en otros servicios públicos que también prestan servicio al área metropolitana (Sabesp, 2015a). Es importante destacar que el diseño y el momento en que se aplican los incentivos puede incidir en los resultados (Zetland, 2021).

---

<sup>16</sup> Los clientes con un consumo de agua igual o inferior a 10 m<sup>3</sup>, los hospitales, las clínicas de primeros auxilios, las residencias de ancianos, las comisarías de policía y las prisiones quedaron exentos.

<sup>17</sup> Esto incluye a los clientes que consumen menos de 10 m<sup>3</sup> al mes (alrededor del 8% de los consumidores), pero a los que no se les aplicó la tarifa (Braga y Kelman, 2020).

En el sector energético, se utilizan cada vez más mecanismos de precios dinámicos para gestionar la demanda y reforzar la resiliencia del sistema. Un ejemplo son las tarifas por tiempo de uso (TTU), que dividen el día en períodos fijos con precios variables para reflejar los patrones de demanda. Los esquemas de precios estacionales funcionan de manera similar: aplican tarifas más altas durante los meses de mayor demanda y más bajas en los períodos de menor demanda, lo que incentiva a los consumidores a desplazar su consumo fuera de los momentos de mayor presión sobre el sistema. De manera análoga, las tarifas diferenciadas en picos críticos (TDPC) incrementan temporalmente los precios durante períodos de estrés del sistema, mientras que las rebajas por picos críticos (RPC) recompensan a los usuarios por reducir su consumo en esos momentos. Si bien estas últimas suelen resultar más aceptables para los consumidores, requieren datos granulares sobre los patrones individuales de consumo y una infraestructura de medición avanzada capaz de medir y verificar las reducciones de la demanda.

La fijación de precios en tiempo real (PTR) vincula las tarifas minoristas directamente con las condiciones del mercado mayorista, variando cada hora o cada día y comunicándose poco antes de su entrada en vigor. Al reflejar la oferta y la demanda en tiempo real, este esquema ayuda a equilibrar la red, a reducir los riesgos de cortes de suministro y a mejorar la asequibilidad durante los picos de precios provocados por el clima. Por su parte, el precio variable en horas pico (PVP) ofrece un enfoque híbrido que combina tarifas normales fuera de las horas pico con tarifas diferenciadas que varían según las condiciones del mercado. Este mecanismo equilibra la capacidad de respuesta con la previsibilidad para el consumidor. En general, los mecanismos más sencillos —como el RPC y el TDPC— ofrecen incentivos más limitados, pero son más fáciles de implementar, mientras que el PTR y el PVP generan incentivos más fuertes para modificar comportamientos, aunque requieren una infraestructura más compleja.

Uruguay ofrece un ejemplo práctico de estos mecanismos. La empresa nacional de servicios públicos, Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE), ha instalado medidores inteligentes que registran el consumo eléctrico cada 15 minutos, lo que permite aplicar tarifas dinámicas sin necesidad de realizar lecturas in situ. Estos medidores también detectan fallos en la conexión, interrupciones del servicio y problemas en las instalaciones internas (UTE, 2025). Todas las tarifas residenciales están estructuradas de modo que un mayor consumo conlleva tarifas más elevadas. Además, incluyen incentivos para desplazar

el consumo a horas de baja demanda, con el fin de mejorar la eficiencia de la red de distribución, mediante tarifas de doble y triple hora durante los períodos pico. Los hogares también pueden optar por cuatro esquemas tarifarios, según la potencia contratada y sus necesidades de consumo (Aboal et al., 2020).

A pesar del potencial de los diversos mecanismos de fijación de precios, su impacto en el consumo total de agua y energía se ve limitado por la naturaleza inelástica de su demanda. Esto implica que, a menudo, se requieren incrementos considerables de precios para reducir significativamente el consumo. Además, las fuertes preocupaciones por la equidad y la protección social suelen restringir el margen para incrementar las tarifas, dado que los mayores costos pueden afectar de manera desproporcionada a los hogares de bajos ingresos y a las poblaciones vulnerables, lo que dificulta una implementación generalizada. Por lo tanto, en la mayoría de los casos, estos mecanismos resultan más eficaces para desplazar el consumo fuera de los períodos pico que para reducir la demanda agregada.

Los mecanismos de precios envían señales a los consumidores, pero otros instrumentos, compatibles con incentivos, también pueden influir en la inversión privada. Ajustes en las primas de seguros que recompensan las inversiones en infraestructura resiliente, mecanismos de financiamiento basado en desempeño que vinculan los desembolsos a resultados climáticos verificados y fondos de adaptación o reservas de contingencia que permiten una recuperación rápida tras desastres son herramientas que generan incentivos para los inversores privados. Otros mecanismos, como subvenciones para I+D, subsidios para tecnologías como la desalinización o la captación de agua de lluvia, y pagos por servicios ambientales —por ejemplo, para la protección de cuencas o la recarga de acuíferos— también fomentan medidas de adaptación proactiva.

Los mecanismos de seguros desempeñan un papel particularmente importante en la promoción de la resiliencia. Tanto los instrumentos formales (por ejemplo, el reaseguro, mecanismos de riesgo compartido y coberturas específicas para infraestructura) como los mecanismos informales (por ejemplo, asistencia post-desastre o la divulgación de información sobre riesgos climáticos) contribuyen a reducir las pérdidas financieras derivadas de eventos extremos y, al mismo tiempo, incentivan inversiones resilientes. En el sector energético, los seguros basados en índices activan los pagos cuando se alcanzan umbrales climáticos

predefinidos, como velocidades de viento extremas o riesgo de incendios forestales, lo que permite respuestas más rápidas y reduce el riesgo moral. Aunque la adopción de estos instrumentos sigue siendo limitada en muchos países en desarrollo (Chambwera et al., 2014), mecanismos regionales de cobertura compartida de riesgos, como el Fondo de Seguros contra Riesgos Catastróficos del Caribe (CCRIF por sus siglas en inglés)<sup>18</sup> ilustran cómo la cobertura compartida frente a desastres relacionados con el sector energético —por ejemplo, huracanes que dañan las redes eléctricas— puede reducir las primas y fortalecer la resiliencia a nivel sectorial. Sin embargo, la brecha en la protección de los seguros contra desastres continúa ampliándose: en la actualidad, el 62% de las pérdidas económicas mundiales causadas por catástrofes naturales no están aseguradas. Aún más preocupante es que el cambio climático está poniendo en riesgo la accesibilidad al seguro; algunas regiones y actividades económicas podrían volverse prácticamente «no asegurables» debido al aumento de los costos y a la disponibilidad cada vez más limitada de la cobertura (Glemarec, Solana y Babinsky, 2025).

### Impulsar un consumo más inteligente

La información, las campañas de concientización y los estímulos conductuales, conocidos como *nudges*, también pueden influir en los patrones de consumo. Estos enfoques no coercitivos fomentan un uso más sostenible del agua, de la energía y del transporte sin imponer costos significativos a los consumidores ni a los gobiernos.

Las campañas de concientización ayudan a promover la conservación del agua. Estas iniciativas abarcan desde coberturas mediáticas durante sequías, como ocurrió durante la de California (Quesnel y Ajami, 2017), hasta iniciativas educativas a largo plazo. En México, por ejemplo, el Instituto de Tecnología del Agua (IMTA) ha implementado campañas de concientización en las escuelas desde la década de 1990. La Ciudad de México también ha adoptado herramientas de difusión, como carteles («El Decálogo del Agua») y vídeos dentro de la iniciativa «Cultura del agua» (Boyes y Andersson, 2023).

Los *nudges*—que modifican la forma en que se presenta la información para influir en las decisiones—también han demostrado ser eficaces. Por

---

**18** El CCRIF SPC limita el impacto financiero de los fenómenos naturales en los gobiernos del Caribe y Centroamérica proporcionando rápidamente liquidez a corto plazo cuando se activa una póliza. El CCRIF ofrece pólizas de seguro paramétricas para ciclones tropicales, terremotos y lluvias excesivas, al sector pesquero y a los sectores de servicios públicos de electricidad y agua.

ejemplo, durante la sequía de 2015-2018 en Ciudad del Cabo, Sudáfrica, la ciudad se enfrentó a la amenaza de quedarse sin agua en 2018. En respuesta, se lanzó la campaña de alto perfil mediático «Day Zero», que combinaba mensajes de conservación en las facturas mensuales de agua, consejos para ahorrar agua, competencias e informes frecuentes que mostraban el avance en el retraso de la fecha límite. Se instó a los residentes a limitar el consumo de agua a 50 litros al día, tomar duchas cortas, tirar de la cadena del inodoro solo cuando fuera necesario y evitar utilizar agua potable para la jardinería. Gracias a estas medidas, Ciudad del Cabo redujo el consumo de agua en casi un 60% respecto a los niveles de 2015 a finales de 2018, evitando con éxito el Día Cero y frenando la crisis (Schreiber, 2019).

Tecnologías como las plataformas gamificadas están ampliando las posibilidades de participación. En Singapur, la Agencia Nacional del Agua (PUB) se asoció con la empresa de servicios públicos SUEZ para desarrollar WaterGoWhere, una aplicación piloto que utiliza medidores inteligentes, análisis y juegos para involucrar a los residentes. Los usuarios reciben retos personalizados, realizan un seguimiento de su consumo y obtienen recompensas por reducirlo. Este enfoque logró ahorros estimados del 5%, impulsados por la detección de fugas y por iniciativas de participación ciudadana que redujeron el consumo diario per cápita en casi 7 litros (Wong et al., 2019).

La inteligencia artificial (IA) está transformando la forma en que las empresas de servicios públicos recopilan, analizan y utilizan la información digital. Por ejemplo, los medidores inteligentes aprovechan la IA para proporcionar datos de consumo detallados en tiempo real y un monitoreo continuo, lo que permite a las empresas de servicios públicos detectar averías, identificar fugas, reducir el agua no facturada y detectar rápidamente las interrupciones del servicio. Los modelos virtuales basados en IA mejoran aún más las operaciones al simular el rendimiento de la red, prever la escasez y apoyar la planificación en condiciones climáticas cambiantes (Enriquez et al., 2023). Estas tecnologías permiten un flujo de información dinámico, como alertas de precios instantáneas, lo que ayuda a los clientes a tomar decisiones oportunas e informadas. Al reducir los costos de las transacciones de respuesta a la demanda y permitir respuestas rápidas a las señales en tiempo real, estas medidas aumentan la flexibilidad y la eficiencia operativas (Cavallo, Powell y Serebrisky, 2020).

Los electrodomésticos y dispositivos eficientes en el uso de agua y energía ofrecen opciones rentables para reducir el desperdicio de recursos. Los

inodoros de doble descarga y las duchas de bajo flujo han reducido significativamente el consumo de agua en los hogares (Attari, 2014), mientras que los aires acondicionados, congeladores y refrigeradores eficientes ayudan a disminuir el consumo de electricidad. Los reembolsos y el etiquetado obligatorio pueden acelerar la adopción de estos equipos eficientes. Por ejemplo, el programa Water Efficiency Labelling and Standards (WELS) de Australia ha reducido el consumo de agua residencial desde 2005 al exigir etiquetas de eficiencia estandarizadas en los electrodomésticos que utilizan agua (véase recuadro 3.7). De manera similar, los sistemas de etiquetado energético en la Unión Europea han incrementado de manera efectiva la cuota de mercado de los refrigeradores eficientes (Schleich et al., 2019; Bjerregaard y Møller, 2019).

### RECUADRO 3.7. Etiquetado de eficiencia

Las etiquetas y estándares de eficiencia hídrica han demostrado reducir de manera significativa el consumo de agua, como lo muestran las experiencias de Australia, la Unión Europea y Singapur.

En Australia, el esquema Water Efficiency Labelling and Standards (WELS), establecido en 2005, ha reducido de forma efectiva el uso de agua mediante el etiquetado de productos eficientes (véase el gráfico B3.7.1). El programa exige etiquetas de eficiencia para los artefactos y electrodomésticos que utilizan agua en interiores, y fija estándares mínimos para otros dispositivos. Las etiquetas emplean un sistema de seis estrellas para clasificar el nivel de eficiencia, donde un mayor número de estrellas indica una eficiencia superior. También muestran información sobre el consumo de agua o la tasa de flujo del dispositivo (Kelly, 2015). El impacto ha sido considerable: el esquema WELS ha logrado ahorros de 112 GL por año en Australia, con proyecciones de 185 GL por año en 2026 y 231 GL por año en 2036. Además, el programa ha generado beneficios acumulados superiores a US\$17,3 mil millones,

gracias a los ahorros en agua, electricidad, gas natural y emisiones de gases de efecto invernadero (Fane, Grossman y Schlunke, 2020).

Un esquema similar se implementó en Singapur como parte de los esfuerzos de conservación del agua liderados por la Agencia Nacional del Agua (PUB). Aunque al principio el programa era voluntario, pasó a ser obligatorio para grifos, cisternas, válvulas de descarga de inodoros, lavadoras y lavavajillas, entre otros. La etiqueta WELS utiliza un sistema de clasificación de tres marcas para indicar el nivel general de eficiencia hídrica del producto: una marca (bueno), dos marcas (muy bueno) y tres marcas (excelente). Se asigna una marca cero a los dispositivos que no son eficientes en el uso del agua. La etiqueta también indica la cantidad de agua que consume el dispositivo. Esta política, junto con otras medidas tarifarias y no tarifarias, contribuyó a reducir el consumo per cápita de agua en Singapur, pasando de 172 litros por día en 1995 a 147 litros por día en 2011 (Tortajada, Joshi y Biswas, 2013).

#### Gráfico B3.7.1.

Etiquetas de eficiencia hídrica de los programas WELS en Australia y Singapur



**Fuente:** Clasificación del agua del gobierno australiano y la Agencia Nacional del Agua de Singapur (PUB).

## Preparados para los desastres con sistemas de alerta temprana

Los sistemas de alerta temprana (SAT) son herramientas fundamentales para preparar los sistemas de infraestructura frente a desastres y proteger a la población. Al integrar la recolección de datos, la predicción de amenazas, la evaluación de riesgos y la comunicación oportuna, estos sistemas permiten a las personas, las comunidades y las autoridades tomar medidas preventivas antes de que se produzcan desastres. Entre sus beneficios se incluyen una respuesta de emergencia más rápida, la reducción de la mortalidad y una asignación más eficiente de recursos una vez que el desastre se materializa. La eficacia de los SAT depende de las capacidades tecnológicas, de la coordinación institucional, de la confianza pública y de la capacidad para llegar a las poblaciones en situación de riesgo.

Las tecnologías digitales desempeñan un papel decisivo en el fortalecimiento de los SAT. Innovaciones como el Internet de las cosas (IdC), la inteligencia artificial y la computación en la nube permiten el monitoreo y la predicción en tiempo real mediante la recopilación, el análisis y la difusión de datos. Estas herramientas mejoran tanto la precisión como la puntualidad de las alertas, lo que permite a las autoridades emitir avisos con mayor antelación y exactitud (Esposito et al., 2022; Rogers y Tsirkunov, 2010). Por ejemplo, los sistemas telemétricos y las imágenes satelitales se utilizan cada vez más para monitorear la disponibilidad y la calidad del agua, que pueden verse comprometidas durante las sequías, las inundaciones y el aumento de las temperaturas. Los SAT son altamente rentables. Hallegatte (2012) estima que, en Europa, los sistemas de alerta temprana hidrometeorológicos salvan varios cientos de vidas al año, evitan entre €460 millones y €2,7 mil millones en pérdidas de activos por desastres y generan entre €3,4 y €34 mil millones adicionales al año al optimizar la producción en sectores sensibles a las condiciones meteorológicas, como la agricultura y la energía. En los países en desarrollo, estos beneficios pueden ser aún mayores debido a poblaciones más grandes, a mayores riesgos de desastres y a una mayor vulnerabilidad asociada a infraestructuras más débiles.

Los SAT pueden recibir apoyo a través de una serie de mecanismos nacionales e internacionales, entre los que se incluyen subvenciones, préstamos concesionales, bonos y programas gubernamentales (véase UNDRR y OMM, 2023). Desde 2011, el CEMADEN (Centro Nacional de Monitoreo y Alerta Temprana de Desastres Naturales) de Brasil ha monitoreado los riesgos ambientales y ha emitido alertas sobre

inundaciones, deslizamientos de tierra y crecidas repentinas en 958 municipios (dos Santos Alvalá et al., 2019). Otros países se han beneficiado de iniciativas internacionales como los Sistemas de Alerta Temprana de Riesgos Climáticos (CREWS), que brindan asistencia financiera y técnica para mejorar las capacidades de pronóstico y fortalecer los servicios hidrometeorológicos.

## Planificación, instituciones y alianzas para un futuro resiliente

La planificación estratégica —que implica establecer objetivos de largo plazo, coordinar inversiones y garantizar la coherencia entre distintos niveles de gobierno— desempeña un papel fundamental en la construcción de resiliencia y en la capacidad de los países para anticipar y responder de forma proactiva a los choques naturales. Por ejemplo, en el caso de las sequías, esto incluye elaborar un plan de emergencia, establecer criterios para las medidas relacionadas con la sequía, crear sistemas de alerta temprana y garantizar acuerdos para fuentes de agua secundarias (Barandiarán et al., 2019).<sup>19</sup>

Una función central de los organismos de planificación es traducir los objetivos de resiliencia en planes de acción intersectoriales (véase el recuadro 3.8). Por ejemplo, planificar una matriz energética diversificada y descentralizada reduce la vulnerabilidad ante las crisis climáticas en todos los sectores económicos. Además, contribuye a disminuir las emisiones, promover industrias verdes, ampliar el acceso a la energía y mejorar la seguridad energética.

---

<sup>19</sup> Véase Barandiarán et al. (2019) para conocer las opciones detalladas de mitigación de riesgos para cada tipo de peligro.

### RECUADRO 3.8. Priorización de la resiliencia en los planes subsectoriales

En el sector del transporte, las estrategias nacionales están incorporando la adaptación tanto en la planificación de infraestructura como en las operaciones. El Plan Estratégico (2022-2026) del Departamento de Transporte de los Estados Unidos (2022-2026) establece como meta que la mitad de los estados desarrollen planes de mejora de resiliencia para 2026. En Escocia, la Estrategia Nacional de Transporte aborda explícitamente las amenazas climáticas, como la erosión, los deslizamientos de tierra y el aumento del nivel del mar, especialmente en comunidades vulnerables, y destaca los costos económicos de la inacción.

En el sector del agua, los documentos de planificación incorporan cada vez más medidas de resiliencia climática en la gobernanza, la inversión y las operaciones. En Victoria, Australia, el Plan de Acción para la Adaptación al Cambio Climático del Ciclo del Agua (2022-2026) promueve la diversificación del suministro, la mejora de las infraestructuras, la resiliencia operativa y la participación de la comunidad para mejorar la seguridad hídrica en todo el sistema.

En el sector energético, los esfuerzos de planificación se centran cada vez más en garantizar la fiabilidad y la seguridad de la red eléctrica, al tiempo que se promueven objetivos de resiliencia más amplios. En Colombia, el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del sector Minero-Energético (PIGCCme 2050) busca alinear las políticas nacionales de energía y clima para mejorar la competitividad y la sostenibilidad, apoyar la adaptación de la industria y fomentar la colaboración con el mundo académico y la sociedad. Sus prioridades estratégicas incluyen el fortalecimiento de la infraestructura, la mejora de la planificación y la gestión, y la generación de datos para orientar la toma de decisiones con el fin de cumplir los objetivos nacionales en materia de clima y energía para 2050.

Para avanzar en estos objetivos, el diseño y la planificación de las políticas deben incorporar métricas económicas que reflejen los posibles impactos de las interrupciones del servicio. Una de estas métricas es el Costo de la Energía No Suministrada (CENS), que estima las pérdidas económicas derivadas de la interrupción del suministro eléctrico. En las zonas comerciales e industriales urbanas de América Latina y el Caribe, los cortes de suministro pueden traducirse en pérdidas de decenas o incluso cientos de miles de dólares al día para una sola instalación, lo que pone de manifiesto los elevados costos asociados.<sup>20</sup> Incorporar estos indicadores en los procesos de planificación permite a las instituciones priorizar inversiones en aquellos puntos donde una interrupción generaría mayores costos económicos, alineando los objetivos de resiliencia con una toma de decisiones sólida.

Los países con instituciones de planificación exitosas suelen establecer mecanismos de coordinación, generalmente comités interministeriales, para definir prioridades, establecer planes de acción conjuntos y armonizar las intervenciones sectoriales. Entre los ejemplos se incluyen el Grupo Interministerial de Transporte del Reino Unido, que cuenta con representación climática, y el Comité Interministerial sobre Cambio Climático de Singapur, que incorpora la planificación del transporte. El éxito de las instituciones de planificación depende del liderazgo político, de mandatos claros con la capacidad de toma de decisiones, de metas bien definidas y de la participación activa del sector privado y de la sociedad civil (Calatayud et al., 2023).

Una buena planificación también requiere la coordinación entre los gobiernos nacionales, regionales y locales. Los gobiernos nacionales, junto con los sistemas nacionales de inversión pública, desempeñan un papel fundamental al establecer marcos normativos, fortalecer la capacidad institucional y fomentar la colaboración entre los distintos niveles de gobierno. Esto es crucial para integrar la planificación en todos los niveles de la administración. El modelo de gobernanza portuaria de Italia ofrece un ejemplo de este enfoque multinivel: el Ministerio de Transporte se encarga de la supervisión estratégica, las autoridades portuarias se ocupan de la planificación y el desarrollo, y los concesionarios privados gestionan las operaciones diarias. Los comités portuarios, que incluyen a funcionarios

---

**20** Por ejemplo, los cortes de energía en los centros manufactureros o distritos financieros de América Latina y el Caribe pueden generar pérdidas superiores a los US\$10.000 por MWh, mientras que los sectores residenciales pueden enfrentar menores impactos, aunque igualmente significativos (Yépez-García y Jiménez-Mori, 2024).

electos de todos los niveles de gobierno, así como a partes interesadas de la industria, ayudan a garantizar una implementación coherente y una toma de decisiones alineada con los objetivos comunes.

Las alianzas con actores no estatales refuerzan la coordinación gubernamental y amplían la planificación de infraestructura resiliente más allá del sector público. La participación temprana del sector privado, de los centros de investigación y de la sociedad civil aporta conocimientos técnicos, fomenta la innovación y contribuye a generar apoyo público. La Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua —una colaboración entre el Banco Interamericano de Desarrollo, la Fundación FEMSA, el Fondo Mundial para el Medio Ambiente, la Iniciativa Climática Internacional y The Nature Conservancy— ha movilizado más de US\$200 millones para conservar las cuencas hidrográficas y mejorar la seguridad hídrica en la región. Del mismo modo, en el Reino Unido, proyectos piloto público-privados han probado la reutilización del biogás y la infraestructura verde, mientras que instituciones académicas han aportado investigación fundamental para las estrategias nacionales de descarbonización.

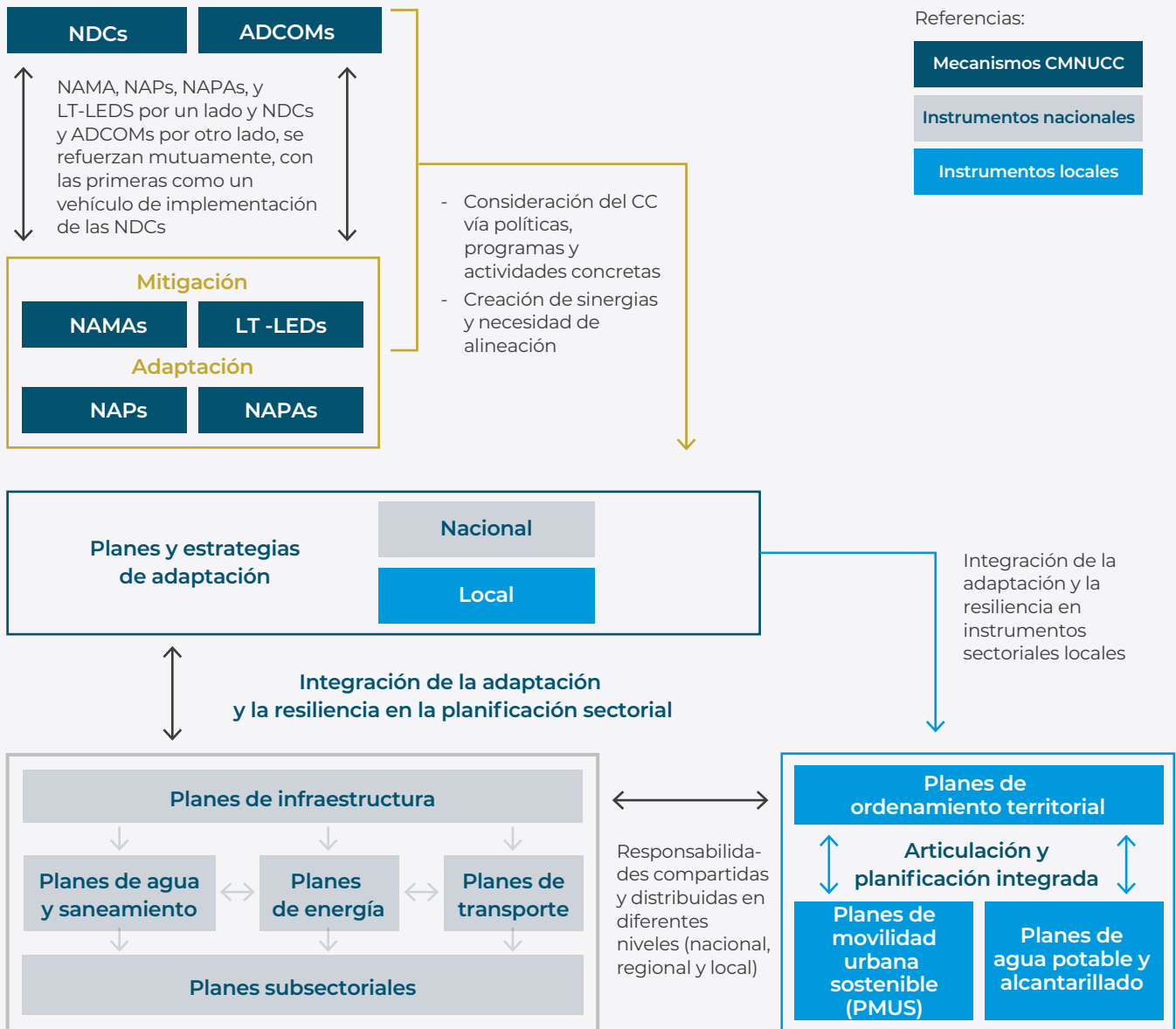
Las alianzas regionales desempeñan un papel importante en la promoción de la planificación de infraestructura resiliente, especialmente cuando los ecosistemas o los riesgos climáticos traspasan las fronteras nacionales. Por ejemplo, la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA) reúne a los ocho países amazónicos —Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela— en el marco del Tratado de Cooperación Amazónica. Como único bloque socioambiental de América Latina, la OTCA ofrece a sus miembros una plataforma para coordinar políticas, compartir conocimientos técnicos y emprender iniciativas conjuntas destinadas a preservar el medio ambiente de la Amazonía y garantizar el uso sostenible de sus recursos naturales. Al poner en común sus conocimientos especializados y al alinear las estrategias nacionales, estas alianzas regionales refuerzan la capacidad colectiva para abordar los retos climáticos que ningún país podría afrontar por sí solo.

El gráfico 3.2 ilustra cómo los instrumentos nacionales, locales y sectoriales se interconectan en un marco de planificación más amplio. Destaca la conexión entre los mecanismos de mitigación y adaptación al clima, como las Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA), las Estrategias de Largo Plazo para un Desarrollo Bajo en Emisiones (LT-LEDS), los Planes Nacionales de Adaptación (NAP) y los Programas de Acción para la Adaptación Nacional (NAPA), como parte de los compromisos de los países en virtud de la CMNUCC, incluidas las Contribuciones Determinadas

a Nivel Nacional (NDC) y las Comunicaciones de Adaptación (ADCOM). Estos elementos alimentan los planes y estrategias nacionales y locales de adaptación, que sirven de base para integrar las consideraciones climáticas en la planificación de infraestructura. Los planes sectoriales, que abarcan el agua y el saneamiento, la energía y el transporte, se basan en estas estrategias de adaptación, mientras que los instrumentos locales, como la planificación del uso del suelo, los Planes de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) y los Planes de Agua Potable y Alcantarillado, permiten integrar medidas de resiliencia y adaptación a nivel local y crear responsabilidades compartidas entre los distintos niveles de gobernanza. La planificación integrada y la alineación entre instrumentos garantizan que la adaptación climática se incorpore de manera transversal al desarrollo de infraestructuras y a las políticas de uso del suelo (véase el gráfico 3.2).

**Gráfico 3.2.**

**Instrumentos de adaptación nacionales, locales y sectoriales de NAPs y NAPAs**



**Nota:** ADCOMs: Comunicaciones de adaptación; LT-LEDS: Estrategias de largo plazo para un desarrollo bajo en emisiones; NAPs: Planes nacionales de adaptación; NAMAs: Acciones nacionales apropiadas de mitigación; NAPAs: Programas de acción para la adaptación nacional; NDCs: Contribuciones determinadas a nivel nacional

**Fuente:** Elaboración propia basada en Calatayud et al. (2023).

No obstante, una buena planificación requiere el apoyo de instituciones capaces de adaptarse a circunstancias cambiantes o impredecibles. Las normas rígidas en materia de financiación, contratación pública y ejecución de proyectos pueden retrasar las intervenciones críticas tras una catástrofe. Los marcos regulatorios deben ser lo suficientemente flexibles como para permitir respuestas rápidas en situaciones de emergencia. Por ejemplo, tras el huracán Sandy en 2013, Estados Unidos flexibilizó temporalmente la normativa fiscal para facilitar la financiación coordinada entre los gobiernos federal, estatal y local para la recuperación de la infraestructura (AIE, 2014).

De cara al futuro, organismos de planificación más sólidos y alianzas más estrechas, tanto dentro de los países como entre países y con actores no gubernamentales, serán esenciales para que la infraestructura pueda enfrentar los retos que impone la naturaleza. En última instancia, una planificación eficaz combina capacidades institucionales sólidas con inversiones estratégicas adaptadas a las características de cada sector.

## Una vía política hacia una infraestructura resiliente

La infraestructura resiliente requiere mucho más que blindar físicamente los activos frente a amenazas. Implica repensar cómo se planifica, opera, mantiene y gestiona la infraestructura. Aunque cada sector enfrenta desafíos distintos, existen varias lecciones transversales aplicables a todo el ámbito de los servicios de infraestructura.

La infraestructura resiliente debe diseñarse no solo para soportar los riesgos actuales, sino también para adaptarse a la incertidumbre del futuro. El lugar y la forma en que se construye la infraestructura son tan importantes como lo que se construye. Los enfoques basados en la diversificación, la descentralización y la redundancia reducen la probabilidad de que se produzcan fallos sistémicos. Disponer de múltiples rutas de transporte, de sistemas de agua y energía distribuidos, o de servicios localizados puede mejorar significativamente la continuidad de los servicios cuando se producen choques o desastres naturales. Las SbN pueden generar beneficios significativos para la resiliencia, además de aportar co-beneficios ambientales y sociales. Sin embargo, su adopción en la región sigue siendo desigual y aún existe un amplio margen para escalarlas. En última instancia, la resiliencia depende no solo de un diseño innovador, sino también de un compromiso sostenido con el mantenimiento y la inversión a lo largo del ciclo de vida de los activos. La falta crónica de inversión —incluso en

infraestructura bien diseñada— expone los sistemas a fallas prematuras y debilita los avances en resiliencia. Por ello, una agenda de resiliencia con visión de futuro debe integrar la planificación del ciclo de vida, las inversiones continuas y marcos de gobernanza sólidos tanto para la infraestructura nueva como para la existente.

Avanzar en la construcción de infraestructura resiliente en América Latina y el Caribe requiere combinar mecanismos basados en precios e instrumentos no basados en precios, tanto en el lado de la oferta como en el de la demanda de los servicios de infraestructura.

Los mecanismos basados en precios incluyen subsidios, incentivos fiscales y subvenciones para impulsar la inversión. También abarcan distintas estructuras tarifarias —como tarifas crecientes por bloques, precios estacionales, precios dinámicos y descuentos focalizados— que influyen en los patrones de consumo. Los ajustes en las primas de seguros y los esquemas de financiamiento basados en resultados pueden incentivar inversiones en infraestructura resiliente, mientras que los fondos específicos y las reservas de contingencia —por ejemplo, para la adaptación al cambio climático o la respuesta ante desastres— facilitan la recuperación de los servicios tras eventos extremos. Además, otras herramientas financieras, como las subvenciones para I+D, los apoyos para tecnologías todavía incipientes (como la desalinización o la captación de agua de lluvia), los pagos por servicios ambientales (protección de cuencas, recarga de acuíferos) y los certificados de agua negociables para mejorar la gestión de los recursos, refuerzan la resiliencia.

Los mecanismos no basados en precios abarcan una amplia variedad de herramientas. Incluyen campañas de difusión, alertas en tiempo real, etiquetado de eficiencia de los electrodomésticos y herramientas digitales de gamificación. También comprenden medidas regulatorias y de planificación, como la actualización de las normas de diseño y construcción, las reformas en el uso del suelo y la zonificación, y la creación de marcos normativos para las soluciones basadas en la naturaleza. Asimismo, las evaluaciones de riesgo obligatorias, las guías de planificación y las estrategias sectoriales ayudan a priorizar las inversiones en activos críticos y expuestos. Por su parte, las reformas en la contratación pública —como especificaciones técnicas con enfoque de resiliencia, cláusulas de reparto de riesgos y contratos basados en el desempeño— permiten incorporar la resiliencia desde las primeras fases hasta la ejecución de los proyectos de infraestructura.

Fortalecer la resiliencia también requiere desarrollar capacidades y contar con instituciones sólidas. La capacitación de los equipos de planificación, la participación ciudadana y los programas que impulsan cambios de comportamiento son tan importantes como la inversión en infraestructura física. Los proyectos piloto con nuevos materiales y tecnologías, junto con mejoras en el mantenimiento y la integración de infraestructura verde y gris, pueden generar modelos replicables que luego puedan ampliarse.

En definitiva, incorporar la resiliencia en los sistemas de infraestructura no es solo un desafío técnico, sino también una prioridad estratégica. A medida que crecen las necesidades de desarrollo, la región debe pasar de respuestas reactivas a una proactiva, en la que se planifique una infraestructura resiliente e integrada. Esto implica incorporar la resiliencia en todas las etapas del ciclo de infraestructura —desde el diseño de políticas y la preparación de proyectos hasta su implementación y operación—. También exige dotar a las instituciones de flexibilidad, recursos y datos confiables para responder a riesgos cambiantes y promover la colaboración entre sectores y niveles de gobierno. Y, fundamentalmente, requiere asegurar financiamiento y fondos adecuados para ampliar las inversiones, tema que aborda el próximo capítulo.

## CAPÍTULO 4

# Las dos piezas del rompecabezas: fondeo y financiamiento de la infraestructura resiliente

Dada la urgente necesidad de construir sistemas de infraestructura resilientes en un mundo cada vez más vulnerable a los caprichos del clima y eventos extremos, la pregunta es: ¿cómo pagar por sistemas con mayor adaptabilidad a dichos fenómenos? Este capítulo aborda esta cuestión. Se concentra en cómo movilizar los recursos para mejorar la infraestructura y explora los distintos, pero a menudo interconectados, conceptos de fondeo y financiamiento en el contexto de la infraestructura resiliente.

Los conceptos de «fondeo» y «financiamiento» se confunden con frecuencia y se utilizan erróneamente de manera intercambiable. La inversión en infraestructura se refiere al gasto de capital destinado a la construcción, rehabilitación y/o mantenimiento de los activos de infraestructura. El financiamiento se refiere a los recursos pecuniarios necesarios para realizar las inversiones. Dichos recursos pueden provenir de fondos propios del desarrollador del proyecto (capital) o de préstamos del mercado financiero (deuda). En cualquier caso, el proceso de financiación implica una obligación de reembolso futuro. El fondeo, por su parte, determina cómo se reembolsa dicho financiamiento. Es la fuente de dinero que se utiliza, en última instancia, para pagar la inversión. Las fuentes de fondeo de los proyectos de infraestructura pueden provenir de los usuarios de los servicios prestados por la infraestructura, normalmente a través de tarifas o peajes a los usuarios, o a través de transferencias gubernamentales con cargo al presupuesto público. Los recursos públicos, a su vez, pueden obtenerse mediante gravámenes asociados, en mayor o menor medida, a los proyectos que se financian, o de cualquier otra fuente general de ingresos públicos. Así pues, aunque el fondeo y el financiamiento son, sin duda, diferentes, ambos son piezas del rompecabezas.

Existen múltiples mecanismos de fondeo para proyectos de infraestructura, dependiendo de las características del proyecto. Sin embargo, es

importante destacar que la fuente de fondeo de los proyectos es lo que permite materializar la financiación. Esto es particularmente relevante en el caso de la infraestructura resiliente. La infraestructura resiliente se diferencia de la convencional en que está diseñada específicamente para resistir, adaptarse y recuperarse rápidamente ante perturbaciones como huracanes, inundaciones, marejadas ciclónicas, terremotos y otros desastres relacionados con el clima.<sup>21</sup> El desarrollo de infraestructuras resilientes puede requerir una inversión inicial mayor que la de las infraestructuras convencionales, por ejemplo, en la creación de redundancias para garantizar la continuidad de los sistemas y los servicios, así como la flexibilidad para adaptarse a circunstancias cambiantes e inesperadas. Los mayores costos de construcción de infraestructuras resilientes reportan beneficios a largo plazo en materia de mitigación de riesgos que pueden ser difíciles de cuantificar monetariamente, lo que plantea retos de financiación que requieren mecanismos de fondeo innovadores e instrumentos financieros a la medida.

El capítulo comienza aclarando los conceptos clave de fondeo y financiamiento y luego examina cómo se aplican a la infraestructura resiliente. Posteriormente revisa el panorama actual de la inversión en infraestructura en la región, el papel de los actores públicos y privados y los instrumentos disponibles para financiar inversiones en infraestructura resiliente. Por último, analiza las barreras que limitan la inversión y ofrece una hoja de ruta para ampliar el fondeo y el financiamiento de la infraestructura resiliente en América Latina y el Caribe.

## Introducción a los mecanismos de fondeo y financiamiento de infraestructura

El fondeo y el financiamiento son elementos estrechamente relacionados, pero conceptualmente distintos, de la inversión en infraestructura. Comprender la diferencia entre ambos es esencial para diseñar estrategias de inversión eficaces. El financiamiento se refiere al proceso de obtener el capital inicial necesario para construir o mejorar la infraestructura, ya sea mediante préstamos, bonos o recursos propios. El fondeo, por el contrario, se refiere a la fuente de reembolso de ese capital a lo largo del tiempo.

---

<sup>21</sup> El concepto se enmarca dentro del concepto más amplio de «infraestructura sostenible», que también incluye proyectos que contribuyen a la mitigación del cambio climático, como los que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero.

La fuente de fondeo determina la naturaleza de los riesgos a los que se enfrentan los financiadores. Cuando la infraestructura se financia mediante tarifas a usuario, como peajes en una autopista o tarifas eléctricas, los financiadores deben evaluar los riesgos relacionados con los retrasos en la construcción, que pueden posponer la recaudación de ingresos; la incertidumbre de la demanda, que puede dar lugar a un uso menor que el esperado; y cambios regulatorios, que pueden afectar a la estructura de precios o al cumplimiento de los contratos. Por ejemplo, si existen retrasos en la puesta en marcha de una carretera de peaje, o si la utilizan menos vehículos de los estimados, el flujo de ingresos podría resultar insuficiente para reembolsar el financiamiento, lo que aumenta el riesgo para los prestamistas. En tales casos, el éxito del proyecto depende de su viabilidad financiera y de la solidez institucional, de la capacidad reguladora y de la credibilidad del sector público (véase el recuadro 4.1 sobre el caso del almacenamiento de electricidad en Chile).

Por el contrario, cuando un proyecto es financiado íntegramente por el gobierno, como una carretera construida mediante obras públicas, los riesgos cambian. En este caso, las principales preocupaciones de los financiadores son la capacidad del gobierno para cumplir con sus obligaciones de pago, la prelación de dichos pagos respecto de otros gastos públicos y la exigibilidad legal de cualquier garantía o compromiso contractual. Si el gobierno se enfrenta a dificultades fiscales o cambios políticos, la fiabilidad de los pagos puede verse comprometida, incluso si la infraestructura se utiliza adecuadamente.

Los acuerdos de fondeo mixto, en los que tanto el sector público como los usuarios privados pagan una parte, combinan elementos de ambos modelos. Estos acuerdos introducen niveles adicionales de complejidad, incluida la capacidad del gobierno para diseñar, implementar y supervisar los contratos de manera eficaz.

La estructura de fondeo también influye en los tipos de instrumentos financieros que pueden utilizarse. Por ejemplo, los proyectos que dependen del fondeo público pueden requerir instrumentos financieros que incluyan garantías de entidades supranacionales o las denominadas «cláusulas de seniority o prelación» para mitigar los riesgos asociados a situaciones fiscales débiles. Por el contrario, los proyectos financiados mediante tarifas a usuario pueden beneficiarse de menores costos de financiación si se gestionan adecuadamente los riesgos regulatorios y contractuales.

Brichetti, Cavallo y Serebrisky (2024) clasifican los mecanismos de fondeo según la relación entre quienes se benefician de los servicios de infraestructura y quienes los pagan. Cuando los beneficiarios son claramente identificables, como los conductores que utilizan una carretera de peaje o los hogares conectados a una red de agua, suele ser eficiente cobrarles directamente. Contar con un sistema de precios que refleje el costo total de la prestación del servicio, incluidos los gastos de funcionamiento, los costos de capital y un rendimiento razonable para los proveedores, guía a los usuarios hacia decisiones de consumo eficientes. Por ejemplo, las tarifas por congestión en el transporte urbano pueden ayudar a gestionar la demanda de uso vehicular y a reducir el uso excesivo. Sin embargo, en la práctica, la recuperación total de los costos a través de las tarifas de los usuarios se ve a menudo limitada por factores como la demanda baja o impredecible, las preocupaciones sobre la asequibilidad del servicio, las economías de escala y la presencia de externalidades positivas. Estas limitaciones son especialmente relevantes para los servicios básicos — electricidad, transporte, agua y saneamiento— en los que los precios deben equilibrar la sostenibilidad financiera con el acceso equitativo.

Cuando no es viable recuperar los costos directamente de los usuarios, el fondeo debe provenir de los beneficiarios indirectos. Un ejemplo común es el uso de impuestos específicos, como los gravámenes sobre las ventas de combustible, para financiar la infraestructura vial. Si bien estos mecanismos generan flujos de ingresos estables para la financiación de proyectos, debilitan el vínculo entre el uso del servicio y el pago, lo que puede dar lugar a patrones de uso ineficientes. Por ejemplo, si los impuestos sobre el combustible se utilizan para financiar las carreteras independientemente del volumen de tráfico o de los niveles de congestión, se corre el riesgo de que las inversiones no se ajusten a la demanda real ni a los rendimientos económicos.

Otro enfoque muy extendido es fondear las infraestructuras con los ingresos del gobierno general. Este enfoque se utiliza para realizar inversiones en servicios deseables, aunque no sean viables comercialmente. Sin embargo, también plantea retos. Los presupuestos públicos suelen estar sujetos a ciclos políticos, restricciones fiscales y prioridades contrapuestas. Estos factores aumentan la volatilidad del fondeo y el riesgo de retrasos o de cancelaciones de proyectos. Cuando los pagos por los servicios están completamente disociados de los usuarios, las decisiones de consumo pueden volverse ineficientes o derrochadoras. Además, en contextos con una capacidad institucional débil, el fondeo público puede ser vulnerable a

la captura por parte de grupos de interés. A pesar de estos inconvenientes, el fondeo gubernamental sigue siendo un pilar central de la inversión en infraestructura en la región, ya sea a través de obras públicas directas o de empresas estatales que prestan servicios en nombre del Estado.<sup>22</sup>

#### RECUADRO 4.1. Regulación en fondeo de las inversiones en infraestructura: el caso del almacenamiento de electricidad en Chile

Los sistemas de almacenamiento de energía (SAE) se volvieron esenciales para la red eléctrica de Chile a medida que la energía solar y eólica se expandían rápidamente por todo el país. La intermitencia inherente a estas fuentes renovables planteó retos para la estabilidad de la red y la fiabilidad del suministro, lo que hizo necesaria la capacidad de los SAE. Más allá de abordar los problemas de intermitencia, el almacenamiento eléctrico es una herramienta valiosa para reducir los costos del sistema, al permitir el desplazamiento en la generación de los periodos de baja demanda a los de máxima demanda, evitando así inversiones adicionales sustanciales en infraestructura de transmisión y distribución.

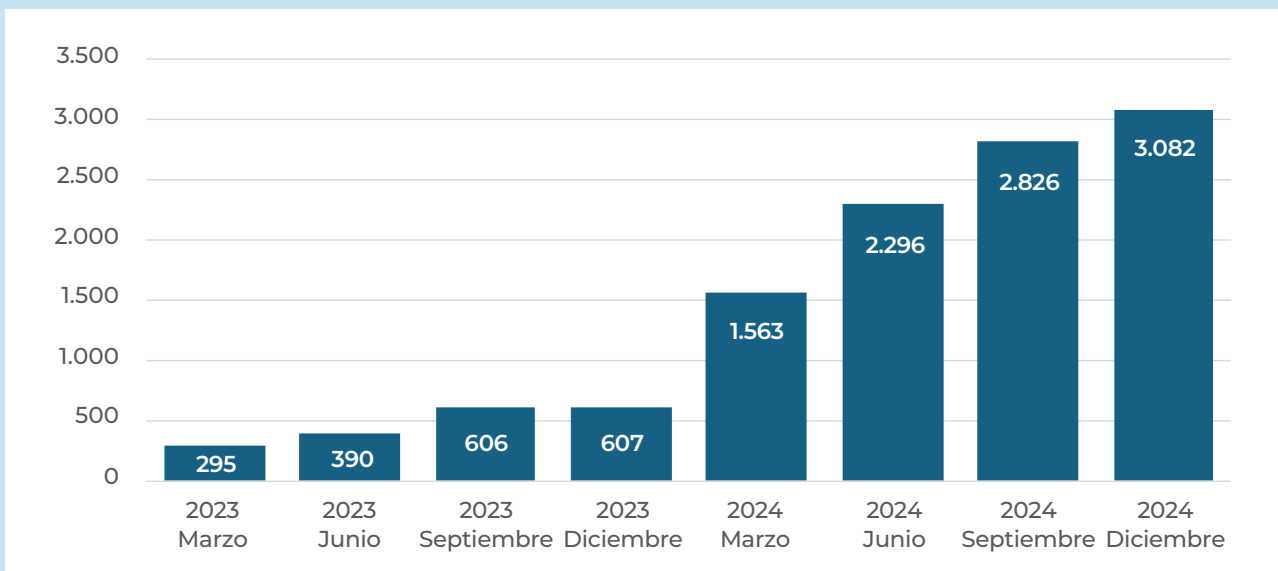
A pesar de esta clara necesidad, y aunque existían diferencias significativas de precios entre los periodos de carga y descarga de los SAE—lo que podía generar oportunidades de arbitraje rentables—los desarrolladores de sistemas de almacenamiento carecían de garantías de que pudieran aprovecharlas. Esta incertidumbre se debía al hecho de que, en el marco regulatorio chileno—similar al de la mayoría de los mercados mayoristas de electricidad de América Latina y el Caribe—, el operador del sistema (OS) tenía el control sobre las decisiones de suministro, en lugar de dar a los desarrolladores la posibilidad de

<sup>22</sup> Véase, por ejemplo, Fay, Martimort y Straub (2021) para un modelo que racionaliza el hecho de que la financiación privada representa una parte menor de la financiación de infraestructuras en los países en desarrollo.

arbitrar libremente las oportunidades. Además, a diferencia de otros marcos regulatorios que emplean instrumentos más sofisticados, no quedaba claro cómo se remuneraría su contribución a la estabilidad y la seguridad del sistema. Esta incertidumbre en las futuras fuentes de ingresos dificultaba la financiación para los desarrolladores de SAE y obstaculizaba la viabilidad del almacenamiento dentro del marco existente. En consecuencia, la expansión de la capacidad de almacenamiento se estancó a lo largo de 2023, creciendo a tasas sustancialmente inferiores a las necesidades del sistema (véase el gráfico B4.1.1).

**Gráfico B4.1.1.**

Capacidad de almacenamiento de energía en funcionamiento, en fase de pruebas o en construcción (MW)



**Fuente:** Elaboración propia basada en datos de la Comisión Nacional de Energía (CNE), Asociación Chilena de Energías Renovables y Almacenamiento (ACERA) y Asociación de Generadoras de Chile.

Para incentivar la entrada de SAE, a finales de 2023 se promulgó una nueva normativa que incorporaba un mecanismo de fondeo. En lugar de basarse únicamente en el arbitraje energético, la normativa compensaba los proyectos de almacenamiento en función de su capacidad para almacenar electricidad, reconociendo explícitamente

su contribución a la estabilidad y la seguridad del sistema. Este enfoque proporcionó a los promotores de almacenamiento una fuente de ingresos segura que compensaba directamente una parte de su inversión de capital, reduciendo la dependencia de los márgenes de precios energéticos inciertos. El impacto de esta intervención regulatoria fue inmediato, con una rápida expansión de la capacidad de almacenamiento a lo largo de 2024, lo que demostró que los mecanismos que garantizan el rendimiento de las inversiones futuras son esenciales para el desarrollo de las infraestructuras.

Si esto representa una solución regulatoria óptima sigue siendo una pregunta abierta. Sin embargo, constituye un enfoque pragmático dentro de las limitaciones del marco regulatorio existente. Es importante destacar que esta regulación tiene una vigencia de diez años, lo que brinda certeza al mercado para los desarrolladores de SAE y tiempo suficiente para desarrollar una solución a largo plazo potencialmente más eficiente.

## Infraestructura resiliente vs. infraestructura tradicional: ¿difieren en su fondeo y financiamiento?

Los proyectos de infraestructura, por su naturaleza, son propensos a fallas de mercado que pueden conducir a una inversión insuficiente. Entre ellas se incluyen las externalidades, en las que los beneficios sociales totales de la infraestructura van más allá de lo que pueden captar los inversores privados; las características de monopolio natural, debido a los altos costos fijos, y los efectos de red; y los largos horizontes de inversión que pueden no alinearse con las preferencias del mercado privado. Estas fallas del mercado se acentúan en el caso de la infraestructura resiliente. La incertidumbre que rodea, por ejemplo, los riesgos climáticos amplifica las asimetrías de información, lo que dificulta a los inversores evaluar los riesgos y los rendimientos (véase, por ejemplo, Delgado et al., 2025; Marchau et al., 2019; y Fischbach et al., 2015). Además, los beneficios de la resiliencia —como evitar daños por inundaciones, huracanes o sequías— son intrínsecamente difíciles de cuantificar y monetizar, ya que representan pérdidas evitadas en lugar de fuentes de ingresos directas. Esta incertidumbre, combinada con

períodos de recuperación de la inversión potencialmente más prolongados y requisitos de coordinación más complejos entre múltiples sectores y jurisdicciones, agrava los fallos tradicionales del mercado que limitan la inversión en infraestructuras.

Las consecuencias de estos fallos del mercado son especialmente graves en el contexto de la resiliencia climática, donde la falta de inversión puede traducirse en pérdidas catastróficas de vidas y propiedades cuando los fenómenos meteorológicos extremos azotan comunidades que no están preparadas. Esta falta de inversión se debe a que muchos de los beneficios de la infraestructura resiliente no se reflejan en los pagos directos de los usuarios. Por ejemplo, un sistema de protección contra inundaciones puede salvaguardar barrios o ciudades enteras, pero resulta difícil cobrar a cada beneficiario en proporción a la protección que recibe. Este tipo de beneficios, que se extienden más allá de los usuarios individuales a la sociedad en general, se conoce como externalidades positivas. Dado que el valor total de la inversión no se refleja en las transacciones del mercado, los actores privados pueden carecer de incentivos para fondear este tipo de proyectos, y los gobiernos pueden invertir menos de lo necesario a menos que se establezcan mecanismos de fondeo específicos.

La naturaleza de los beneficios de la resiliencia y, en concreto, la distribución desigual de la exposición y la vulnerabilidad, plantean cuestiones complejas de equidad y responsabilidad de financiación. Mientras que algunas inversiones en resiliencia, como las barreras contra inundaciones o los sistemas de drenaje, benefician a zonas geográficas específicas, otras—como una planta de tratamiento de agua más resiliente—tienen efectos indirectos más amplios. Por ejemplo, reforzar una instalación de tratamiento de agua frente a condiciones meteorológicas extremas puede proteger principalmente a los barrios cercanos de interrupciones en el servicio, pero también garantizar la continuidad del suministro para la red en general, lo que beneficia a usuarios mucho más lejos de las inmediaciones. Esto dificulta definir quién debe pagar y cuánto debe pagar. Si las políticas de financiación se ajustaran estrictamente al principio de «el usuario paga», esto implicaría la necesidad de mecanismos de recuperación de costos granulares y específicos para cada lugar que reflejaran la exposición y los beneficios de cada usuario. Sin embargo, las limitaciones prácticas y políticas a menudo impiden tal precisión, lo que conduce a una inversión insuficiente en resiliencia o a un gasto público ineficiente que no se dirige adecuadamente a las zonas más vulnerables o expuestas.

Tradicionalmente, los economistas han propuesto dos enfoques principales para abordar el tipo de externalidades que a menudo conducen a una inversión insuficiente en infraestructuras resilientes. El primero, asociado a Coase (1960), sugiere que si los derechos de propiedad sobre la exposición al riesgo están claramente definidos y los costos de transacción son bajos, los actores privados pueden negociar soluciones entre sí. Por ejemplo, si una comunidad está en riesgo de inundación, los propietarios podrían invertir colectivamente en infraestructuras de protección o contratar seguros que reflejen su exposición. Este enfoque se basa en mecanismos de coordinación basados en el mercado, como la fijación de precios basada en el riesgo en los mercados de seguros, para internalizar los costos de la vulnerabilidad. Sin embargo, el enfoque coasiano presenta importantes limitaciones prácticas debido a la dificultad de establecer derechos de propiedad claros sobre riesgos complejos y a los elevados costos de transacción de coordinar las negociaciones, especialmente entre múltiples partes.

El segundo enfoque, más comúnmente aplicado en la práctica, sigue a Pigou (1920), quien abogaba por el uso de impuestos y subsidios para corregir las fallas del mercado. Consideremos un pueblo en una zona propensa a las inundaciones, donde algunos residentes viven directamente a orillas del río, mientras que otros se encuentran más hacia el interior. Cuando los residentes de la ribera invierten en medidas de protección, como barreras contra inundaciones o cimientos elevados, estas inversiones protegen no solo sus propias propiedades, sino que también generan beneficios indirectos para todo el pueblo. Sin embargo, los residentes directamente expuestos solo tienen en cuenta sus beneficios privados a la hora de tomar decisiones de inversión, lo que conduce a una inversión insuficiente desde una perspectiva social. Un subsidio pigouviano proporcionaría incentivos financieros a los más expuestos al riesgo para que invirtieran en la protección contra las inundaciones al nivel socialmente óptimo. Además, si el subsidio va acompañado de un impuesto que grava a todos los residentes del pueblo, la financiación de la infraestructura de protección proviene de quienes se benefician de ella. En otras palabras, el subsidio pigouviano evita que quienes invierten en protección inviertan menos de lo necesario, mientras que los impuestos hacen que quienes se benefician de la protección paguen por ella. En cualquier caso, estos instrumentos ayudan a alinear los incentivos privados con los beneficios sociales más amplios, al reducir el costo de las inversiones que mejoran la resiliencia o al generar fondos públicos para financiarlas.

Si bien, ambos enfoques ofrecen herramientas para abordar las externalidades, también plantean importantes cuestiones distributivas. ¿Quién debe asumir el costo de las inversiones en resiliencia que benefician a muchos pero que pagan unos pocos? Esta cuestión cobra especial relevancia cuando los beneficios de la infraestructura son difusos o a largo plazo, y los costos son inmediatos y concentrados. Los proyectos de infraestructura resiliente suelen implicar costos adicionales en el momento de la inversión, como costos de construcción más elevados, mientras que los beneficios se obtienen a más largo plazo, a menudo para grupos de población diferentes de los que inicialmente incurrieron en los gastos. Además, estos beneficios suelen presentarse como daños evitados en lugar de ganancias inmediatas, lo que los hace menos visibles y más difíciles de monetizar. Esta desconexión temporal plantea retos importantes de economía política, especialmente cuando las decisiones de fondeo del sector público deben ser tomadas por autoridades que pueden no obtener beneficios políticos de las inversiones.

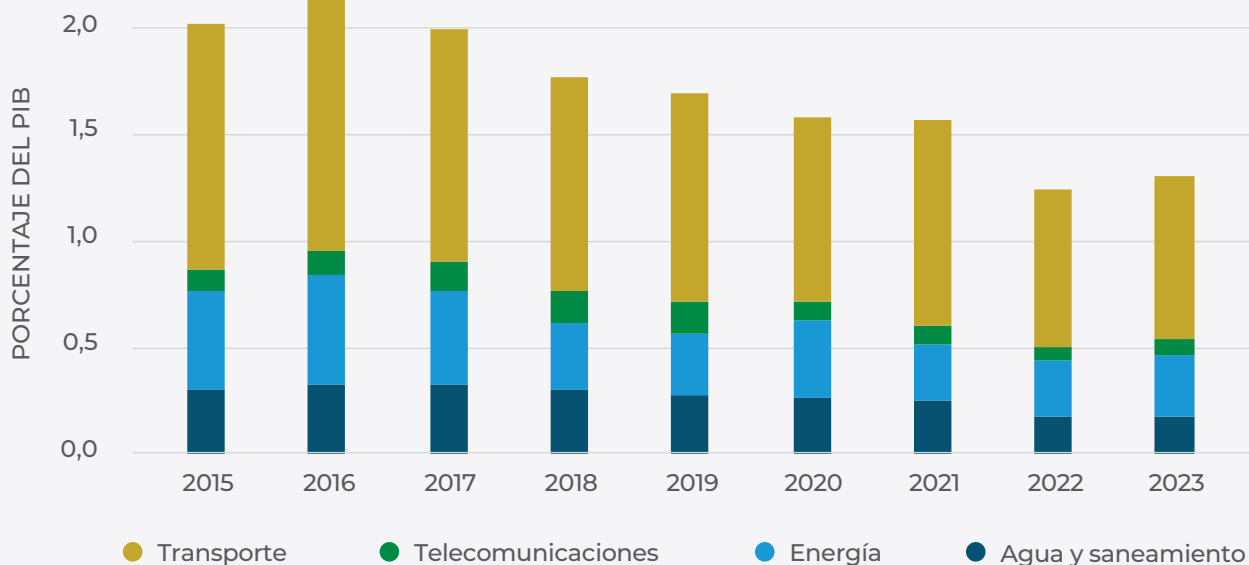
Este desajuste intertemporal es, en sí mismo, una forma de externalidad: quienes pagan hoy no son necesariamente quienes se benefician mañana. Para facilitar la financiación, es necesario articular políticas de fondeo que se adapten a las características específicas de cada proyecto. Además, para facilitar la financiación de infraestructuras resilientes se necesitan instrumentos financieros que ayuden a distribuir los costos y beneficios de forma más equitativa a lo largo del tiempo. Algunos ejemplos son los «bonos verdes» o «bonos climáticos», que estructuran los calendarios de reembolso para repartir la carga financiera entre las generaciones actuales y futuras, o los «fondos fiduciarios para la resiliencia climática», que agrupan recursos provenientes de fuentes públicas, privadas o mixtas para apoyar inversiones a largo plazo.

## El estado de la inversión en infraestructura resiliente en la región

Gran parte de la inversión en infraestructura en América Latina y el Caribe proviene del sector público. Históricamente, el sector público ha aportado entre el 60% y el 80% de la inversión total en infraestructura económica (Cavallo, Powell y Serebrisky, 2020). El gráfico 4.1 muestra la inversión en infraestructura (gasto de capital fijo) basada en un análisis de los presupuestos públicos ejecutados en América Latina y el Caribe. Desde 2015,

los países han invertido, en promedio, un 1,7% del PIB, con una tendencia a la baja desde 2016. Las inversiones realizadas han sido inferiores a las necesarias, lo que ha generado un déficit de infraestructura que se refleja en la mala calidad y cantidad de la infraestructura de la región (Brichetti et al., 2021). Para cerrar la brecha de infraestructura, la región debería invertir 3,1% de su PIB, casi el doble del nivel actual.

**Gráfico 4.1.**  
Inversión pública en infraestructura económica en América Latina y el Caribe



**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del BID, CAF y CEPAL (2025).

¿Qué porcentaje de la inversión realizada se destinó a infraestructura resiliente? Desafortunadamente, no hay una respuesta breve. El problema comienza con la falta de datos, agravada por la ausencia de criterios contables que definan una inversión como «resiliente».<sup>23</sup> Para abordar estos problemas, en el recuadro 4.2 se desarrolla un indicador proxy de la inversión en infraestructura resiliente con base en la información de las carteras de préstamos de los bancos multilaterales de desarrollo (BMD). Las carteras de

<sup>23</sup> ¿Qué hace que un activo, como una carretera, se clasifique como resiliente? Véase BID y BID Invest (2018).

los BMD comprenden una serie de proyectos de infraestructura—financiados por estas instituciones multilaterales—en algunas categorías establecidas, como la «financiación climática». El análisis del recuadro 4.2 sugiere que, si bien la inversión pública total en infraestructura ha disminuido en la región desde 2015, el lado positivo es que una parte cada vez mayor de esa inversión se destina a infraestructura resiliente.

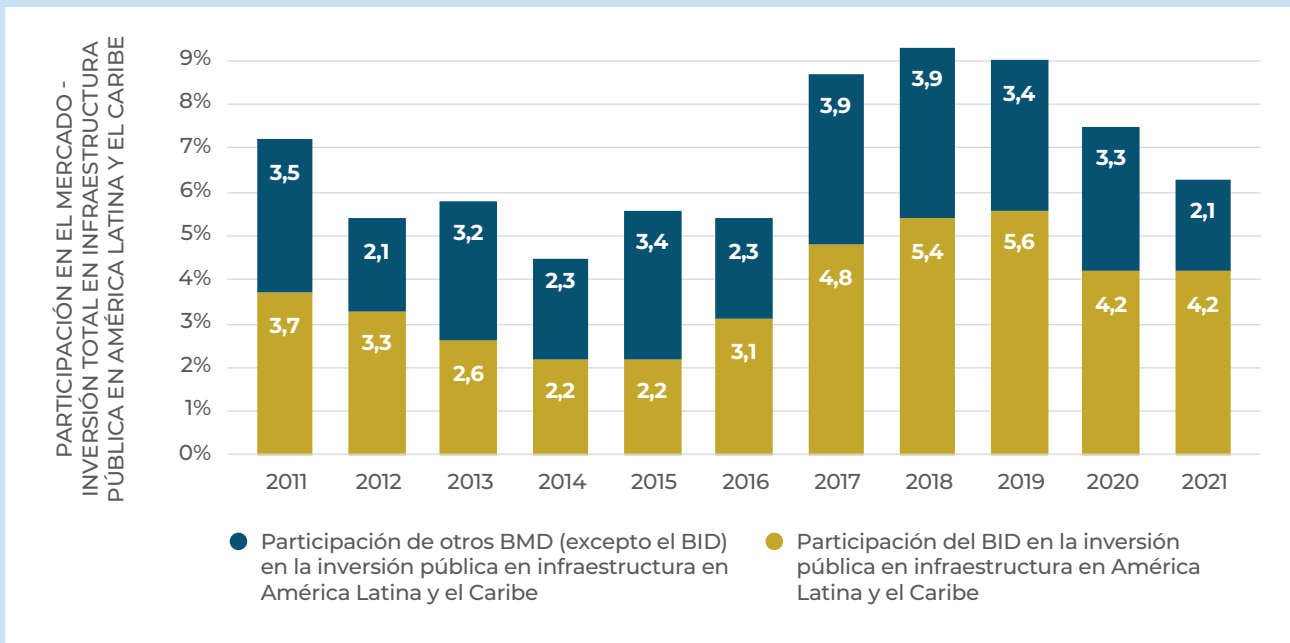
#### RECUADRO 4.2. Los bancos multilaterales de desarrollo: un estudio de caso sobre la inversión pública en infraestructura resiliente

Los países miembros solicitan préstamos a los BMD para financiar inversiones en infraestructura.<sup>24</sup> El gráfico B4.2.1 recopila información públicamente disponible sobre la contribución de los principales bancos de desarrollo a la inversión en infraestructura en América Latina y el Caribe a través de sus ventanillas con y sin garantía soberana.

<sup>24</sup> Para una comparación detallada de los instrumentos de préstamo, véase <https://www.iadb.org/en/how-we-can-work-together/public-sector/financing-offerings/instrument-comparison?list=LBR,IRF,ESP>

**Gráfico B4.2.1.**

Participación de los BMD en la inversión en infraestructura pública, 2011-2021: participación en el mercado



**Fuente:** Elaboración de los autores basados en datos internos del BID y del BID Invest, así como otros datos públicos de BMD, obtenidos de sus sitios web (disponibles solo hasta 2021).

**Nota:** BMD: Bancos multilaterales de desarrollo; BID: Banco Interamericano de Desarrollo. Incluye tanto préstamos soberanos como préstamos con garantía no soberana.

Durante la última década, los BMD representaron, en promedio, aproximadamente el 7% de la inversión pública total en infraestructura en América Latina y el Caribe. Es decir, más de uno de cada veinte proyectos de infraestructura se desarrolla en colaboración con un BMD.

El Informe Conjunto sobre la Financiación Climática de los BMD (2024) realiza un seguimiento de la financiación utilizando principios estandarizados y metodologías acordadas para supervisar la denominada «adaptación climática» y la «financiación de la mitigación». La financiación de la mitigación se centra en proyectos destinados a reducir los gases de efecto invernadero, emisiones de gases; la financiación para la adaptación tiene por objeto reducir los riesgos y vulnerabilidades asociadas al cambio climático en la

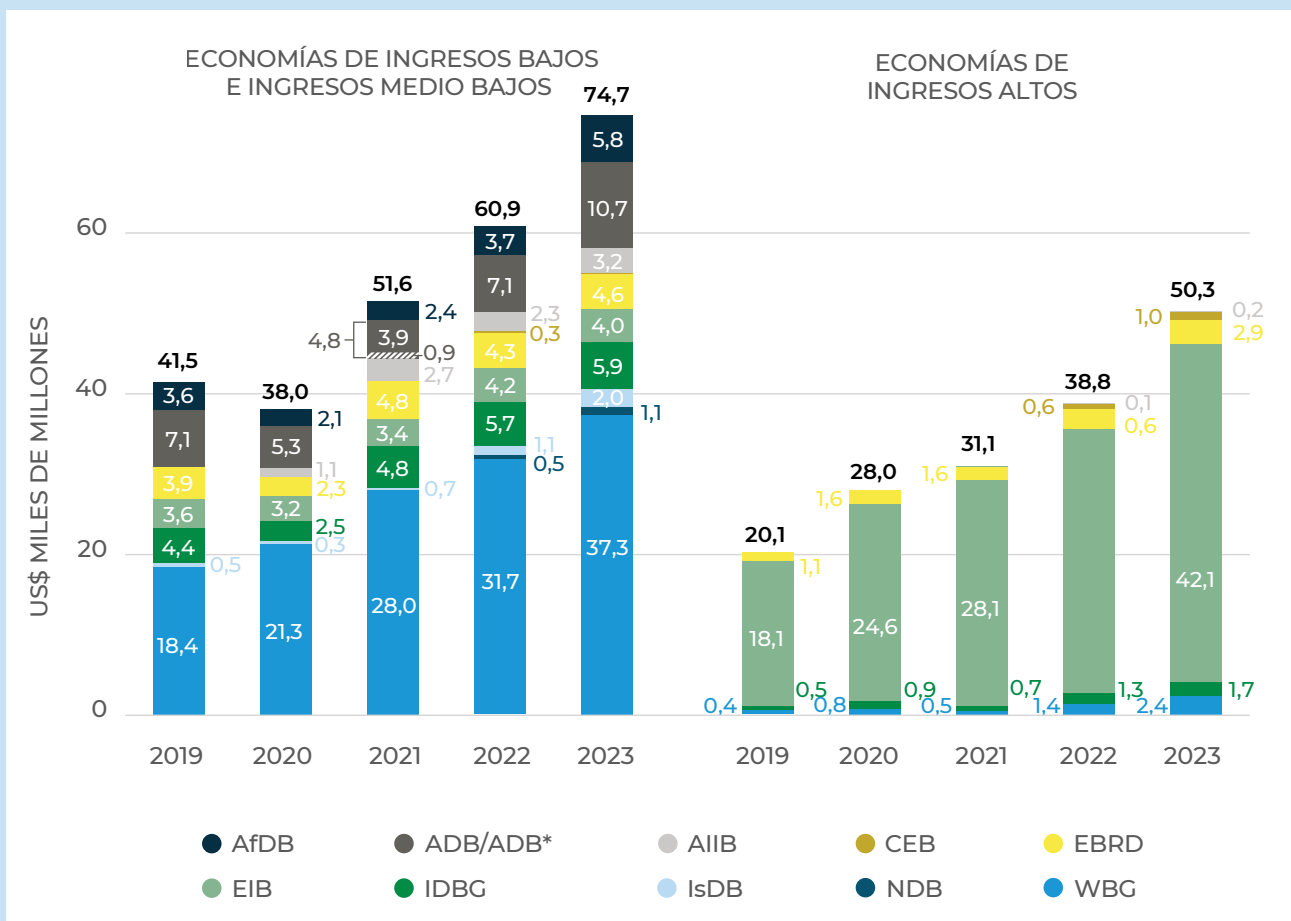
infraestructura y, por lo tanto, está estrechamente relacionada con el concepto de infraestructura resiliente. Para que un proyecto pueda optar, total o parcialmente, a la financiación para la adaptación de los BMD, debe someterse a un proceso de tres pasos:

1. Identificar el contexto del proyecto en relación con las vulnerabilidades que plantea el cambio climático.
2. Hacer una declaración explícita de la intención de abordar estas vulnerabilidades como parte del proyecto.
3. Establecer una conexión clara y directa entre las vulnerabilidades identificadas y las actividades específicas del proyecto.

El gráfico B4.2.2 muestra que los compromisos financieros relacionados con el clima de los BMD han aumentado de forma constante a lo largo de los años, especialmente en el caso de las economías de ingresos bajos y las economías de ingresos mediano-bajos. En 2023, estos compromisos alcanzaron los US\$74,4 miles de millones (frente a los US\$23,8 miles de millones en 2013), en comparación con los US\$50 mil millones destinados a las economías de ingresos altos. El Grupo del Banco Mundial lidera la lista con casi US\$40 mil millones, seguido por el Banco Asiático de Desarrollo, que ha aportado US\$10,7 miles de millones. El BID aportó US\$5,9 miles de millones a las economías de ingresos bajo y de ingresos mediano-bajos, y US\$1,7 miles de millones a las economías de ingresos altos.

**Gráfico B4.2.2.**

Compromisos financieros en materia climática de los bancos multilaterales de desarrollo



Fuente: Banco Europeo de Inversiones et al. (2024).

**Note:** AfDB = Banco Africano de Desarrollo; ADB = Banco Asiático de Desarrollo; AIIB = Banco Asiático de Inversión en Infraestructura; CEB = Banco de Desarrollo del Consejo de Europa; EBRD = Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo; EIB = Banco Europeo de Inversiones; IDBG = Grupo Banco Interamericano de Desarrollo; IsDB = Banco Islámico de Desarrollo; NDB = Nuevo Banco del Desarrollo; WB = Banco Mundial.

La metodología común de los BMD considera las siguientes actividades para la financiación de la adaptación.<sup>25</sup>

<sup>25</sup> Para más detalles, véase Banco Africano de Desarrollo et al. (2022).

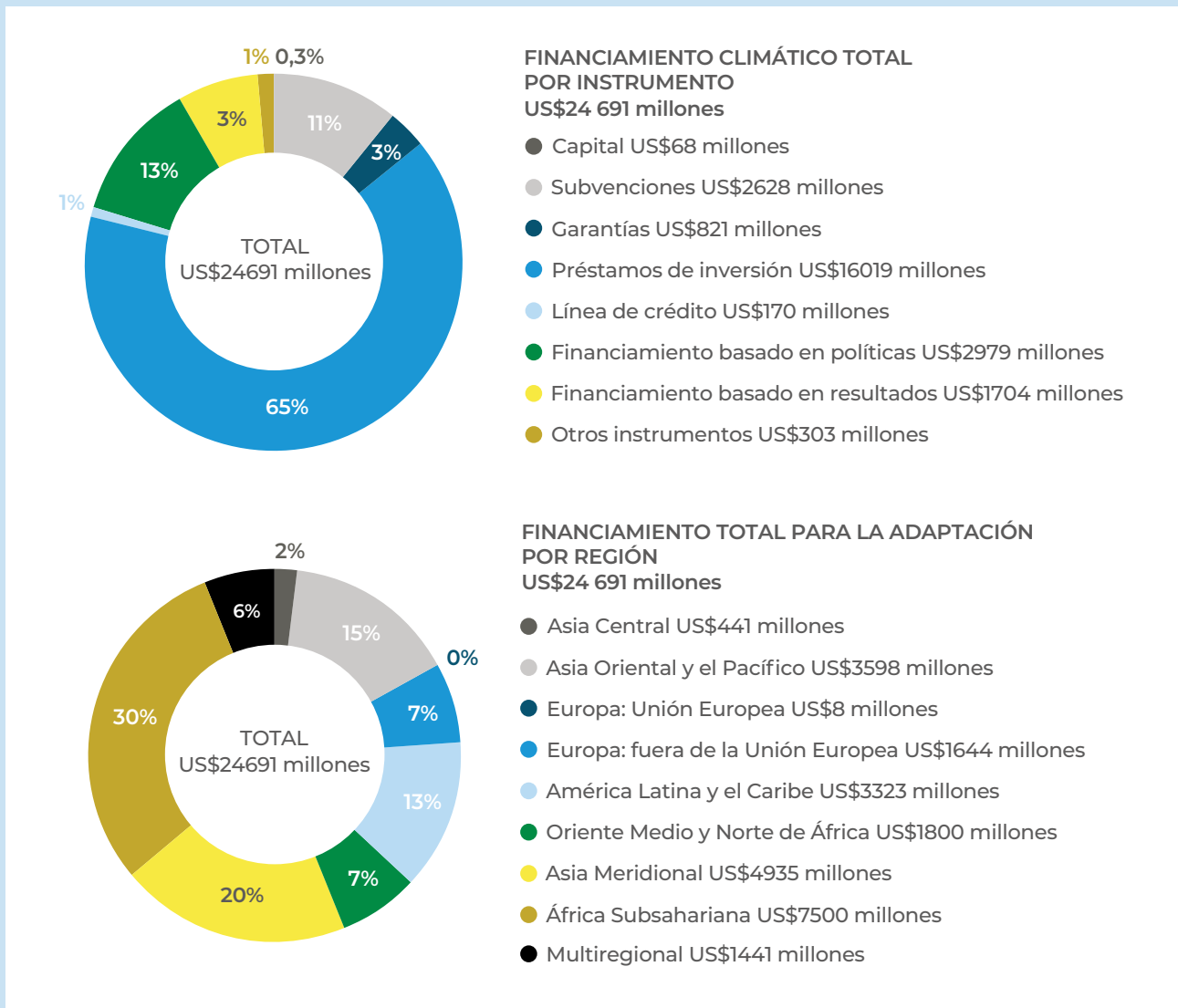
- 1. Actividades adaptadas:** Estas actividades gestionan los riesgos climáticos físicos con el objetivo de garantizar que se cumplan los objetivos del proyecto a pesar de dichos desafíos. Implican ajustes necesarios para un desempeño eficaz frente a los impactos del cambio climático, pero la adaptación no es su objetivo principal. Por ejemplo, una carretera costera en Belice se elevó y reforzó para soportar el aumento de las inundaciones y las marejadas ciclónicas debido al aumento del nivel del mar. Si bien el objetivo principal del proyecto era mejorar la conectividad del transporte, se realizaron ajustes en el diseño para garantizar que la carretera siguiera siendo operativa en las condiciones climáticas futuras.
- 2. Actividades que comparten los objetivos de adaptación y desarrollo:** Estas actividades reducen los riesgos climáticos al tiempo que mejoran la capacidad de adaptación del sistema involucrado. Esto se logra mediante la comprensión de los riesgos climáticos pertinentes e incluyen ajustes tanto para los impactos actuales, como los previstos, con la adaptación como objetivo principal. Un ejemplo es un proyecto de abastecimiento de agua en zonas rurales de Honduras que tiene como objetivo ampliar el acceso al agua potable e instalar infraestructuras resistentes a la sequía (por ejemplo, sistemas de recogida de agua de lluvia y zonas de recarga de acuíferos).
- 3. Actividades que permiten la adaptación:** Estas actividades abordan las causas fundamentales de la vulnerabilidad al cambio climático y eliminan las barreras para la adaptación. Lo anterior permite crear condiciones propicias para el desarrollo de políticas y regulaciones, el fortalecimiento de capacidades y el avance tecnológico, con la adaptación como objetivo principal. Por ejemplo, un sistema regional de información climática en los países andinos proporciona datos de alerta temprana, modelos climáticos y desarrollo de capacidades para que los gobiernos locales integren los riesgos climáticos en la planificación.

En 2023, centrándose en las economías de ingresos bajos y de ingresos medio bajos, la financiación para la adaptación representó el 33% del total de la financiación climática proporcionada por los BMD (US\$24.691 millones). Estos fondos se han distribuido principalmente

a través de préstamos de inversión (65%) y, en menor medida, a través de préstamos basados en políticas (13%) y subvenciones (11%). Aproximadamente el 13% del total de la financiación para la adaptación se destina a América Latina y el Caribe (gráfico B4.2.3).

**Gráfico B4.2.3.**

Financiación para la adaptación de los BMD en las economías de ingresos bajos y de ingresos medio bajos por región, 2023

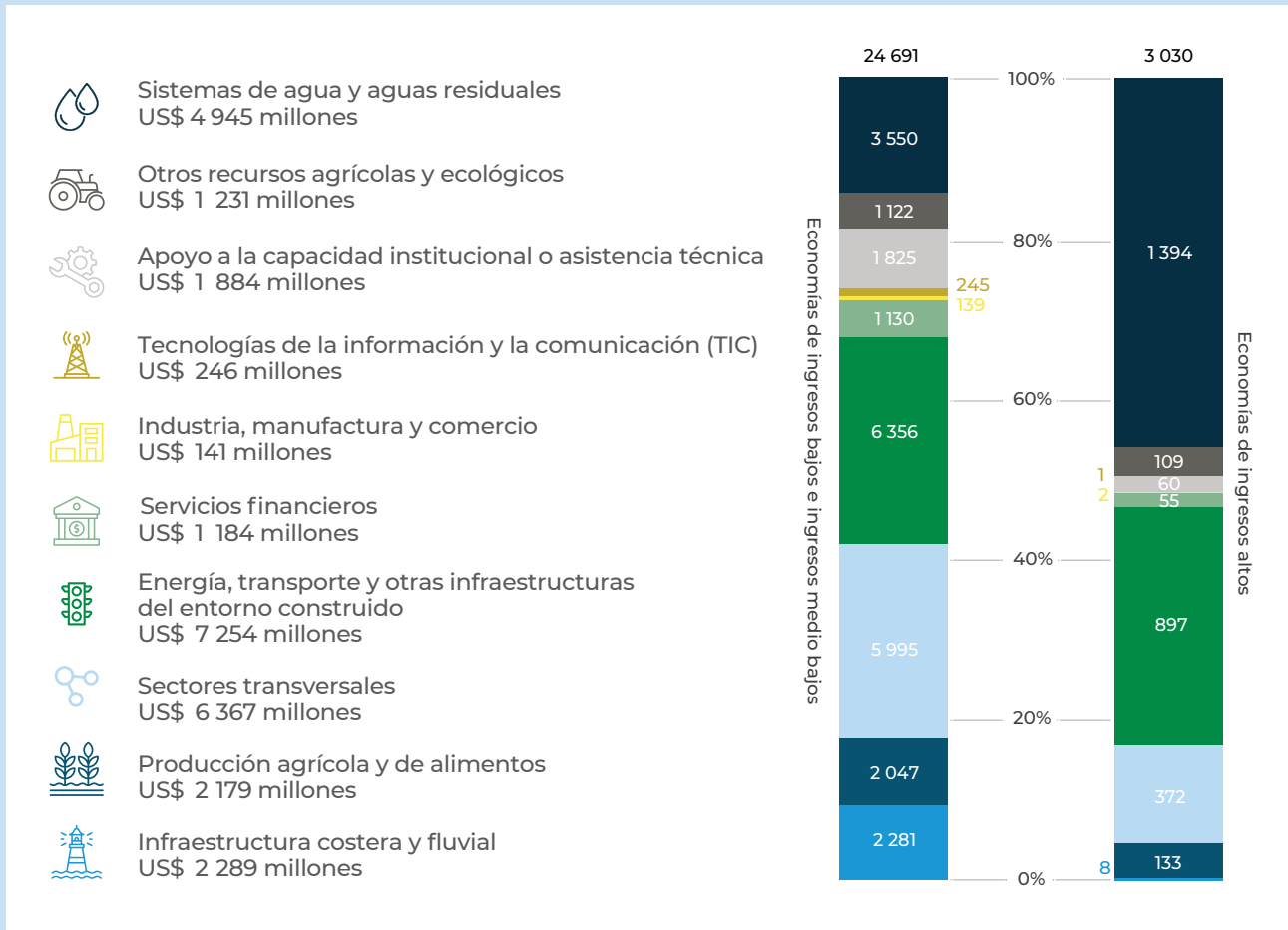


Fuente: Banco Africano de Desarrollo et al. (2024).

El documento «Common Principles for Climate Mitigation Finance Tracking» (Banco Africano de Desarrollo et al., 2023) proporciona una lista exhaustiva de actividades elegibles clasificadas por sectores. Los sectores incluidos son: energía; minería y producción de metales; manufactura; agricultura, silvicultura, uso de la tierra y pesca; suministro de agua y gestión de aguas residuales; gestión de residuos sólidos; transporte; edificios, instalaciones públicas y eficiencia energética en el uso final de la energía; tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y tecnologías digitales; investigación, desarrollo e innovación; así como actividades intersectoriales.

En 2023, los sectores que recibieron más financiación climática para la adaptación en los países de ingresos bajos y los países de ingresos medio bajos fueron la energía; el transporte y otras infraestructuras del entorno construido (25%); y los sistemas de agua y aguas residuales (14%). Seguidos por las infraestructuras costeras y fluviales (9%) y la producción agrícola y alimentaria (8,2%) (véase el gráfico B4.2.4).

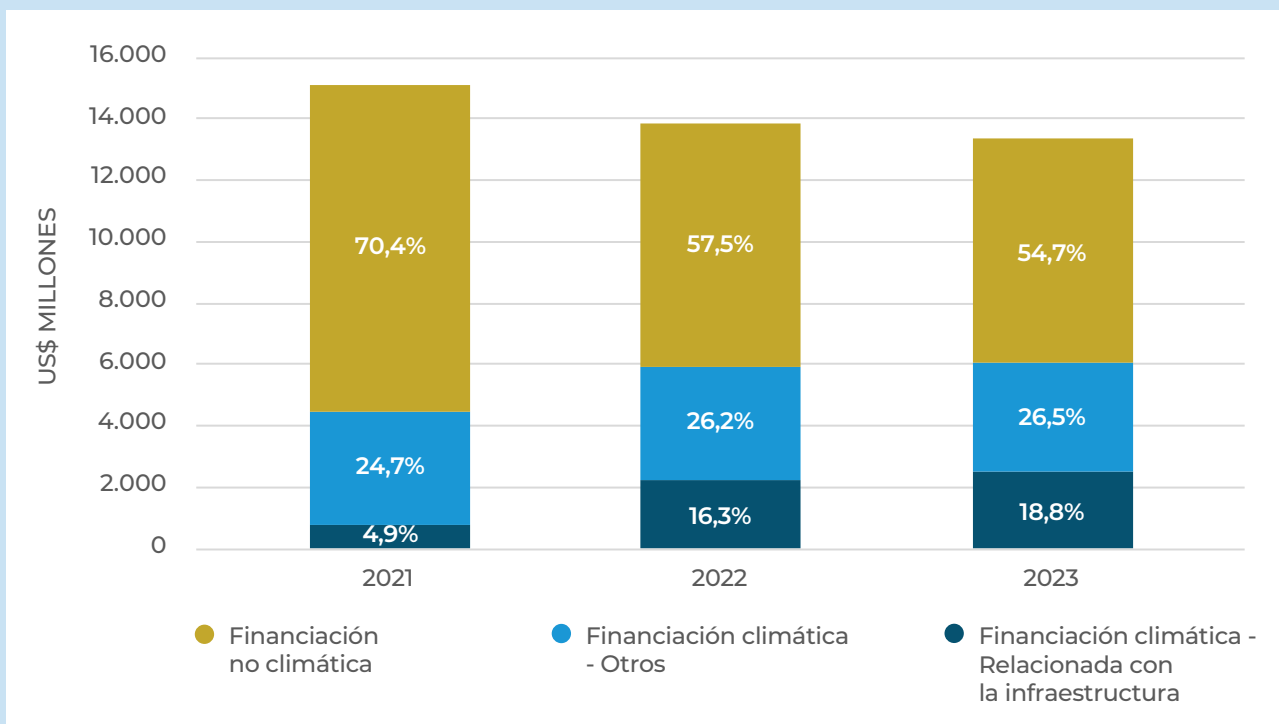
**Gráfico B4.2.4.**  
Financiación para la adaptación por sector



**Fuente:** Banco Europeo de Inversiones et al. (2024).

Los sectores de infraestructura representan uno de cada dos dólares comprometidos por los BMD en las economías de ingresos bajos y de ingresos medio bajos. Esta cifra es aún mayor si se tienen en cuenta las cuestiones transversales en las que la infraestructura desempeña un papel fundamental. Como resultado, una parte significativa de la financiación para la adaptación procedente de los BMD se destina a proyectos centrados en infraestructuras resilientes.

**Gráfico B4.2.5.**  
 Financiación climática del Banco Interamericano de Desarrollo (2021-2023), relacionada con la infraestructura



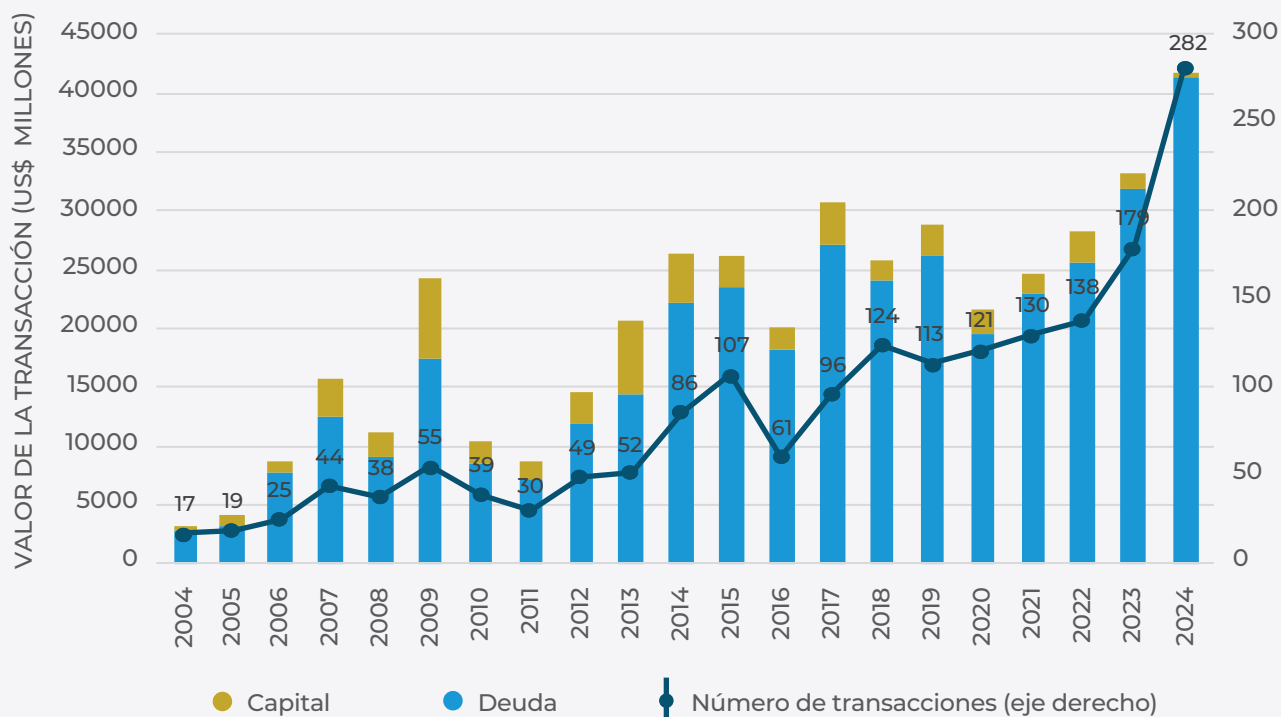
**Fuente:** Elaboración propia basada en la base de datos de financiación climática de los BMD.

En el caso del Grupo Banco Interamericano de Desarrollo, en 2023, la financiación climática representó casi la mitad de la financiación total (véase el gráfico B4.2.5). De esta cantidad, la financiación climática relacionada con las infraestructuras representó el 40%, una proporción que ha ido aumentando con el tiempo, lo que implica que la financiación para la inversión en infraestructura resiliente está aumentando.

A pesar del aumento de la proporción de la inversión en infraestructura resiliente, la inversión total no es suficiente para cerrar las brechas existentes. Satisfacer las necesidades de una mayor inversión está más allá de lo que los sectores públicos de la región pueden permitirse por sí solos (véase Cavallo, Powell y Serebrisky, 2020). En consecuencia,

los gobiernos de toda la región han tratado de atraer la participación privada en la inversión en infraestructura. En otras palabras, existe un creciente interés por atraer la inversión privada para incrementar la inversión en infraestructura.

**Gráfico 4.2.**  
Inversión privada en infraestructura pública



**Fuente:** Elaboración propia a partir de la base de datos de IJGlobal (2025).

**Nota:** El gráfico muestra la inversión privada total en el año del cierre financiero, que puede diferir del momento en que se desembolsan los fondos o se ejecuta el proyecto.

El sector privado desempeña un papel importante en la inversión en infraestructura de América Latina y el Caribe. De hecho, la región es líder mundial en la participación privada en la financiación de infraestructura pública, con casi US\$800 mil millones invertidos desde 1990 (Banco Mundial, 2025). En comparación con otras regiones, la participación privada en infraestructura es un 25% mayor que en las economías de Asia Oriental y el Pacífico, y casi 10 veces mayor que en África Subsahariana durante el mismo período. Sin embargo, en relación con el PIB, esta inversión representa

solo aproximadamente el 0,6% del PIB regional,<sup>26</sup> mientras que, como se mencionó anteriormente, la inversión pública es el 1,7% del PIB.

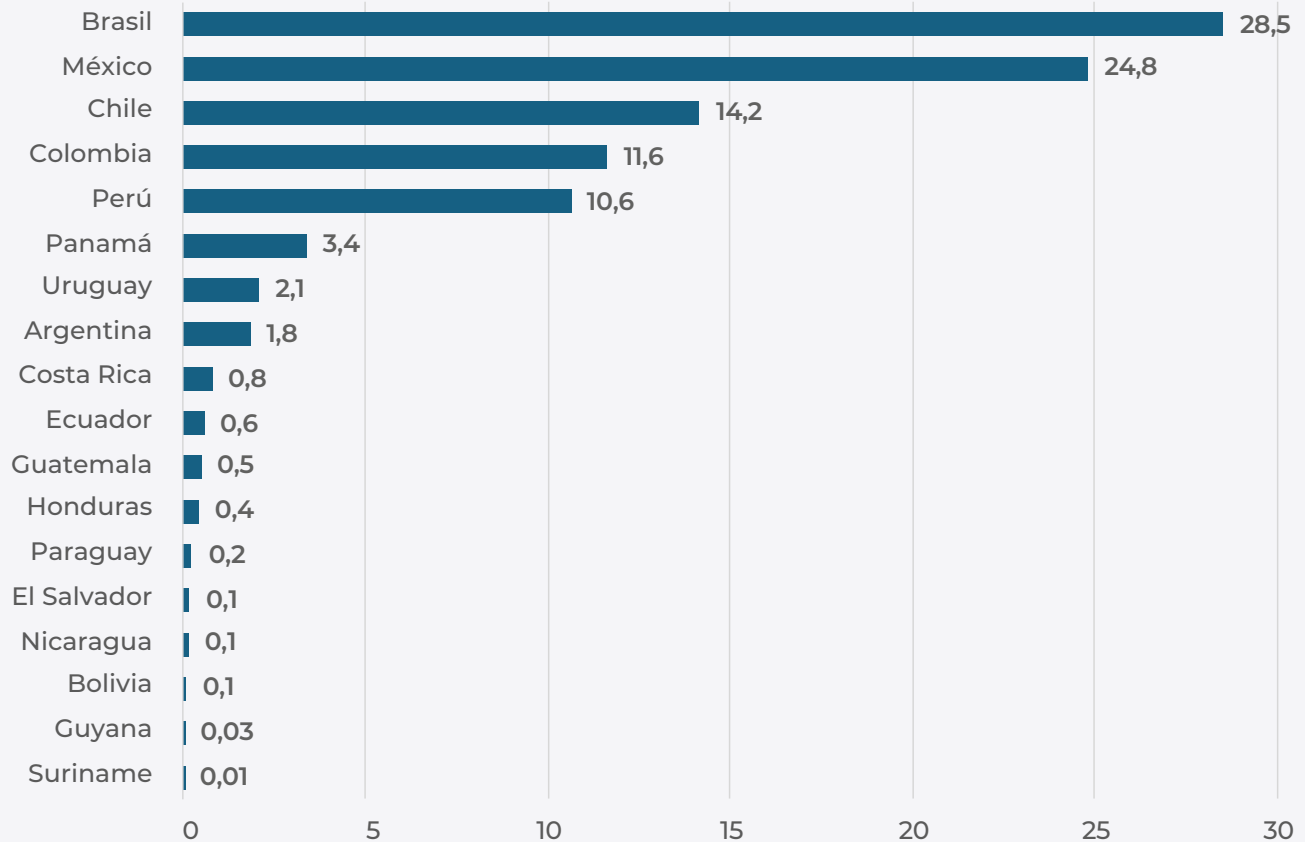
No obstante, si bien los niveles son bajos, la inversión privada en infraestructura ha mostrado una tendencia al alza desde principios de la década de 2000 (véase el gráfico 4.2). Desde entonces, el mercado ha crecido y se ha diversificado hacia nuevos sectores y países, lo que ha mejorado su entorno para atraer la participación privada en la inversión en infraestructura. Cabe destacar que, durante este período, el número total de proyectos públicos con participación privada en sectores como el transporte, la energía, el agua, el saneamiento y las telecomunicaciones se ha multiplicado por seis.

---

**26** Existen diversas fuentes que realizan un seguimiento de la participación privada en la inversión en infraestructuras; las más comunes son la Base de datos de la Iniciativa de Participación Privada del Banco Mundial e IJGlobal. Estas bases de datos difieren en cuanto a especificaciones y cobertura, pero registran las inversiones en función del año de cierre financiero. Comprender la inversión anual real del sector privado es complejo debido a las particularidades de los contratos. Por ejemplo, el 0,6% del PIB regional representa el gasto total de capital de los proyectos que alcanzaron el cierre financiero entre 1990 y 2025, incluso si algunas inversiones se producen más tarde. Para obtener más información, véase <https://ppi.worldbank.org/en/ppi>.

**Gráfico 4.3.**

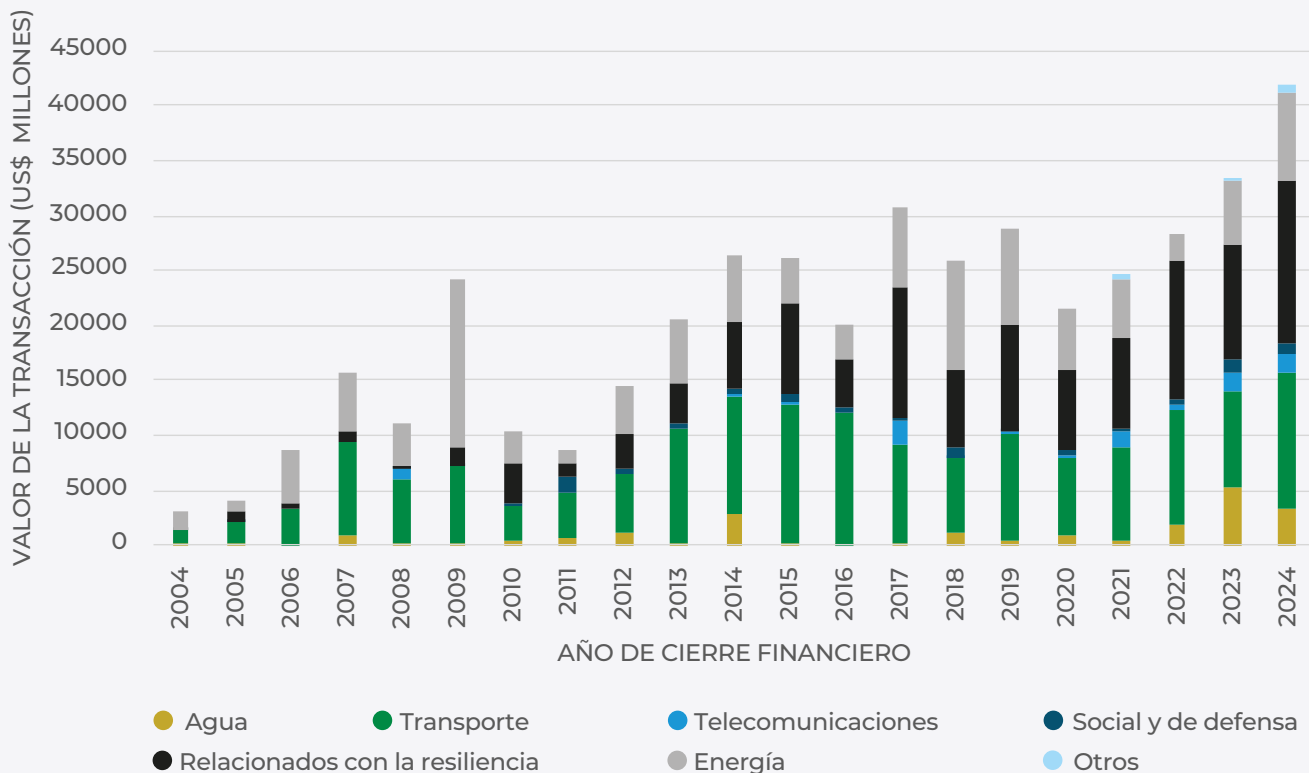
Inversión privada en infraestructura pública por país (porcentaje del total)



**Fuente:** Elaboración propia a partir de la base de datos de IJGlobal (2025).

Aunque las cifras agregadas muestran un aumento, la inversión privada en infraestructura se ha concentrado en unos pocos países, siendo Brasil (28,5%), México (24,8%), Chile (14,2%), Colombia (11,6%) y Perú (10,6%) los que representan casi el 90% del total (véase el gráfico 4.3). Sin embargo, otros países están entrando lentamente en la escena (véase Álvarez Pagliuca et al., 2022). Entre los avances más destacados se encuentran Panamá, que aumentó su participación del 2,8% en 2022 al 3,4% en 2025, y Ecuador, que ahora representa el 0,6% de la inversión privada total en la región. Además, la inversión se distribuye entre una mayor variedad de sectores, con proyectos de agua, saneamiento e infraestructura social que representan cerca del 9% de la inversión privada total en infraestructura (véase el gráfico 4.4).

**Gráfico 4.4.**  
Inversión privada en infraestructura pública por sector



**Fuente:** Elaboración propia a partir de la base de datos de IJGlobal (2025).

**Nota:** El gráfico muestra la inversión privada total en el año del cierre financiero, que puede diferir del momento en que se desembolsan los fondos o se ejecuta el proyecto.

¿Qué parte de estas inversiones puede vincularse con infraestructura resiliente? Siguiendo una taxonomía similar a la de la literatura sobre financiación climática (véase el recuadro 4.2), los proyectos pueden dividirse en aquellos que son «intrínsecamente resilientes», ya que contribuyen a la mejora general de la resiliencia del sector, y en los «tradicionales» que se están adaptando, como la modernización (o rehabilitación) de una estructura existente. Además, algunos proyectos incluyen componentes específicos para mejorar la resiliencia de los servicios de infraestructura. Un análisis de un conjunto de datos de alrededor de 2600 transacciones de proyectos de infraestructura en América Latina y el Caribe identificó todos los proyectos que mencionan específicamente la «resiliencia» en su

alcance,<sup>27</sup> así como aquellos que tienen como objetivo mejorar la resiliencia de sus sectores respectivos, por ejemplo, iniciativas de energía renovable que diversifican las matrices de generación de electricidad de los países. Este análisis es un indicador aproximado de cuánto está invirtiendo el sector privado en infraestructura relacionada con la resiliencia. El gráfico 4.4 muestra que la inversión privada total en infraestructura resiliente ha aumentado de US\$2.889 millones entre 2004 y 2008 a US\$53.507 millones entre 2020 y 2024. Esto implica que el porcentaje de proyectos de infraestructura relacionados con la resiliencia ha aumentado del 2,1% en 2004 al 35% de la inversión privada total en infraestructura en 2024.

La conclusión es que, en un contexto general de baja inversión pública y privada en infraestructura, la inversión en infraestructura resiliente está ganando terreno. El reto para la región es aumentar las inversiones para cerrar las brechas existentes. Para ello será necesario utilizar y ampliar el conjunto de herramientas para la financiación de infraestructura resiliente.

## Un conjunto de herramientas para el financiamiento de infraestructuras resilientes

La financiación de inversiones en infraestructura resiliente se enmarca en el ámbito de las «finanzas sostenibles», es decir, los recursos provenientes de diversas fuentes destinados a apoyar inversiones que generan resultados sociales y/o medioambientales positivos.<sup>28</sup> Tradicionalmente, este concepto ha abarcado proyectos «verdes» y/o «socialmente responsables». Los principales instrumentos de las finanzas sostenibles son los bonos, los préstamos de todo tipo y la financiación mixta (pública y privada) (gráfico 4.5).

---

<sup>27</sup> Se han identificado todas las referencias a la resiliencia, sostenibilidad, cambio climático, adaptación e infraestructura verde en los títulos y descripciones de las transacciones financieras correspondientes a los proyectos de infraestructura registradas en la base de datos IJGlobal desde 2004 hasta la actualidad.

<sup>28</sup> Esta subsección ha sido adaptada de Arciniegas et al. (de próxima publicación).

**Gráfico 4.5.**

Marco conceptual para instrumentos de financiación de infraestructuras resilientes



Fuente: Elaboración propia.

Los préstamos sostenibles abarcan todo tipo de instrumentos de préstamo y facilidades de financiación contingente, incluidas líneas de crédito, garantías y cartas de crédito, diseñados para incentivar a los prestatarios a alcanzar objetivos de sostenibilidad.<sup>29</sup> La financiación mixta se refiere al uso estratégico de financiación concesional<sup>30</sup> en proyectos cuyos riesgos, reales

<sup>29</sup> De acuerdo con los Principios de Préstamos Vinculados a la Sostenibilidad (SLLP) de la ICMA, el rendimiento del prestatario se evalúa utilizando objetivos de rendimiento desempeño en materia de sostenibilidad (SPT), que incluyen indicadores clave de rendimiento desempeño (KPI). Al vincular las condiciones del préstamo a los resultados de sostenibilidad, se incentiva a los prestatarios a mejorar su perfil de sostenibilidad a lo largo de la duración del préstamo. En lugar de dictar cómo deben utilizarse los fondos, estos préstamos tienen por objeto mejorar el perfil de sostenibilidad del prestatario alineando las condiciones del préstamo con su rendimiento desempeño en relación con los SPT establecidos. Ejemplos de préstamos sostenibles son, entre otros, los diseñados para mejorar la calificación de eficiencia energética de los edificios y la maquinaria que el prestatario posee o alquila, así como los que promueven iniciativas de conservación del agua emprendidas por el prestatario. Para un análisis más detallado, véase Arciniegas et al. (de próxima publicación).

<sup>30</sup> El financiamiento concesional se refiere a mecanismos o instrumentos financieros que ofrecen términos y condiciones más favorables que los que suelen estar disponibles en el mercado, como tasas de interés más bajas en comparación con las tasas comerciales. No representa un solo tipo de financiamiento, sino que abarca una variedad de mecanismos y productos que brindan beneficios, entre ellos tasas de interés más bajas, períodos de amortización más largos y estructuras de pago flexibles. A menudo, estas condiciones no son aceptables para las instituciones financieras comerciales. Al facilitar el acceso a la financiación, la financiación concesional contribuye a reducir los riesgos percibidos de un proyecto, lo que lo hace más atractivo para los prestamistas comerciales (Arciniegas et al., de próxima publicación).

o percibidos, son demasiado elevados para la financiación comercial por sí sola (BID Invest, 2025). Este enfoque se basa en el uso complementario de subvenciones, instrumentos concesionales y financiación reembolsable proveniente de fuentes públicas y privadas, con el fin de mejorar la viabilidad y la sostenibilidad financiera de proyectos que contribuyan al desarrollo sostenible.<sup>31</sup>

Los bonos de infraestructura sostenible son instrumentos financieros cuyos ingresos netos financian o refinancian exclusivamente proyectos de infraestructura elegibles, que, a su vez, se clasifican como bonos verdes, sociales o sostenibles. Los bonos vinculados a la sostenibilidad son instrumentos cuyas características dependen de si el prestatario o el emisor cumple los objetivos y las metas predefinidos vinculados a indicadores clave de desempeño. El recuadro 4.3 presenta una clasificación de los distintos tipos de bonos sostenibles.

### RECUADRO 4.3. Aprendiendo el lenguaje de los bonos sostenibles

#### Bonos de infraestructura verde

Los bonos verdes son ampliamente reconocidos como uno de los principales instrumentos de financiación usados para promover los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y se utilizan para proyectos elegibles que proporcionan importantes beneficios medioambientales. Estos beneficios son evaluados y, cuando es posible, cuantificados por el emisor.

<sup>31</sup> <https://worldbank.org/en/news/feature/2021/09/16/what-you-need-to-know-about-concessional-finance-for-climate-action>  
<https://idbinvest.org/es/publicaciones/instituciones-de-desarrollo-financiero-confeccionan-reporte-sobre-la-financiacion>  
<https://www.caf.com/media/3382110/drfi-financiamiento-mixto.pdf>

Los Principios de los Bonos Verdes (GBP) describen varias categorías generales de proyectos que pueden optar a la financiación mediante bonos verdes, centrándose en objetivos medioambientales. Estas categorías incluyen la mitigación del cambio climático, la adaptación al cambio climático, la conservación de los recursos naturales, la conservación de la biodiversidad y el control y la prevención de la contaminación.<sup>32</sup> Además, según la Asociación Internacional de Mercados de Capitales (ICMA), los Bonos Azules también se clasifican como bonos verdes porque hacen hincapié en el uso sostenible de los recursos marítimos, siempre que se ajusten a los principios clave de la GBP.

El anexo 4.1 presenta una lista indicativa de categorías de proyectos que incluyen los tipos de proyectos que suelen recibir más apoyo del mercado de bonos verdes. Los proyectos pueden ajustarse a varias categorías u objetivos medioambientales. La definición de lo que se considera un proyecto verde varía según el sector y la zona geográfica. Diversas taxonomías, nomenclaturas e iniciativas, tanto a nivel mundial como nacional, ofrecen más orientación a los emisores de bonos verdes sobre lo que los inversores consideran verde y elegible. En América Latina y el Caribe, estas taxonomías aún se encuentran en diferentes etapas de desarrollo.

### **Bonos de infraestructura social**

Los bonos sociales, similares en estructura a los bonos verdes, tienen como objetivo abordar y aliviar directamente problemas sociales específicos, al tiempo que promueven resultados sociales positivos, en particular para las poblaciones destinatarias. Un problema social es aquel que amenaza o perjudica el bienestar de la sociedad o de un grupo específico. Entre los ejemplos de poblaciones destinatarias se incluyen, entre otros: personas que viven por debajo de la línea de la pobreza, comunidades marginadas, personas con discapacidad, migrantes y desplazados, personas con bajos niveles de educación, desempleados, mujeres y minorías sexuales o de género, poblaciones envejecidas y jóvenes vulnerables. La Asociación Internacional del Mercado de Capitales (ICMA) reconoce que la definición de poblaciones objetivo varía en

---

<sup>32</sup> <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/Translations/2021/Spanish-GBP-2021.pdf?vid=2>.

función del contexto local. En algunos casos, atender las necesidades del público en general también puede servir a estas poblaciones específicas.<sup>33</sup>

Según los Principios de los Bonos Sociales (SBP), el aspecto clave de un bono social es la asignación de los fondos del bono a proyectos sociales elegibles que aporten beneficios sociales claros. Estos beneficios serán evaluados y, cuando sea posible, cuantificados por el emisor. El anexo 4.2 ofrece una lista indicativa de categorías de proyectos, en la que se destacan los tipos de proyectos que suele apoyar el mercado de bonos sociales.<sup>34</sup>

Recientemente, los bonos sostenibles (verdes y sociales) en general han surgido como una nueva categoría de instrumentos financieros. Estos bonos están diseñados específicamente para que los ingresos netos se utilicen exclusivamente para financiar o refinanciar proyectos elegibles, ya sea parcial o totalmente, que abarquen tanto proyectos verdes como sociales que proporcionen beneficios ambientales y sociales. El emisor de estos bonos debe clasificar cómo se utilizarán los fondos en función de los objetivos principales de los proyectos. Al igual que los bonos verdes y sociales, el aspecto clave de los bonos sostenibles es que los ingresos se asignan a proyectos elegibles.

### Bonos de infraestructura vinculados a la sostenibilidad

Los bonos vinculados a la sostenibilidad son un tipo de bonos cuyas características financieras y/o estructurales cambian en función de si el emisor cumple con objetivos de sostenibilidad (ESG) específicos y predeterminados. Los emisores se comprometen explícitamente a mejorar su desempeño en materia de sostenibilidad en un plazo determinado, lo que se documenta en el contrato del bono. Por lo tanto, los bonos vinculados a la sostenibilidad se basan en el desempeño del proyecto.

Los objetivos de sostenibilidad se evalúan utilizando indicadores clave de desempeño (KPI) y se comparan con los objetivos de desempeño

---

<sup>33</sup> <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/Translations/2021/Spanish-SBP-2021.pdf?vid=2>.

<sup>34</sup> <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/Translations/2021/Spanish-SBP-2021.pdf?vid=2>.

de sostenibilidad (SPT). A diferencia de los bonos sostenibles, que exigen la divulgación del uso que se dará a los fondos, los fondos recaudados mediante bonos vinculados a la sostenibilidad pueden utilizarse para fines corporativos generales. Por lo tanto, el uso específico de los fondos no influye en su clasificación.<sup>35</sup> Los Principios de los Bonos Vinculados a la Sostenibilidad (SLBP) recomiendan que los emisores comuniquen explícitamente los motivos que les han llevado a seleccionar los indicadores clave de desempeño (KPI), las razones de sus objetivos de desempeño en materia de sostenibilidad (SPT), cualquier posible cambio en las características financieras y/o estructurales del bono y los factores que pueden dar lugar a estas variaciones. Además, los emisores deben comprometerse a presentar informes posteriores a la emisión y a someterse a una verificación independiente, así como a proporcionar una visión general de su alineación con los SLBP.<sup>36</sup>

## La evolución de los bonos sostenibles en América Latina y el Caribe

Los bonos sostenibles presentan una gran heterogeneidad en cuanto a sus usos finales, los tipos de emisores y los montos de emisión. Como resultado, las estructuras de emisión de bonos varían mucho de un país a otro. Una de las características más atractivas de estos bonos es la garantía que ofrecen a los inversores de que su capital financiará iniciativas específicas. En esta sección se presenta la evolución de la adopción de los bonos sostenibles en la región como método de financiación, junto con estadísticas descriptivas que evidencian la diversidad del panorama regional.

El gráfico 4.6 ilustra el crecimiento de los bonos verdes, sociales, sostenibles y vinculados a la sostenibilidad (GSS+) en América Latina y el Caribe entre 2014 y 2022. El eje izquierdo muestra el volumen de los diferentes tipos de bonos sostenibles, mientras que el eje derecho muestra los bonos internacionales GSS+ como porcentaje del total de la emisión de bonos

<sup>35</sup> <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/Translations/2020/Spanish-SLBP2020-06-280920.pdf>

<sup>36</sup> <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/Translations/2020/Spanish-SLBP2020-06-280920.pdf>

internacionales.<sup>37</sup> La emisión de bonos GSS+ ha aumentado, especialmente después de 2019.

Además, la línea que muestra el porcentaje de bonos internacionales GSS+ respecto de la emisión total de bonos internacionales muestra una tendencia al alza. Esto indica que los bonos GSS+ han continuado ganando cuota de mercado en el mercado global de bonos, alcanzando aproximadamente el 40% en 2022, una transformación notable desde un nivel casi cero entre 2014 y 2018.<sup>38</sup>

La composición de los bonos GSS+ también ha evolucionado. Inicialmente predominaban los bonos verdes, pero poco a poco se fueron complementando con bonos sociales, bonos de sostenibilidad y bonos vinculados a la sostenibilidad (BVS) (véase el gráfico 4.6).

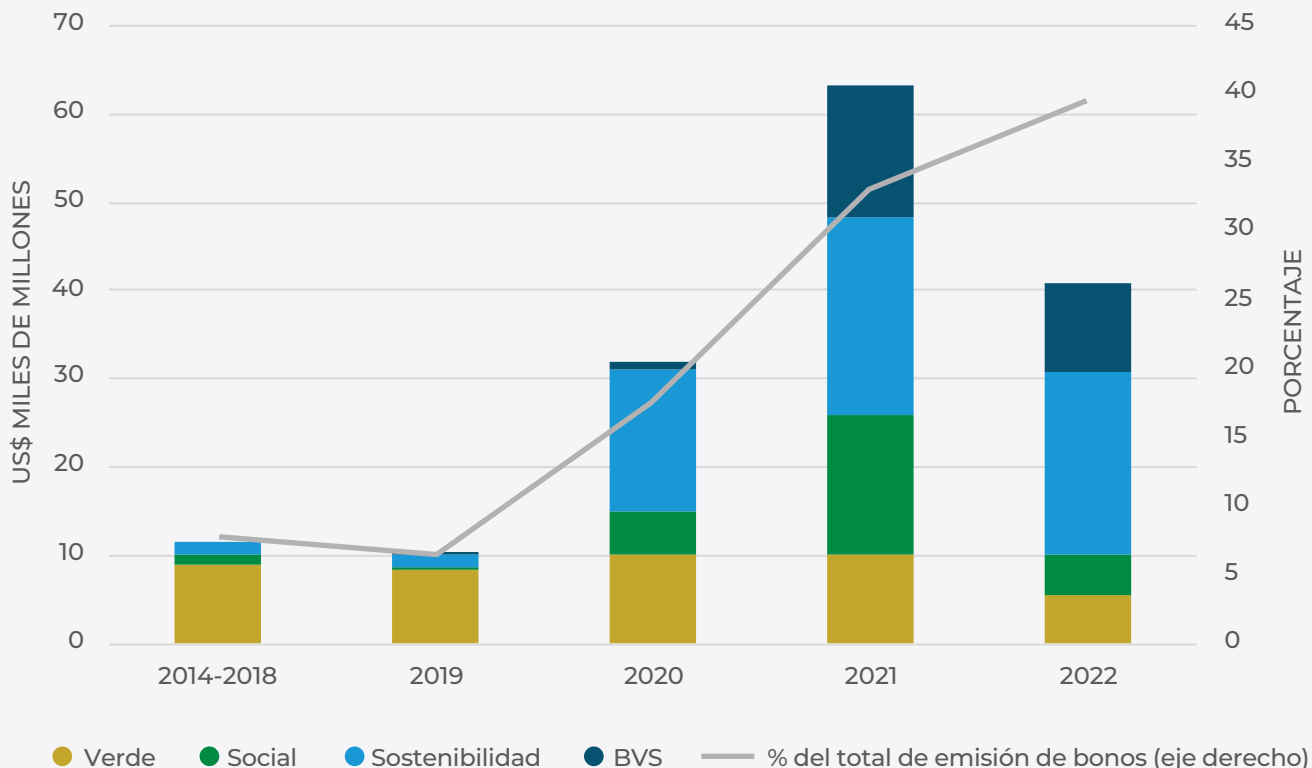
---

**37** En lugar de utilizar la relación entre el total de bonos GSS+ y el total de bonos emitidos, se calculó la misma relación, pero para los bonos emitidos en moneda internacional. Si bien en este trabajo, gracias a la información disponible en la Iniciativa de Bonos Climáticos, hay información sobre el total de bonos GSS+ emitidos por país, no hay información sobre el total de bonos (en moneda local e internacional) emitidos en América Latina y el Caribe.

**38** No obstante, esta tendencia no indica necesariamente que antes no existieran inversiones sostenibles. Esto se debe a que la etiqueta formal de bonos GSS+ marcó un punto de inflexión en la forma de identificar y realizar un seguimiento de estas inversiones, lo que significa que muchas inversiones que podrían haber sido consideradas como GSS+ simplemente no se clasificaban como tales anteriormente.

**Gráfico 4.6.**

Monto total (US\$ miles de millones) de bonos GSS+ por tipo y año en América Latina y el Caribe

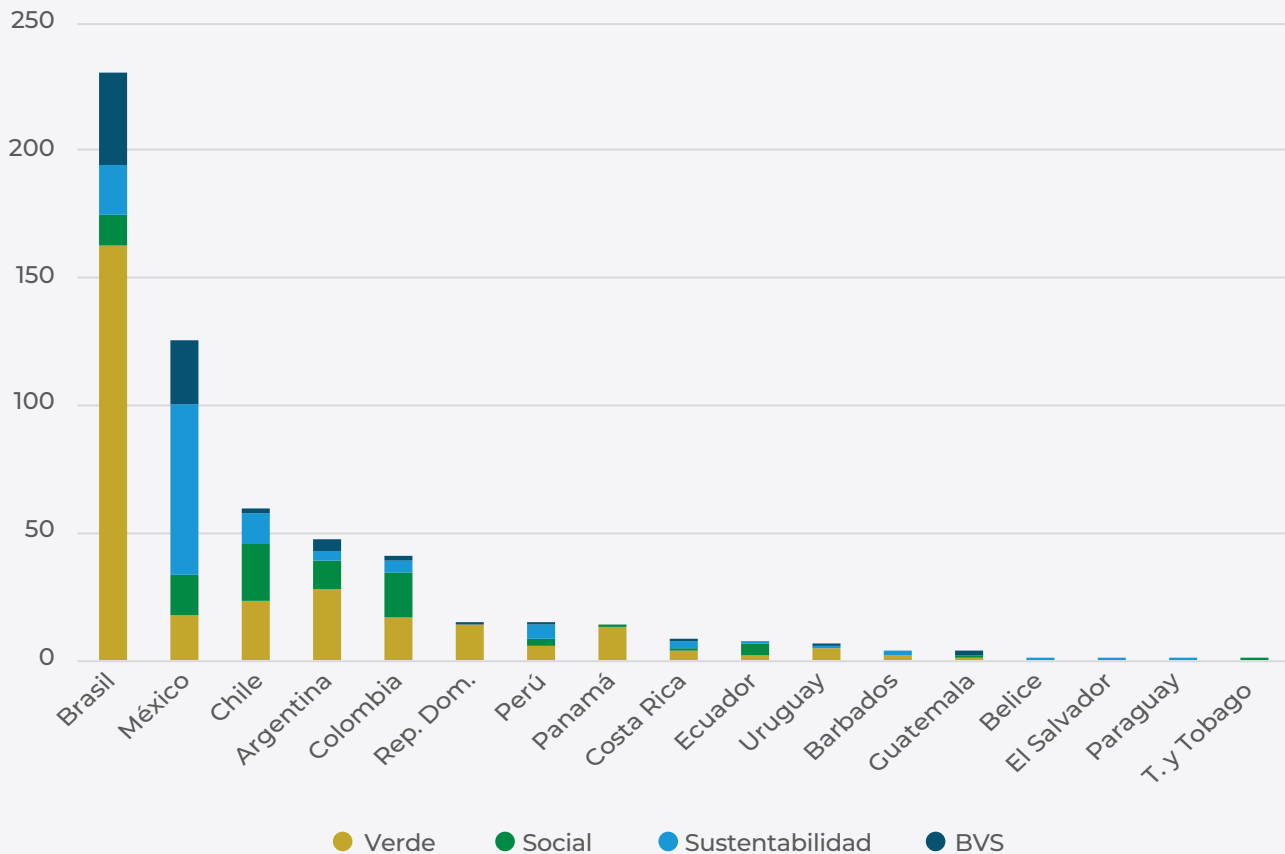


**Fuente:** Elaboración propia basada en Dagnino Contreras et al. (2023) y Velloso y Perrotti (2023).

**Nota:** BVS: Bonos vinculados a la sostenibilidad.

En términos de número de bonos por país, Brasil lidera con aproximadamente 230 bonos GSS+ emitidos, claramente impulsados por los bonos verdes, seguidos de los bonos vinculados a la sostenibilidad (véase el gráfico 4.7). México le sigue con alrededor de 125 bonos, con una clara mayoría de bonos sostenibles y una distribución equilibrada entre bonos verdes, sociales y vinculados a la sostenibilidad. El gráfico también muestra una clara jerarquía entre las economías más grandes (Brasil, México, Chile, Argentina, Colombia), que han emitido un número significativamente mayor de bonos que las economías más pequeñas. Los bonos verdes son el tipo de instrumento financiero sostenible más común en casi todos los países, en consonancia con su temprana adopción en la región.

**Gráfico 4.7.**  
Número de bonos GSS+ emitidos en la región por país y tipo (2014-2022)



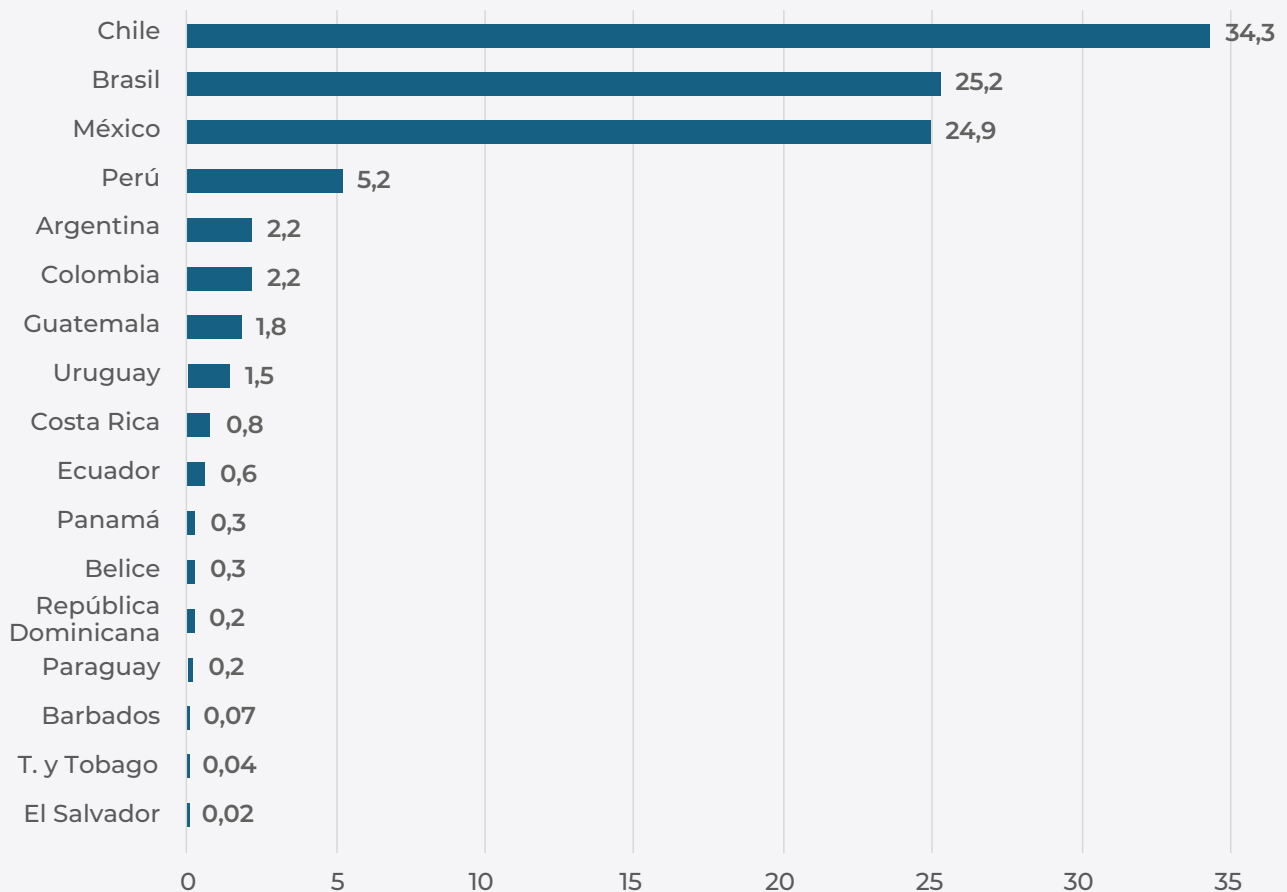
**Fuente:** Elaboración propia basada en Dagnino Contreras et al. (2023).

**Nota:** BVS: Bonos vinculados a la sostenibilidad.

En términos del valor en US\$ de las emisiones, los bonos GSS+ emitidos en América Latina y el Caribe entre 2014 y 2022 alcanzaron un monto total de US\$125,5 mil millones, excluyendo los bonos supranacionales. El gráfico 4.8 muestra la distribución por países. Chile lidera con el 34,3% del monto total (aproximadamente US\$43 mil millones), seguido de Brasil con el 25,2% (US\$31,6 mil millones), México con el 24,9% (US\$31,3 mil millones) y Perú con el 5,2% (US\$6,5 mil millones). Otros países con porcentajes menores son Argentina y Colombia (ambos con un 2,2%, o alrededor de US\$2,8 mil millones cada uno), Guatemala (1,8%, aproximadamente US\$2,3 mil millones) y Uruguay (1,5%, alrededor de US\$1,9 mil millones).

**Gráfico 4.8.**

Participación de bonos GSS+ en la región por país, 2014-2022 (porcentaje del total)



**Fuente:** Elaboración propia basada en Dagnino Contreras et al. (2023).

La distribución de los valores de los bonos GSS+ revela una discrepancia significativa entre la frecuencia de emisión y el valor monetario en la región. Chile ejemplifica este patrón de manera clara, ya que, si bien emite menos bonos que Brasil y México (como se muestra en el gráfico 4.7), representa la mayor parte (34,3%) del valor total emitido. Por lo tanto, los bonos GSS+ chilenos tienen un valor promedio de emisión mayor que el de los de Brasil, México y, presumiblemente, de otros países de la región. Esta disparidad demuestra que el número de bonos emitidos no se correlaciona necesariamente con su magnitud financiera en el mercado regional de bonos GSS+, lo que pone de relieve la importancia de analizar ambos

parámetros—el número de emisiones y el valor monetario de la emisión—a la hora de evaluar la participación de un país en el mercado de las finanzas sostenibles.

La distribución proporcional del valor de emisión de bonos GSS+ varía significativamente según el tipo de emisor en los distintos países de la región, lo que revela una gran heterogeneidad en la composición institucional de los emisores de bonos (véase el anexo 4.3 para obtener una lista de emisores de bonos). Los emisores soberanos dominan el mercado en Barbados, Belice, Chile, Ecuador, Perú y Uruguay y representan más del 50% del valor total de las emisiones en estos países (véase la figura 4.9). Por el contrario, las empresas financieras lideran el mercado en El Salvador, Paraguay y Trinidad y Tobago. Por su parte, las empresas no financieras tienen una cuota significativa en Argentina, Brasil, República Dominicana, Guatemala, México y Panamá. Las entidades respaldadas por el Gobierno desempeñan un papel especialmente importante en Costa Rica y tienen cierta presencia en México, mientras que los bancos de desarrollo están activos en Colombia y México, pero emiten principalmente bonos supranacionales.<sup>39</sup>

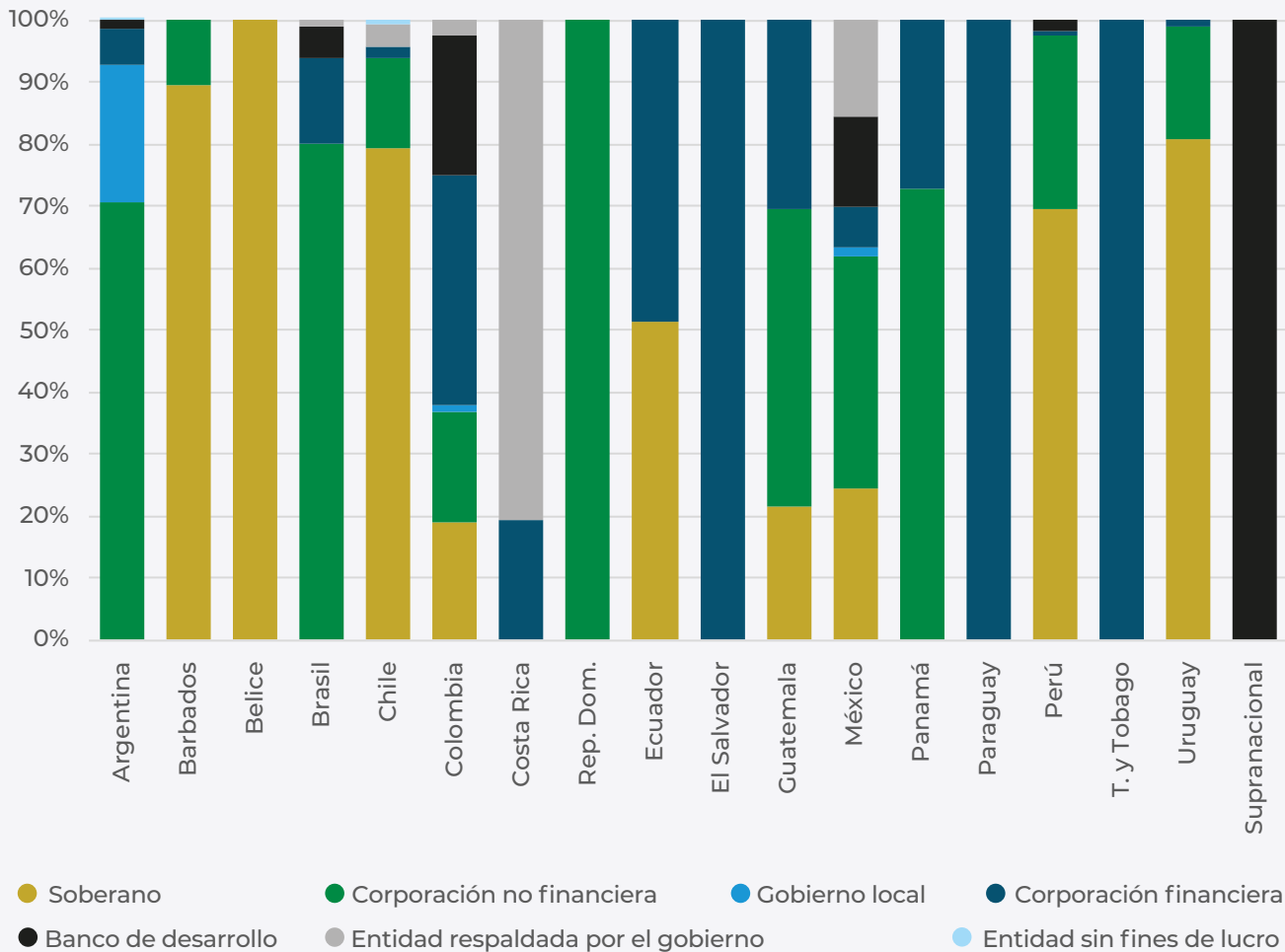
Comparar estos resultados con las cifras anteriores, ayuda a explicar por qué Chile concentra la mayor parte del valor total de los bonos GSS+ en la región (34,3%), a pesar de emitir menos bonos que Brasil. Esto se debe a que el mercado chileno está muy orientado hacia las emisiones soberanas, que suelen involucrar bonos de mayor valor. Se observa un patrón similar en Perú y Uruguay; aunque estos países ocupan el sexto y el undécimo lugar, respectivamente, en cuanto al número de bonos emitidos, ocupan el cuarto y el octavo lugar en cuanto al valor total de los bonos, probablemente debido a su mayor proporción de bonos soberanos.

---

**39** Las entidades supranacionales son organizaciones que trascienden las fronteras nacionales, facilitando la cooperación y la toma de decisiones entre los países miembros. Entre ellas se incluyen los bancos regionales de desarrollo, las agencias internacionales y otras instituciones similares.

**Gráfico 4.9.**

Distribución del valor de la emisión de bonos GSS+ por tipo de emisor y país (2014-2022)



Fuente: Elaboración propia basada en Dagnino Contreras et al. (2023).

### ¿Qué financian realmente estos bonos?

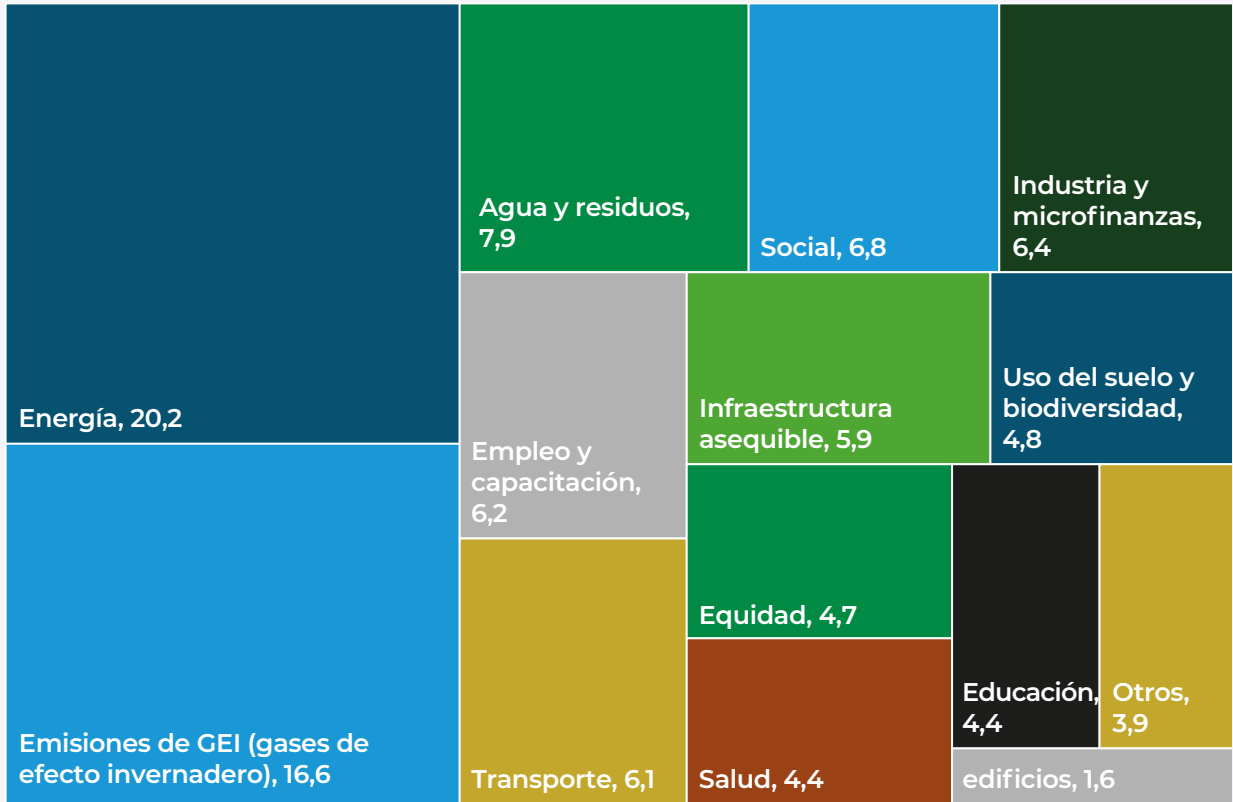
Una vez descritas la evolución y la composición de los bonos GSS+ emitidos, el siguiente paso es especificar qué porcentaje de estos se destina a proyectos de infraestructura. El mercado de bonos sostenibles presenta patrones distintos según el tipo de instrumento. Entre 2014 y 2022, los bonos verdes se centraron en la infraestructura física, liderados por las energías renovables, que representaron el 52% de las asignaciones, seguidos del transporte sostenible, con un 23%, y de la gestión del agua, con un

10%. Estas tres categorías—estrechamente vinculadas a la infraestructura pública—representaron el 85% de los bonos verdes, lo que pone de relieve la preferencia de los inversores por estos sectores. Los bonos sociales y de sostenibilidad se centraron en el desarrollo humano mediante inversiones en infraestructura física. Se realizaron asignaciones significativas a infraestructura asequible (13% en bonos sociales y 19% en bonos de sostenibilidad), así como a educación (13% y 11%, respectivamente) y a salud (10% y 14%, respectivamente).

Los bonos vinculados a la sostenibilidad (BVS) difieren fundamentalmente de los demás instrumentos, ya que se estructuran en torno a objetivos de desempeño en lugar de la financiación de proyectos específicos. En este sentido, los indicadores clave de desempeño (KPI) relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero representaron el 47%, mientras que los KPI relacionados con la energía representaron un 18% adicional. A diferencia de los bonos con uso específico de los recursos, estos bonos representan un enfoque más flexible de las finanzas sostenibles, en el que los emisores pueden cumplir sus compromisos por diversos medios, incluidos, entre otros, el desarrollo de infraestructuras.

**Gráfico 4.10.**

Participación del total de bonos GSS+ por uso (2014-2022)



**Fuente:** Elaboración propia basada en Dagnino Contreras et al. (2023).

Para facilitar el análisis de este panorama, los bonos GSS+ emitidos entre 2014 y 2022 se han clasificado en 15 grupos, lo que proporciona información más sistemática sobre la relevancia de la financiación destinada a infraestructuras públicas y físicas. El gráfico 4.10 muestra una visualización de las asignaciones de bonos sostenibles en diversas categorías, donde el tamaño del cuadro representa el porcentaje del financiamiento total. Los bonos relacionados con energía (20%) y las emisiones de gases de efecto invernadero (17%) dominan el panorama de la asignación, ya que representan casi el 37% de la financiación de bonos sostenibles. Estas categorías están vinculadas al desarrollo de infraestructuras públicas, en particular, a las instalaciones de generación de energía, a las mejoras de la red eléctrica y a los proyectos de reducción de emisiones. Sin embargo, en el caso de los gases de efecto invernadero, algunos indicadores clave de desempeño relacionados con su captura podrían no estar directamente vinculados a las infraestructuras.

La gestión del agua y los residuos (7,9%) representa la tercera asignación más importante, centrada en infraestructuras de servicios públicos esenciales, como plantas de tratamiento de agua, sistemas de alcantarillado e instalaciones de gestión de residuos. No obstante, también podría orientarse hacia la eficiencia hídrica, la conservación y la infraestructura agrícola. El transporte (6,1%) y las infraestructuras asequibles (5,9%) también reciben asignaciones de recursos. Es probable que en esta categoría de transporte se incluyan los sistemas de transporte público, las carreteras y las redes ferroviarias, mientras que en la de infraestructuras asequibles se abarque lo relacionado con la vivienda y las instalaciones comunitarias.

Estas categorías tienen la conexión más clara con el desarrollo de infraestructuras públicas y físicas: energía, emisiones de gases de efecto invernadero, agua y residuos, transporte e infraestructuras asequibles. En conjunto, representan aproximadamente el 56,7% de las asignaciones de bonos sostenibles, lo que demuestra una fuerte orientación hacia la financiación de proyectos de infraestructura tangibles que pueden aportar beneficios medioambientales y sociales mediante la mejora de los sistemas y las instalaciones físicas.<sup>40</sup>

Si bien las infraestructuras resilientes reciben cierta financiación a través de los mecanismos financieros sostenibles existentes, los instrumentos financieros diseñados explícitamente para inversiones en resiliencia siguen siendo limitados, tanto a nivel regional como mundial (Dagnino Contreras et al., 2023). A pesar del crecimiento reciente, la financiación para la adaptación sigue representando menos del 10% de la inversión climática mundial total, y la mayor parte se destina a iniciativas de mitigación (CPI, 2024). Según la Iniciativa de Bonos Climáticos, un obstáculo principal es la escasez de proyectos en cartera en los que invertir, debido principalmente a la falta de definiciones claras de qué son las inversiones resilientes (Michetti et al., 2023). Además, tal como explica el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), el enfoque de mitigación, centrado en la reducción de los gases de efecto invernadero, resulta más atractivo para los inversores. Los proyectos relacionados con los sistemas de energía renovable y la fabricación de vehículos eléctricos suelen ofrecer rendimientos más rápidos y fiables que las iniciativas de adaptación, que construyen defensas contra futuros fenómenos meteorológicos extremos e inciertos.

---

<sup>40</sup> La salud (4,4%), la educación (4,4%) y los edificios (1,6%) reciben asignaciones menores, pero también están relacionados con el desarrollo de infraestructuras físicas, en particular infraestructuras sociales como hospitales, escuelas y edificios públicos.

Entre los ejemplos de bonos temáticos GSS+ con asignación de financiación relacionada con la resiliencia se incluyen los cinco bonos sostenibles de México por un valor de US\$543,4 millones, que financian sistemas de alerta temprana de riesgos hídricos, protocolos de respuesta a emergencias, saneamiento público y la construcción y el mantenimiento de infraestructuras hidráulicas, entre otros. Asimismo, el bono verde de US\$1,2 millones de Interchile S.A. en 2021 financia la mejora de la infraestructura de transmisión y de las subestaciones para aumentar la resiliencia climática (Dagnino Contreras et al., 2023).

En total, de las 654 operaciones temáticas realizadas en América Latina y el Caribe hasta 2022, 147 (22%) incluyeron asignaciones relacionadas con la resiliencia, por encima del promedio mundial del 19%. Los bancos de desarrollo lideraron la financiación relacionada con la resiliencia de América Latina y el Caribe (46 operaciones), seguidos por las operaciones soberanas (32 operaciones) y las de empresas no financieras (31 operaciones). La distribución regional de las asignaciones muestra a México (26%) como principal receptor, seguido de las entidades supranacionales (24%), Chile (16%), Brasil (14%), Colombia (8%), Argentina (7%) y Ecuador (1%). Por su parte, Guatemala, Panamá, Perú y Uruguay contribuyeron cada uno con un 0,7% (Dagnino Contreras et al., 2023).

A pesar de los avances, el reto consiste en atraer una mayor financiación para proyectos de infraestructura resiliente en la región. En la siguiente sección se analizan las posibles ventajas de emitir bonos GSS+ como medio para movilizar recursos adicionales destinados a financiar inversiones resilientes. Posteriormente, en la última sección, se abordan los obstáculos asociados a la financiación de proyectos de infraestructura resiliente y se analizan formas de superarlos.

### **El Greenium: ¿realidad o ilusión?**

La posibilidad de obtener una prima más baja en la emisión de bonos GSS+ en comparación con los bonos convencionales suele denominarse «greenium», una combinación de «green» (verde) y «premium» (prima). Un greenium es una ventaja en términos de rendimiento o de costo que los emisores pueden obtener en comparación con los bonos convencionales.

Para ilustrar el concepto, el gráfico 4.11 muestra los retornos financieros del programa de bonos gemelos de Alemania desde julio de 2020 hasta octubre de 2022. Los bonos gemelos consisten en emisiones emparejadas: un bono del Estado convencional y un bono verde que comparten fechas de

vencimiento y tasas de cupón idénticas. La diferencia fundamental radica en el uso de los ingresos: los de los bonos verdes se destinan exclusivamente a proyectos clasificados como “verde”, mientras que los de los bonos convencionales financian los gastos del gobierno. El gráfico muestra tres elementos clave. La línea café representa el retorno de los bonos convencionales, la línea verde el retorno de los bonos verdes, mientras que las barras verdes del fondo representan el greenium en puntos básicos: la diferencia de retorno entre los bonos convencionales y los bonos verdes.

El porcentaje de retorno al vencimiento se muestra en el eje y izquierdo (entre aproximadamente el 1% y el 2%), mientras que el greenium se muestra en el eje y derecho (entre 0 y 10 puntos básicos). El gráfico muestra que, en general, los rendimientos de ambos bonos aumentaron durante el periodo analizado, con una trayectoria ascendente pronunciada a partir de la segunda mitad de 2021. Durante la mayor parte del período, el bono convencional ofreció un retorno sistemáticamente superior al de su homólogo verde, lo que generó un greenium de alrededor de 6 puntos básicos entre enero y octubre de 2022. Un greenium de 6 puntos básicos significa que si un bono convencional ofrece un retorno del 1,1% anual, un bono verde gemelo ofrece un retorno del 1,04%.

#### Gráfico 4.11

##### Desempeño de los bonos alemanes gemelos



Convencional: DE0001141828; Primera emisión: 08 Jul 2020; Importe €25 mil millones  
Verde: DE0001030716; Primera emisión: 04 Nov 2020; Importe €5 mil millones

Fuente: Ando et al. (2024).

Esto, a su vez, indica que existe cierto interés por parte de los inversores en este tipo de instrumentos y que están dispuestos a renunciar a parte del retorno de los bonos a cambio de la garantía de que los recursos se destinarán a financiar iniciativas específicas. Por lo tanto, es una señal positiva de la capacidad de estos instrumentos para movilizar recursos adicionales destinados a la inversión en infraestructura resiliente. Sin embargo, a pesar de la simplicidad del concepto y de que los inversores estén dispuestos a aceptar retornos más bajos por inversiones sostenibles, el concepto de greenium plantea interrogantes sobre su definición y medición (véase el recuadro 4.4).

#### RECUADRO 4.4. El concepto de Greenium

En cuanto a la definición del greenium, surgen al menos dos cuestiones. La primera se refiere a su alcance: ¿el greenium se refiere exclusivamente a las diferencias de retorno entre los bonos verdes y los bonos convencionales, o abarca instrumentos financieros sostenibles más amplios, como los bonos sociales, bonos de sostenibilidad y bonos vinculados a la sostenibilidad? Si bien la definición básica de greenium se refiere al diferencial de retorno entre los bonos verdes y sus homólogos convencionales, la literatura empírica suele ampliar este análisis a categorías de bonos más diversas, lo que puede introducir inconsistencias conceptuales.

La segunda cuestión se refiere a los factores subyacentes del «greenium». Starks (2023) sostiene que las motivaciones de los inversores en los mercados financieros sostenibles se dividen en dos categorías distintas: «valor» y «valores». Los inversores orientados al valor se preocupan principalmente por el rendimiento financiero y analizan cómo los criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) pueden mejorar la rentabilidad de la cartera. Por el contrario, los inversores motivados por los valores dan prioridad a consideraciones no financieras y se muestran dispuestos a aceptar retornos financieros

más bajos para alinear sus inversiones con sus principios éticos y objetivos sociales.

Esta distinción es fundamental porque los análisis existentes sobre el greenium suelen confundir estas diferentes motivaciones. Para evaluar con precisión la dinámica de valuación de activos verdes, es esencial separar los beneficios no pecuniarios de la inversión responsable con el medio ambiente, de las consideraciones puramente financieras, como la cobertura contra los riesgos financieros relacionados con el clima (Yang, 2025). Conceptualmente, el greenium debería referirse únicamente al diferencial de retornos (o premium) que surgen de consideraciones no pecuniarias. (D'Amico, Klausmann y Pancost, 2024).

La medición de los greeniums plantea algunos retos empíricos (véase, por ejemplo, Delgado et al., 2025). En primer lugar, existen problemas de comparabilidad. Es extremadamente difícil encontrar bonos convencionales verdaderamente comparables para emparejarlos con los bonos GSS+. Los bonos difieren en numerosas características, entre ellas el vencimiento, el tipo de interés nominal, la liquidez, la calificación crediticia, el sector y los covenants (i.e., las condiciones vinculantes). Cualquier discrepancia en estos parámetros puede distorsionar las estimaciones del greenium. Incluso en el caso de los bonos gemelos alemanes utilizados como ejemplo, en los que el vencimiento y los tipos de interés nominal son idénticos y a menudo se presentan como el experimento perfecto para medir el greenium, sus perfiles de liquidez varían.

En segundo lugar, el mercado GSS+ aún es nuevo y está en desarrollo. El mercado de bonos verdes ha evolucionado rápidamente, con cambios en los estándares de certificación, las regulaciones y la sofisticación de los inversores. Esto crea inconsistencias temporales en las mediciones del greenium a lo largo de diferentes períodos de tiempo. Los datos históricos limitados, las prácticas inconsistentes en el reporte de información y los estándares de certificación variables, crean importantes problemas de calidad de los datos para el análisis cuantitativo. Estos retos ponen de relieve por qué las estimaciones del greenium varían mucho entre los estudios académicos (Hong y Shore, 2023), lo que socava las pruebas concluyentes sobre la verdadera magnitud del greenium en los mercados mundiales de bonos.

En tercer lugar, los inversores compran bonos verdes por diversas razones: expectativas de rendimiento financiero, cobertura del riesgo climático, mandatos ESG o puras preferencias medioambientales. Desentrañar estos factores (i.e., si son motivados por la categoría de valor vs. valores) para aislar el verdadero greenium, es metodológicamente complejo. Incluso si se resolvieran los problemas de datos, esta separación de los factores motivacionales sigue siendo un reto en la mayoría de los casos, hasta el punto de que la evidencia es escasa, si no inexistente, en cuanto a investigaciones que hayan podido identificar con éxito por qué los inversores están dispuestos a pagar una prima y, de esta forma, medir el verdadero greenium (D'Amico et al., 2024).

A pesar de los retos metodológicos y de datos que plantea la medición del greenium, hay algunas regularidades empíricas sobre los mercados de bonos que merecen ser destacados.

En primer lugar, las estimaciones del greenium varían mucho entre los distintos estudios académicos, con resultados que van desde cero (véase Lau et al., 2022) hasta primas positivas de varios puntos básicos (Hong y Shore, 2023). Esta inconsistencia podría reflejar tanto dificultades de medición como variaciones reales del mercado; sin embargo, en promedio se observa un greenium positivo, lo que es consistente con la teoría.

En segundo lugar, los marcos de gobernanza GSS+ y la calidad de la revisión externa parecen influir significativamente en el greenium. Los bonos con una verificación sólida, mecanismos de rendición de cuentas transparentes y una certificación de alta calidad, tienden a obtener mayores retornos (o premiums) (Caramichael y Rapp, 2024; Pietsch y Salakhova, 2025).

Por último, incluso cuando existen ventajas de costo para los bonos GSS+, es probable que estos beneficios sean pequeños o potencialmente negativos si se tienen en cuenta las comisiones y los costos de cumplimiento (certificación, supervisión y rendición de cuentas). Esta carga podría ser especialmente significativa para proyectos verde complejos y emisores pequeños o que emiten por primera vez (Caramichael y Rapp, 2024).

## Invertir en infraestructuras resilientes: una estrategia prometedora para cerrar la brecha de infraestructura

¿Cómo fomentar la inversión en infraestructura resiliente? La brecha de inversión en la región es grande, incluso en infraestructuras convencionales (Cavallo, Powell y Serebrisky, 2020; Brichetti et al., 2021). Para cerrar esa brecha es necesario aumentar la inversión pública y privada. Por lo tanto, las preguntas pertinentes son: ¿cómo garantizar la financiación necesaria para aumentar las inversiones? y ¿cómo desarrollar mecanismos de fondeo para reembolsar dicha financiación?

Los mecanismos de financiación alternativos dependen de las características y los riesgos del proyecto. Esto es especialmente relevante en el caso de las infraestructuras resilientes, que plantean retos específicos. La principal diferencia entre las infraestructuras resilientes y las convencionales radica en los tipos específicos de externalidades y en el momento en que se producen los costos y los beneficios: las inversiones en resiliencia suelen incurrir en costos inmediatos, mientras que los beneficios se obtienen a más largo plazo, lo que a menudo afecta a diferentes grupos.

En lo que respecta a las inversiones realizadas, la inversión pública en infraestructura suma aproximadamente el 1,7% del PIB, mientras que la inversión privada es de alrededor del 0,6% del PIB en la región. Esta cifra está por debajo del 3,1% del PIB anual que, según estimaciones del BID, debería invertir la región para cerrar las brechas existentes. Sin embargo, un aspecto positivo es que la financiación de la inversión pública y privada en infraestructura resiliente está aumentando. Los bancos multilaterales de desarrollo contribuyen con aproximadamente el 7% de la financiación de la inversión pública en América Latina y el Caribe, y sus compromisos de financiación relacionados con el clima (un indicador de la financiación de infraestructuras resilientes) se han duplicado, pasando de US\$38 mil millones en 2020 a US\$74,7 mil millones en 2023, especialmente para las economías de ingresos bajos y de ingresos medio bajos. América Latina y el Caribe representan más del 20% del mercado mundial de financiación climática, con un 60% procedente de préstamos de inversión. Cabe destacar que sectores como el agua y el saneamiento, la energía y el transporte representan el 40% de los compromisos de los BMD hacia estos países. El sector privado también está aumentando su interés por las infraestructuras relacionadas con la resiliencia en América Latina y el Caribe, elevando la proporción invertida en infraestructuras resilientes del 7,4% del total de inversiones en infraestructura en 2009 al 35% en 2024. Si bien esta

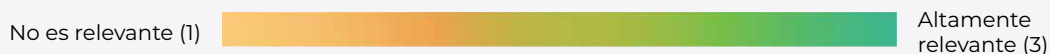
tendencia es alentadora, se necesita hacer más. Por lo tanto, comprender cómo hacer que diversos instrumentos de financiación de infraestructura sostenible—como los bonos verdes, los bonos sociales o los vinculados a la sostenibilidad—sean más atractivos para los inversores, sigue siendo una prioridad de política pública.

Aumentar la inversión en infraestructura resiliente es una estrategia prometedora para revertir la tendencia a la baja de la inversión global en infraestructura en la región y ayudar a cerrar la brecha en infraestructura. Entonces, ¿cuáles son los principales obstáculos que impiden una mayor inversión?

En 2020, el Grupo Banco Interamericano de Desarrollo y Mercer, una empresa consultora, realizaron una encuesta para obtener información sobre el perfil de los inversores en infraestructura, centrándose específicamente en sus necesidades y preferencias relacionadas con las inversiones, con especial énfasis en las consideraciones sociales y medioambientales. Se entrevistó a casi un centenar de inversores institucionales, entre los que se encontraban bancos comerciales y de desarrollo de América Latina y el Caribe (44% de la muestra), de América del Norte (25%), de Europa (19%) y del Asia-Pacífico (19%) (véase el gráfico 4.12).

**Gráfico 4.12.**  
Barreras a la inversión privada en infraestructura pública sostenible

 BARRERAS	 RESPUESTAS DE LOS INVERSORES										 CALIFICACIÓN PROMEDIO (1-3)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
 1. Regulaciones y políticas desfavorables e inciertas											2,8
 2. Falta de carteras de proyectos transparentes											2,3
 3. Falta de modelos de financiamiento viables y retornos ajustados por riesgo inadecuados											2,2
 4. Altos costos de desarrollo y transacción											2,0



Fuente: Frisari y Messervy (2021).

Los resultados de la encuesta indican que las regulaciones inciertas son el riesgo más significativo asociado a la inversión en proyectos de infraestructura. Si bien esta preocupación se destaca en diversas encuestas globales, resulta particularmente relevante en los mercados emergentes, donde las políticas incoherentes y los cambios inesperados pueden perturbar los planes de inversión y disuadir a los posibles inversores. Además, la falta de «proyectos financiables»—es decir, proyectos que se consideran financieramente viables y lo suficientemente atractivos como para garantizar la financiación de los inversores—se ha identificado como un obstáculo clave para la inversión (Frisari y Messervy, 2021). Las preocupaciones sociales y medioambientales también se han revelado como obstáculos. Una planificación inadecuada de los conflictos sociales o de las cuestiones relacionadas con la gestión de la tierra puede dar lugar a sobrecostos de hasta el 80% y a retrasos de más de 12 años en la

resolución de conflictos (Suárez-Alemán, Silva Zúñiga e INERCO Consultoría Colombia, 2020). De hecho, los resultados de la encuesta muestran que las preocupaciones sociales y medioambientales se encuentran entre los principales riesgos que pueden detener la inversión, junto con los de gobernanza y los regulatorios.

Abordar esas preocupaciones exige un entorno propicio, caracterizado por marcos normativos, institucionales y de planificación, sólidos para la inversión en infraestructura pública con participación privada. Las asociaciones público-privadas (APP) enfocadas en intervenciones “upstream” pueden mejorar el entorno para la participación privada en Infraestructura.<sup>41</sup> A principios del siglo XXI, solo un país de la región contaba con la normativa necesaria para el desarrollo de las APP. Sin embargo, dos décadas después, casi todos los países han establecido políticas y normativas sólidas y robustas en materia de APP (Economist Impact, 2022). Esto ha dado lugar a un mercado de APP muy dinámico. América Latina y el Caribe es un ejemplo destacado de participación privada en el desarrollo de infraestructuras a nivel mundial, con aproximadamente el 80% de esas inversiones provenientes de APP (Banco Mundial, 2025). Desde 2023, la inversión total en APP ha aumentado en torno al 15% y el número de proyectos de APP ha crecido un 25% (Economist Impact, 2024). Este crecimiento se atribuye en gran medida a nuevos sectores como las infraestructuras sociales y el agua y el saneamiento, que suelen implicar menores gastos de capital en comparación con los proyectos de transporte y energía. Aunque muchos académicos y profesionales reconocen que la creación de un entorno normativo propicio es un primer paso crucial para el desarrollo de cualquier mercado de APP, esto no basta. La simple mejora del marco jurídico y normativo no garantiza un aumento de la inversión. Deben darse otras condiciones institucionales, como un marco institucional sólido y las capacidades necesarias, que a menudo se pasan por alto. Estos factores, junto con la estabilidad política y social, son clave para impulsar la inversión a través de las APP (Casady y Suárez-Alemán, 2025).

Más allá del entorno propicio, es necesario desarrollar carteras de proyectos estables, bien preparadas y financiables, centradas en los aspectos sociales y medioambientales, para atraer financiación sostenible para los proyectos de infraestructura. Este es precisamente el ámbito en el que resulta clave trabajar en la estructuración de mecanismos de

---

<sup>41</sup> Véase Iossa y Martimort (2015) para un modelo de la microeconomías de las asociaciones público-privadas.

financiamiento que garanticen la bancabilidad—es decir, la capacidad de atraer financiamiento—de los proyectos. En muchos casos, la ausencia de financiación no se debe necesariamente a la falta de capital o de interés por parte de los inversores, sino a la ausencia de mecanismos de fondeo claros y creíbles que especifiquen cómo se reembolsará a los inversores. Concretamente, la incertidumbre sobre quién pagará, en qué condiciones y en qué plazo, dificulta la evaluación del perfil de riesgo del proyecto y, a su vez, socava su bancabilidad.

Además, en los casos en que la estructura de fondeo se basa en fuentes de ingresos contingentes o volátiles (por ejemplo, transferencias ad hoc, tarifas de usuario políticamente sensibles o impuestos poco fiables), los riesgos asociados pueden no mitigarse o resultar inaceptables para los financiadores. Sin mecanismos de fondeo claros, resulta difícil definir la distribución de los riesgos entre los distintos actores y, aun más, diseñar instrumentos financieros—como garantías, estructuras de financiación mixta o acuerdos de reparto de riesgos—que puedan hacer frente a dichos riesgos.

Por lo tanto, el establecimiento de mecanismos de fondeo transparentes, predecibles y ejecutables es una condición previa para estructurar proyectos de infraestructura financieramente viables. Esto permite identificar posibles exposiciones al riesgo, aclarar los incentivos económicos de todas las partes involucradas y facilitar la intervención selectiva de actores públicos o multilaterales mediante herramientas de mitigación de riesgos cuando persisten las fallas del mercado.

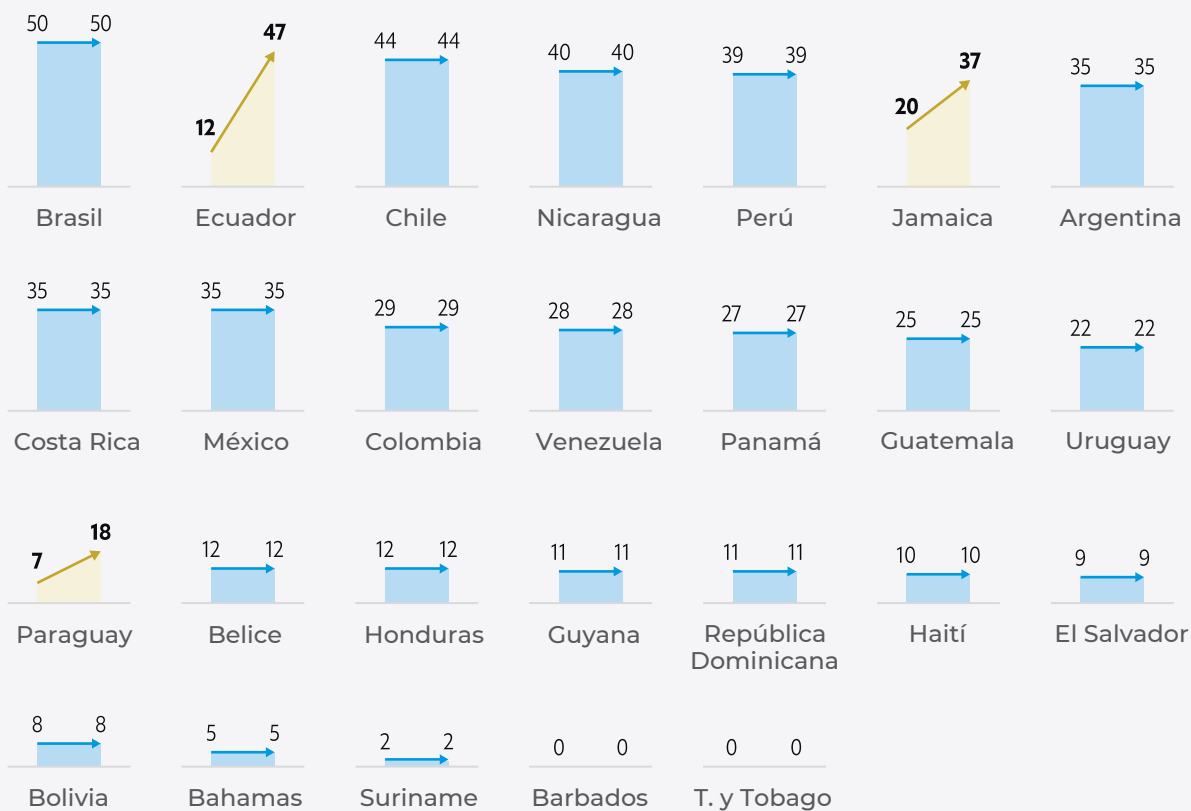
Los impactos ambientales y comunitarios, junto con la equidad social, se encuentran entre las dimensiones más débiles en la preparación de proyectos de APP sostenibles (gráfico 4.13). Concretamente, el desempeño general en América Latina y el Caribe revela evaluaciones de impacto ambiental inadecuadas, la falta de criterios en la regulación climática, consultas insuficientes con las comunidades y una incapacidad para anticipar cambios futuros o para desarrollar estrategias de resiliencia y adaptabilidad. Estas estrategias incluyen la selección de materiales duraderos, la adopción de enfoques de infraestructura adaptables y la evaluación de tendencias para reducir el riesgo de obsolescencia. Además, se ha logrado un avance mínimo en materia de sostenibilidad en la preparación de proyectos (véase el gráfico 4.13). Entre las excepciones se encuentran Ecuador, Jamaica y Paraguay, mientras que Brasil y Chile siguen a la cabeza, aunque aún hay un margen significativo de mejora.

**Gráfico 4.13.**

Evolución en la preparación de proyectos sostenibles de acuerdo con Infrascopes (2021-2024)

Desempeño promedio en los indicadores relacionados con la sostenibilidad, puntuación sobre 100

2021/22 ➔ 2023/24



Fuente: Economist Impact (2024).

Se pueden emplear instrumentos específicos de mitigación de riesgos para abordar de manera eficaz los peligros identificados. Estos pueden incluir seguros contra riesgos políticos, garantías de construcción o de crédito, cobertura de divisas o de tipos de interés, y protección contra la primera pérdida o subordinación, tal como han destacado los inversores (Frisari y Messervy, 2021).

En resumen, liberar todo el potencial de la infraestructura resiliente en América Latina y el Caribe depende no solo de movilizar más recursos, sino

también de alinear las estructuras de fondeo con las características únicas de las inversiones en resiliencia. Esto requiere un cambio de mentalidad: pasar de considerar la resiliencia como un costo a reconocerla como una propuesta de valor a largo plazo. Al integrar la resiliencia en el diseño de los proyectos, aclarar los compromisos de fondeo y reforzar la capacidad institucional, la región puede transformar su panorama de infraestructura en uno que no solo sea más sostenible e inclusivo, sino que también esté mejor equipada para resistir futuras crisis. El desafío es formidable, pero las herramientas, los actores y el impulso ya están en marcha. Lo que queda es la voluntad política y la acción coordinada para convertir la ambición en un impacto duradero.

## CAPITULO 5

# Del conocimiento a la acción: impulsando la infraestructura resiliente en América Latina y el Caribe

Los capítulos de este volumen han mostrado un mensaje claro: los sistemas de infraestructura en América Latina y el Caribe son cada vez más vulnerables a la variabilidad climática y los desastres naturales, y las consecuencias de estos eventos son profundas. La exposición de la región a los riesgos climáticos—que van desde huracanes y sequías hasta inundaciones e incendios forestales— no solo es alta, sino que va en aumento, y sus impactos recaen de manera desproporcionada sobre las poblaciones más vulnerables. La combinación de una baja inversión, el envejecimiento de la infraestructura, la rápida urbanización y las exigencias del crecimiento y el desarrollo ha creado una coyuntura crítica. La necesidad de invertir no solo más, sino mejor, no es solo una alternativa, sino una necesidad.

El capítulo 2 proporcionó un diagnóstico detallado de cómo los riesgos climáticos y geofísicos afectan a los sistemas de infraestructura. Distinguió entre riesgos, incidencia e impacto, haciendo hincapié en que la transformación de un riesgo en un desastre no es inevitable, sino que depende de la resiliencia de la infraestructura y de la capacidad de las instituciones. Los cambios climáticos graduales, como el aumento de las temperaturas y los cambios en los patrones de precipitación, alteran tanto la demanda como la prestación de servicios de infraestructura. Los fenómenos extremos destruyen los activos físicos e interrumpen la prestación de servicios, con efectos colaterales en los hogares, las empresas y el desempeño macroeconómico. Es importante destacar que las vulnerabilidades ante dichos eventos no se distribuyen de manera uniforme. La exposición geográfica, la estructura económica y la calidad y la redundancia de los sistemas de infraestructura determinan los perfiles de riesgo, siendo las pequeñas islas y los países de bajos ingresos quienes se enfrentan a retos especialmente graves.

El capítulo 3 pasó del diagnóstico a la acción, presentando un conjunto abundante y dinámico de herramientas técnicas y políticas que contribuyen a la resiliencia. Destacó la importancia de contar con marcos sólidos de evaluación y priorización de riesgos, como las evaluaciones de criticidad y de vulnerabilidad, así como la toma de decisiones en condiciones de profunda incertidumbre. La resiliencia no solo consiste en reforzar los activos físicos, sino también en replantearse cómo se planifica, se construye, se opera y se mantiene la infraestructura. La diversificación, la descentralización y la redundancia en las redes de infraestructura son fundamentales para la resiliencia, mientras que las soluciones basadas en la naturaleza, que aprovechan los servicios ecosistémicos para reducir riesgos, están ganando popularidad. La adaptación desde el lado de la demanda, incluidos los sistemas de alerta temprana, las intervenciones basadas en el comportamiento y la fijación dinámica de precios, es una herramienta poco utilizada pero prometedora. Por último, los marcos normativos e institucionales deben diseñarse para facilitar la innovación, la flexibilidad y la coordinación intersectorial, reconociendo las interdependencias entre los sectores de infraestructura.

El capítulo 4 abordó la dimensión financiera de la resiliencia, centrándose en la distinción entre fondeo y financiamiento. Las infraestructuras resilientes suelen implicar mayores costos iniciales, mientras que los beneficios—como la prevención de pérdidas y la continuidad del servicio—se acumulan con el tiempo y plantean muchos retos para su correcta estimación. Este desajuste temporal dificulta la movilización de capital y el diseño de mecanismos de pago equitativos. La brecha de inversión en infraestructura de la región es grande: la inversión pública ha sido, en promedio, inferior al 2% del PIB desde 2015, y la inversión privada, al 1%. El panorama del financiamiento sostenible está evolucionando y comprende bonos verdes, bonos sociales y bonos vinculados a la sostenibilidad, así como financiación combinada y fondos de adaptación climática. Mientras que estos instrumentos están ampliando el capital disponible, la falta de definiciones estandarizadas, la limitada cartera de proyectos resilientes bancables y las persistentes barreras regulatorias e institucionales reducen su impacto. Se necesitan entornos propicios sólidos—marcos normativos, mecanismos de preparación de proyectos e instrumentos de mitigación de riesgos—para atraer y mantener inversiones a gran escala.

En conjunto, los capítulos ofrecen un marco para promover la infraestructura resiliente en América Latina y el Caribe. Proporcionan orientación sobre lo que hay que hacer y cómo hacerlo. Sin embargo,

también revelan importantes lagunas en nuestra comprensión. La principal de ellas es la falta de evaluaciones rigurosas y contextualizadas para medir el impacto de las políticas e inversiones orientadas a mejorar la resiliencia. Si bien muchas intervenciones son prometedoras en teoría o han demostrado su éxito en casos aislados, todavía se carece de evidencia sistemática sobre su rentabilidad, escalabilidad y resultados a largo plazo. Es decir, aunque la gama de intervenciones es amplia—desde soluciones basadas en la naturaleza y sistemas descentralizados hasta instrumentos de financiación innovadores y la planificación adaptativa—, la evidencia empírica para orientar la toma de decisiones sigue siendo escasa. Una de las razones por las que la evidencia sigue siendo escasa es la ausencia de una definición clara y práctica de resiliencia: qué medir en cada contexto y sector, y en qué plazo de tiempo, lo que dificulta su evaluación. Esta laguna de conocimiento no es meramente académica, sino que tiene implicaciones en el mundo real en cuanto a la forma en que los gobiernos, las instituciones de desarrollo y los actores privados priorizan las inversiones, diseñan las regulaciones y asignan los recursos escasos.

Además, los efectos distributivos de las políticas de resiliencia aún no se han estudiado lo suficiente. La interrupción en la provisión de servicios de infraestructura afecta de manera desproporcionada a las poblaciones más vulnerables, pero aún no existe suficiente evidencia sobre cómo diseñar estrategias de resiliencia que promuevan la equidad y la inclusión. Del mismo modo, aunque se reconoce ampliamente la importancia del mantenimiento y la planificación integral en el ciclo de vida de la infraestructura, existen pocos datos sobre el desempeño real de los proyectos y sobre los patrones de inversión. Si bien el panorama financiero evoluciona rápidamente, es necesario examinar detenidamente la eficacia de los nuevos instrumentos para movilizar recursos destinados a la resiliencia, en particular a la adaptación.

Para cerrar las brechas de conocimiento es necesario un esfuerzo conjunto para crear un ecosistema de investigación y generación de datos en torno a las infraestructuras resilientes. Esto implica invertir en estudios longitudinales y evaluaciones de impacto que permitan medir la eficacia de las políticas y proyectos de resiliencia a lo largo del tiempo. También exige el desarrollo de indicadores estandarizados y protocolos de recopilación de datos para el seguimiento del desempeño y de los resultados en todos los sectores económicos y geográficos. La colaboración entre los gobiernos, el mundo académico y las instituciones de desarrollo es esencial para generar y compartir datos, metodologías y lecciones aprendidas. Mientras tanto,

los proyectos piloto y los laboratorios de innovación pueden servir como campos de prueba para nuevos enfoques y la generación de conocimientos prácticos. La creación de este ecosistema no solo mejorará la calidad de la toma de decisiones, sino que también ayudará a alinear las inversiones con las realidades del riesgo climático y con la capacidad institucional.

A pesar de estas deficiencias, el futuro es alentador. La región está adoptando cada vez más la resiliencia como una prioridad estratégica y cuenta con las herramientas, los actores y el impulso necesarios para intensificar los esfuerzos. Los bancos multilaterales de desarrollo están ampliando sus carteras de financiación climática, los gobiernos están integrando la resiliencia en la planificación y la regulación, y los inversores privados muestran un interés creciente por las infraestructuras sostenibles. El auge de los mecanismos de financiación innovadores, la generalización de las soluciones basadas en la naturaleza y la adopción de marcos de planificación adaptativos apuntan a un cambio de paradigma: de las respuestas reactivas a las estrategias proactivas.

En última instancia, el camino del riesgo a la confiabilidad no es lineal. Requiere aprendizaje continuo, fortalecimiento institucional y compromiso con la formulación de políticas basadas en evidencia empírica. Sin embargo, también ofrece una oportunidad única: construir sistemas de infraestructura que no solo resistan eventos catastróficos, sino que también promuevan el crecimiento, la sostenibilidad y la prosperidad a largo plazo. Al invertir hoy en resiliencia, la región puede sentar las bases de un futuro más seguro, equitativo y dinámico.

## Referencias

AbdelMagid, M., AbdelRazig, Y., Smith, D., Horner, M., Choi, J., Kim, K., y Ventimiglia, B. (2023). Transportation system performance capabilities for vulnerable populations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 96, 103991.

<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103991>

Abell, R., Asquith, N., Boccaletti, G., Bremer, L., Chapin, E., Erickson-Quiroz, A., Higgins, J., Johnson, J., Kang, S., y Karres, N. (2017). Beyond the source: The environmental, economic and community benefits of source water protection. *The Nature Conservancy, Arlington, VA, USA.*

[https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/Beyond\\_The\\_Source\\_Full\\_Report\\_FinalV4.pdf](https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/Beyond_The_Source_Full_Report_FinalV4.pdf)

Aboal, D., García Goñi, M., Pereyra, M., Rubalcaba, L., y Zunino, G. (2020). *Residential Electricity Tariffs in Uruguay: In Search for Efficiency Gains while Protecting Low-Income Households* (Nota Técnica del BID No. 1681). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0002294>

Agencia Nacional del Agua de Brasil. (2025). *Sistema Cantareira (Saiba mais)*. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

<https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/sistema-cantareira/sistema-cantareira-saiba-mais>

AIE (Agencia Internacional de la Energía). (2014). *Energy Policies of IEA Countries: The United States 2014 Review*. Agencia Internacional de la Energía – AIE.

<https://www.iea.org/reports/energy-policies-of-iea-countries-the-united-states-2014-review>

AIE (Agencia Internacional de la Energía). (2018). *The Future of Cooling Opportunities for energy- efficient air conditioning*. Agencia Internacional de la Energía – AIE.

[https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8d0c-9c0cb5e7d525/The\\_Future\\_of\\_Cooling.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8d0c-9c0cb5e7d525/The_Future_of_Cooling.pdf)

AIE (Agencia Internacional de la Energía). (2021a). *Climate Resilience*. Agencia Internacional de la Energía – AIE.

[https://iea.blob.core.windows.net/assets/62c056f7-deed-4e3a-9a1f-a3ca8cc83813/Climate\\_Resilience.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/62c056f7-deed-4e3a-9a1f-a3ca8cc83813/Climate_Resilience.pdf)

AIE (Agencia Internacional de la Energía). (2021b). *Power systems in transition. Challenges and opportunities ahead for electricity security*. Agencia Internacional de la Energía – AIE.

[https://iea.blob.core.windows.net/assets/cd69028a-da78-4b47-b1bf-7520cdb20d70/Power\\_systems\\_in\\_transition.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/cd69028a-da78-4b47-b1bf-7520cdb20d70/Power_systems_in_transition.pdf)

AIE (Agencia Internacional de la Energía). (2022). *Climate Resilience for Energy Security*. Agencia Internacional de la Energía – AIE.

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/10229b31-fd82-4371-b92c-a554f95369ea/ClimateResilienceforEnergySecurity.pdf>

AIE (Agencia Internacional de la Energía). (2025). *Electricity 2025*. Agencia Internacional de la Energía – AIE.

<https://www.iea.org/reports/electricity-2025>

Alcaldía de Medellín. (2022, abril 2). *En Medellín se adelantan intervenciones en las quebradas para mitigar riesgos por la temporada de lluvias—Alcaldía de Medellín. Sala de Prensa—Noticias*.

<https://www.medellin.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias/en-medellin-se-adelantan-intervenciones-en-las-quebradas-para-mitigar-riesgos-por-la-temporada-de-lluvias/>

Alvarez Pagliuca, C., Martínez Álvarez, J., Pereira Dos Santos, P., Serebrisky, T., y Suárez-Alemán, A. (2022). *Sustainable Financing of Economic and Social Infrastructure in Latin America and the Caribbean: Trends, Key Agents, and Instruments*. (Documento de Trabajo del BID No. 1036). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0004497>

Alvear, A., Campos, J. P., Ciancio, J., Dalaison, W., De Angelis, G., Escovar, M. A., Madrid, H., Narvárez, R., Pedrasa, F., Porta García, R., Suarez, G., y Zambrano, A. (2023). *Resilience and Sustainability in Building Codes in Latin America and the Caribbean* (Nota Técnica del BID No. 2854). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0005377>

Ando, S., Fu, C., Roch, F., y Wiradinata, U. (2024). How Large is the Sovereign Greenium? *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 86(6), 1472–1483.  
<https://doi.org/10.1111/obes.12619>

Arciniegas, A., Donadi, E., Ponce de León, O., y Suárez-Alemán, A. (De próxima publicación). *Instrumentos para el financiamiento sostenible de Asociaciones Público-Privadas en infraestructura (sostenible) económica y social. Financiamiento privado para la infraestructura pública*. Banco Interamericano de Desarrollo.

Área Metropolitana Valle de Aburrá. (2021). *Sistemas de Alertas Tempranas Comunitarios monitorean lluvias en el Valle de Aburrá*.  
<https://www.metropol.gov.co/Paginas/Noticias/sistemas-de-alertas-tempranas-comunitarios-monitorean-lluvias-en-el-valle-de-aburra.aspx>

Attari, S. Z. (2014). Perceptions of water use. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(14), 5129–5134.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1316402111>

Bagnoli, L., Balza, L., Belmar, J., y Matías, D. (De próxima publicación). *Powering Through Drought: The Impact of Water Scarcity on Electricity Generation*. Banco Interamericano de Desarrollo.

Bagnoli, L. S., Delgado, L., Luza, J., Mitnik, O. A., Pasmán, C., y Serebrisky, T. (2025). *Shining a Light on Resilience: Overcoming Hurricane Odile's Impact on Electricity and the Economy* (Documento de Trabajo del BID No. 1709). Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://doi.org/10.18235/0013516>

Bagolle, A., Costella, C., y Goyeneche, L. (2023). *Social Protection and Climate Change: How can We Protect the most Vulnerable Households Against New Climate Threats?* (Resumen de políticas del BID No. 375). Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://doi.org/10.18235/0004846>

Balza, L., Calatayud, A., Pérez-Urdiales, M., Serebrisky, T., y Solís, B. (2025). Delivering Resilient Infrastructure Services. In A. Blackman, E. A. Cavallo, B. Hoffmann, y A. Vogt-Schilb (Eds.), *Peril and Promise: Tackling Climate Change in Latin America and the Caribbean*. Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://doi.org/10.18235/0013427>

Balza, L., Mata, C., Matías, D., y Ríos, R. (2024). *Navigating the energy transition in Latin America and the Caribbean: Volatility and price signaling in short-term electricity markets* (Monografía del BID No. 1237). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0013200>

Banco Africano de Desarrollo, Banco Asiático de Desarrollo, Banco Asiático de Inversión en Infraestructura, Banco de Desarrollo del Consejo de Europa, Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo, Banco Europeo de Inversiones, Banco Interamericano de Desarrollo, BID Invest, Banco Islámico de Desarrollo, Nuevo Banco del Desarrollo, y Banco Mundial. (2022). *Joint MDB Methodology for Tracking Adaptation Finance 2022*. Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://idbinvest.org/en/publications/joint-mdb-methodology-tracking-adaptation-finance-2022>

Banco Africano de Desarrollo, Banco Asiático de Desarrollo, Banco Asiático de Inversión en Infraestructura, Banco de Desarrollo del Consejo de Europa, Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo, Banco Europeo de Inversiones, Banco Interamericano de Desarrollo, BID Invest, Banco Islámico de Desarrollo, Nuevo Banco del Desarrollo, y Banco Mundial. (2023). *Common Principles for Climate Mitigation Finance Tracking*.

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/514141645722484314/pdf/Common-Principles-for-Climate-Mitigation-Finance-Tracking.pdf>

Banco Africano de Desarrollo, Banco Asiático de Desarrollo, Banco Asiático de Inversión en Infraestructura, Banco de Desarrollo del Consejo de Europa, Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo, Banco Europeo de Inversiones, Banco Interamericano de Desarrollo, BID Invest, Banco Islámico de Desarrollo, Nuevo Banco del Desarrollo, y Banco Mundial. (2024). *2023 Joint Report on Multilateral Development Banks Climate Finance*. Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0013160>

Banco Europeo de Inversiones, Banco Africano de Desarrollo, Banco Asiático de Desarrollo, Banco Asiático de Inversión en Infraestructura, Banco de Desarrollo del Consejo de Europa, Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo, Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Islámico de Desarrollo, Nuevo Banco del Desarrollo, y Banco Mundial. (2024). *Key Figures 2023 Joint Report on Multilateral Development Banks Climate Finance*. Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0013161>

Banco Mundial. (2016). *Argentina—Flood Risk Management Support Project for the Autonomous City of Buenos Aires*. Grupo Banco Mundial.

<http://documents.worldbank.org/curated/en/287961468328119648>

Banco Mundial. (2018). *From Waste to Resource: Shifting Paradigms for Smarter Wastewater Interventions in Latin America and the Caribbean: Background Paper I: Efficient and Effective Management of Water Resource Recovery Facilities*. Banco Mundial.

<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/2398afa9-c499-5647-960e-6a86e01f79b7>

Banco Mundial. (2025). *Private Participation in Infrastructure (PPI)* [Dataset].

<https://ppi.worldbank.org/en/ppi>

Barandiarán, M., Esquivel, M., Ayuso, S. L., Suarez, G., y Zuloaga, D. (2019). *Disaster and Climate Change Risk Assessment Methodology for IDB Projects: A Technical Reference Document for IDB Project Teams* (Latin America and the Caribbean; Nota Técnica del BID No. 1771). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://publications.iadb.org/en/disaster-and-climate-change-risk-assessment-methodology-idb-projects-technical-reference-document>

Bejarano, H., Delgado Ramos, G. C., Jiménez-Ramírez, F., López-Aguilar, A., y López-Rodríguez, A. (2025). *Mexico City's Rainwater Harvesting Program (Cosecha de Lluvia)*.

<https://doi.org/10.7916/PW29-7J75>

Beltrán, C., Rivas, M. E., y Calatayud, A. (2024). *Transporte y cambio climático en América Latina y el Caribe: Brechas de conocimiento y prioridades de investigación* (Documento de Trabajo del BID No. 1634). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0013262>

Benavidez, M. J. (2021). *The Building Regulation for Resilience Program—Resilient Building Regulation in the Caribbean*. Banco Mundial.

<https://doi.org/10.1596/36414>

Benites Elorreaga, L., y Gammie, G. (2021). *Abriendo el caño: Estado del financiamiento en la infraestructura natural para la seguridad hídrica en el Perú, 2021* (Infraestructura Natural Para La Seguridad Hídrica). Forest Trends Association.

[https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2021/12/Estado-del-financiamiento-en-infraestructura-natural-para-la-SIPeru\\_2021.pdf](https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2021/12/Estado-del-financiamiento-en-infraestructura-natural-para-la-SIPeru_2021.pdf)

BID (Banco Interamericano de Desarrollo). (2024, octubre 24). *Four Countries in the Region to Boost Nature-Based Solutions with IDB and Canada Support*. <https://www.iadb.org/en/news/four-countries-region-boost-nature-based-solutions-idb-and-canada-support>

BID (Banco Interamericano de Desarrollo), CAF (Banco de Desarrollo de América Latina), y CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2025). *Infralatam* [Dataset]. <https://www.infralatam.info/home/>

BID (Banco Interamericano de Desarrollo) y BID Invest. (2018). *What is Sustainable Infrastructure? A Framework to Guide Sustainability Across the Project Cycle* (Nota Técnica del BID No. 1388). Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0001043>

BID Invest. (2025). *Blended Finance*. <https://idbinvest.org/en/solutions/blended-finance#:~:text=Blended%20>

Bjerregaard, C., y Møller, N. F. (2019). The impact of EU's energy labeling policy: An econometric analysis of increased transparency in the market for cold appliances in Denmark. *Energy Policy*, 128, 891–899. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.01.057>

Blackman, A., Cavallo, E. A., Hoffmann, B., y Vogt-Schilb, A. (2025). Averting Danger, Seizing Opportunity. En A. Blackman, E. A. Cavallo, B. Hoffmann, y A. Vogt-Schilb (Eds.), *Peril and Promise: Tackling Climate Change in Latin America and the Caribbean*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0013427>

Boyes, C., y Andersson, K. (2023). Getting citizens to conserve water: A comparison of crisis responses in Bogota and Mexico City. *Elem Sci Anth*, 11(1), 00142. <https://doi.org/10.1525/elementa.2022.00142>

Braga, B., y Kelman, J. (2020). Facing the challenge of extreme climate: The case of Metropolitan Sao Paulo. *International Journal of Water Resources Development*, 36(2–3), 278–291. <https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1698412>

Brichetti, J. P., Cavallo, E. A., y Serebrisky, T. (2024). *El fondeo de infraestructura en América Latina y el Caribe: Mecanismos y alternativas de política* (Monografía del BID no. 1248). Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0013274>

Brichetti, J. P., Mastronardi, L., Rivas, M. E., Serebrisky, T., y Solís, B. (2021). *The infrastructure gap in Latin America and the Caribbean: Investment needed through 2030 to meet the sustainable development goals* (Monografía del BID No. 962). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0003759>

Byers, E. A., Coxon, G., Freer, J., y Hall, J. W. (2020). Drought and climate change impacts on cooling water shortages and electricity prices in Great Britain. *Nature Communications*, 11(1), 2239.

<https://doi.org/10.1038/s41467-020-16012-2>

CAF (Banco de Desarrollo de América Latina). (2018). *Guía de Buenas Prácticas para la Adaptación de las Carreteras al Clima*. Banco de Desarrollo de América Latina - CAF.

<https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1221>

Calatayud, A., Rivas, M. E., Camacho, J., Beltrán, C., Ansaldo, M., y Café, E. (2023). *Transportation 2050: Pathways to decarbonization and climate resilience in Latin America and the Caribbean* (Monografía del BID No. 1129). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0005196>

Caldwell, P. V., Martin, K. L., Vose, J. M., Baker, J. S., Warziniack, T. W., Costanza, J. K., Frey, G. E., Nehra, A., y Mihlar, C. M. (2023). Forested watersheds provide the highest water quality among all land cover types, but the benefit of this ecosystem service depends on landscape context. *Science of The Total Environment*, 882, 163550.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163550>

Camacho, J. (2024). *Exposición de la infraestructura de transporte a los efectos del cambio climático en América Latina y el Caribe* (Nota Técnica del BID No. 2903). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0012915>

Caramichael, J., y Rapp, A. C. (2024). The green corporate bond issuance premium. *Journal of Banking & Finance*, 162, 107126.

<https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2024.107126>

Carrera, J., Arroyo, V., Rojas, F., y Mejia, A. (2018). Water Security in Latin America: The Urban Dimension. Empirical Evidence and Policy Implications from 26 Cities. En *Global Water Security: Lessons Learnt and Long-Term Implications* (pp. 217–232). Springer Singapore.

[https://doi.org/10.1007/978-981-10-7913-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7913-9_9)

Casady, C. B., y Suárez-Alemán, A. (2025). *Evaluating the impact of Public-Private Partnerships Enabling Conditions on Infrastructure Development: Evidence from Latin America and the Caribbean* (Documento de Trabajo del BID No. 1735). Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://doi.org/10.18235/0013616>

Cavallo, E. A., Hoffmann, B., y Dueñas, J. (2025). The Cold Macroeconomic Reality of a Warmer Climate. En A. Blackman, E. A. Cavallo, B. Hoffmann, y A. Vogt-Schilb (Eds.), *Peril and Promise: Tackling Climate Change in Latin America and the Caribbean*. Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://doi.org/10.18235/0013427>

Cavallo, E. A., Powell, A., y Serebrisky, T. (Eds.). (2020). *From Structures to Services: The Path to Better Infrastructure in Latin America and the Caribbean*. Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://doi.org/10.18235/0002506>

Cavallo, E., y León-Gómez, C. (De próxima publicación). *Infrastructure for Access to Basic Services in Amazonia*. Banco Interamericano de Desarrollo.

Cavallo, E., y Noy, Ilan. (2011). Natural Disasters and the Economy—A Survey. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 5(1), 63–102.  
<https://doi.org/10.1561/101.00000039>

CDRI (Coalición para Infraestructura Resiliente ante Desastres). (2023). Financing for Disaster- and Climate-Resilient Infrastructure. In *Global Infrastructure Resilience—Capturing the Resilience Dividend* (1st ed.). CDRI Secretariat.  
<https://doi.org/10.59375/biennialreport.ed1>

Chambwera, M., Heal, G., Dubeux, C., Hallegatte, S., Leclerc, L., Markandya, A., McCarl, B. A., Mechler, R., y Neumann, J. E. (2014). Economics of adaptation. En C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, y L. L. White (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap17\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap17_FINAL.pdf)

Chaves Maia, P. H. (2022). The Commuting Costs of High Intensity Rains: Evidence From Rio de Janeiro. *SSRN Electronic Journal*.  
<https://doi.org/10.2139/ssrn.4283281>

Churchill, S. A., Smyth, R., y Trinh, T.-A. (2022). Energy poverty, temperature and climate change. *Energy Economics*, 114, 106306.

<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106306>

Ciasca, B. S., Klemz, C., Raepfle, J., Kroeger, T., Acosta, E. A. P., Cho, S. J., Barreto, S., Bracale, H., y Cesário, F. (2023). Economic Cost of Drought and Potential Benefits of Investing in Nature-Based Solutions: A Case Study in São Paulo, Brazil. *Water*, 15(3), 466.

<https://doi.org/10.3390/w15030466>

Climate-ADAPT. (2022, November 22). *El modelo Blue Spot: Una herramienta clave para evaluar los riesgos de inundación para la adaptación al cambio climático de las carreteras y los sistemas de autopistas nacionales.*

<https://climate-adapt.eea.europa.eu/es/metadata/tools/the-blue-spot-model-a-key-tool-in-assessing-flood-risks-for-the-climate-adaptation-of-national-roads-and-highway-systems>

Coase, R. H. (1960). The Problem of Social Cost. *The Journal of Law & Economics*, 3, 1–44.

<http://www.jstor.org/stable/724810>

Comisión Europea. (2024, May). *Energy Performance of Buildings Directive.*

[https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/energy-performance-buildings-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/energy-performance-buildings-directive_en)

Comisión Europea: Dirección General de Investigación e Innovación. (2022). *The vital role of nature-based solutions in a nature positive economy.* Publications Office of the European Union.

<https://data.europa.eu/doi/10.2777/307761>

Couleau, A., y Pérez-Urdiales, M. (De próxima publicación-a). *Inequalities in Drinking Water Access Under Drought Emergency in Urban Areas: The case of Mexico City.* Banco Interamericano de Desarrollo.

Couleau, A., y Pérez-Urdiales, M. (De próxima publicación-b). *The impacts of floods and landslides on Water and Sanitation Infrastructure in Colombia.* Banco Interamericano de Desarrollo.

CPI (Iniciativa de Política Climática). (2024). *Global Landscape of Climate Finance 2024.* Climate Policy Initiative.

<https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/global-landscape-of-climate-finance-2024/>

Cullen, C. A., Al Suhili, R., y Aristizabal, E. (2022). A Landslide Numerical Factor Derived from CHIRPS for Shallow Rainfall Triggered Landslides in Colombia. *Remote Sensing*, 14(9), 2239.  
<https://doi.org/10.3390/rs14092239>

Dagnino Contreras, V., Lerner, A., Ambrosano, J., Costa, D., Borges, S., y Isaza, D. (2023). *Latin America and the Caribbean Sustainable Debt State of the Market 2022*. Climate Bonds Initiative.  
<https://www.climatebonds.net/data-insights/publications/latin-america-caribbean-sustainable-debt-state-market-2022>

D'Amico, S., Klausmann, J., y Pancost, N. A. (2024). *The Benchmark Greenium. Working Paper*.

Delgado, R., Galindo, A. J., Meirovich, H. G., y Yañez-Pagans, P. (2025). Filling the Finance Gap: What Multilateral Development Banks Can Do. En A. Blackman, E. A. Cavallo, B. Hoffmann, y A. Vogt-Schilb (Eds.), *Peril and Promise: Tackling Climate Change in Latin America and the Caribbean*. Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://doi.org/10.18235/0013427>

Diffenbaugh, N. S., y Burke, M. (2019). Global warming has increased global economic inequality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(20), 9808–9813.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1816020116>

Donnelly, K., y Cooley, H. (2015). *Water use trends. Pacific Institute, Oakland, California, 851*.  
<https://pacinst.org/wp-content/uploads/2015/04/Water-Use-Trends-Report.pdf>

Dos Santos Alvalá, R. C., De Assis Dias, M. C., Saito, S. M., Stenner, C., Franco, C., Amadeu, P., Ribeiro, J., Souza De Moraes Santana, R. A., y Nobre, C. A. (2019). Mapping characteristics of at-risk population to disasters in the context of Brazilian early warning system. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 41, 101326.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101326>

Economist Impact. (2022). *Evaluating the environment for public-private partnerships in Latin America and the Caribbean: The 2021/22 Infrascopes*.  
[https://impact.economist.com/new-globalisation/infrascopes-2024/downloads/EIU\\_INFRASCOPE\\_2021\\_12.pdf](https://impact.economist.com/new-globalisation/infrascopes-2024/downloads/EIU_INFRASCOPE_2021_12.pdf)

Economist Impact. (2024). *Infrascopes 2023/24: Evaluating the environment for public-private partnerships in Latin America and the Caribbean*.

<https://impact.economist.com/new-globalisation/infrascopes-2024/en/>

El Observador. (2024, junio 26). *Encuesta sobre los uruguayos y el agua: ¿cómo la toman, confían en la de OSE, qué aportes harían?* El Observador.

<https://www.elobservador.com.uy/agro/encuesta-los-uruguayos-y-el-agua-como-la-toman-confian-la-ose-que-aportes-harian-n5948115>

EMBER. (2025). *Yearly electricity data* [Dataset].

<https://ember-energy.org/data/yearly-electricity-data/>

Enriquez, L., Saldarriaga, J., Berardi, L., Laucelli, D., y Giustolisi, O. (2023). Using artificial intelligence models to support water quality prediction in water distribution networks. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1136(1), 012009.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1136/1/012009>

Esposito, M., Palma, L., Belli, A., Sabbatini, L., y Pierleoni, P. (2022). Recent Advances in Internet of Things Solutions for Early Warning Systems: A Review. *Sensors*, 22(6), 2124.

<https://doi.org/10.3390/s22062124>

Fane, S., Grossman, C., y Schlunke, A. (2020). Australia's water efficiency labelling and standards scheme: Summary of an environmental and economic evaluation. *Water Supply*, 20(1), 1–12.

<https://doi.org/10.2166/ws.2019.137>

Faruqui, A., y Bourbonnais, C. (2020). The Tariffs of Tomorrow: Innovations in Rate Designs. *IEEE Power and Energy Magazine*, 18(3), 18–25.

<https://doi.org/10.1109/MPE.2020.2972136>

Fay, M., Han, S., Lee, H. I., Mastruzzi, M., y Cho, M. (2019). *Hitting the Trillion Mark: A Look at How Much Countries Are Spending on Infrastructure (9730; Policy Research Working Paper)*. Grupo Banco Mundial.

<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/b78e5b7d-15e9-545e-92be-bdc8edf1d3c0>

Fay, M., Martimort, D., y Straub, S. (2021). Funding and financing infrastructure: The joint-use of public and private finance. *Journal of Development Economics*, 150, 102629.

<https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2021.102629>

Fedrigo, W., Núñez, W. P., y Visser, A. T. (2020). A review of full-depth reclamation of pavements with Portland cement: Brazil and abroad. *Construction and Building Materials*, 262, 120540.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120540>

Feeny, S., Trinh, T.-A., y Zhu, A. (2021). Temperature shocks and energy poverty: Findings from Vietnam. *Energy Economics*, 99, 105310.  
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105310>

Ferrazzo Naspolini, G., Libra, J. M., y Pérez-Urdiales, M. (2024). *Water Footprint Estimation in Latin America* (Nota Técnica del BID No. 2884). Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://doi.org/10.18235/0005527>

FHWA (Administración Federal de Carreteras). (2019). *Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: An Implementation Guide*. Federal Highway Administration (FHWA).  
[https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing\\_and\\_current\\_research/green\\_infrastructure/implementation\\_guide/fhwahep19042.pdf](https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/green_infrastructure/implementation_guide/fhwahep19042.pdf)

Fischbach, J., Lempert, R., Molina-Perez, E., Tariq, A., Finucane, M., y Hoss, F. (2015). *Managing Water Quality in the Face of Uncertainty: A Robust Decision Making Demonstration for EPA's National Water Program*. RAND Corporation.  
<https://doi.org/10.7249/RR720>

FMI (Fondo Monetario Internacional). (2024). *Ecuador: Selected Issues*. 2024(358).  
<https://doi.org/10.5089/9798400297724.002>

Frisari, G. L., y Messervy, M. (2021). *Investing in Sustainable Infrastructure in Latin America: Instruments, Strategies and Partnerships for Institutional Investors Mobilization* (Nota Técnica del BID No. 2196). Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://doi.org/10.18235/0003676>

Gleick, P. H. (Ed.). (2004). *The world's water: The biennial reports on freshwater resources*. Island Press.  
<https://pacinst.org/publication/the-worlds-water-2004-2005/#:~:text=In%20this%20Series-,Overview,for%20purchase%20from%20Island%20Press>

Glemarec, Y., Solana, M., y Babinsky, F. (2025). *Synergy Solutions 2025: Closing the climate and disaster insurance protection gap*. Expert Group on Climate and SDG Synergy.

<https://sdgs.un.org/sites/default/files/2025-07/Thematic%20Report%20on%20Finance.pdf>

Gonzalez-Salazar, M., y Roger Poganietz, W. (2022). Making use of the complementarity of hydropower and variable renewable energy in Latin America: A probabilistic analysis. *Energy Strategy Reviews*, 44, 100972.

<https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100972>

Gordillo, F., Calderón, S., Romero, G., Ordóñez, D. A., Álvarez, A., Sánchez-Aragón, L., y Ludeña, C. E. (2015). *Impactos económicos del cambio climático en Colombia: Sector transporte* (Monografía del BID No. 259). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0000132>

Grauert, M., Hansson, K., y Hellman, F. (2010). *Literature, questionnaire and data collection for blue spot identification Report 182—2010*. Road Directorate, Danish Road Institute.

[https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/background\\_report.pdf](https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/background_report.pdf)

Grünwaldt, A., Glass, M.-L., y McCarthy, N. (2021). *Identification of Climate Resilience Opportunities and Metrics in Financing Operations: A Technical Reference Document for IDB Project Teams* (Nota Técnica del BID No. 2192). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0003432>

Hallegatte, S. (2012). *A Cost Effective Solution to Reduce Disaster Losses in Developing Countries: Hydro-Meteorological Services, Early Warning, and Evacuation*. Banco Mundial.

<https://hdl.handle.net/10986/9359>

Hallegatte, S., Rentschler, J., y Rozenberg, J. (2019). *Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity*. El Banco Mundial.

<https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1430-3>

Hallegatte, S., y Rozenberg, J. (2017). Climate change through a poverty lens. *Nature Climate Change*, 7(4), 250–256.

<https://doi.org/10.1038/nclimate3253>

Hallegatte, S., Vogt-Schilb, A., Bangalore, M., y Rozenberg, J. (2017). *Unbreakable: Building the Resilience of the Poor in the Face of Natural Disasters*. Grupo Banco Mundial.  
<https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1003-9>

He, Y., Thies, S., Avner, P., y Rentschler, J. (2021). Flood impacts on urban transit and accessibility—A case study of Kinshasa. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 96, 102889.  
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102889>

Herrera-León, S., Cruz, C., Kraslawski, A., y Cisternas, L. A. (2019). Current situation and major challenges of desalination in Chile. *Desalination and Water Treatment*, 171, 93–104.  
<https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24863>

Hong, H., y Shore, E. (2023). Corporate Social Responsibility. *Annual Review of Financial Economics*, 15(1), 327–350.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-financial-111021-094347>

ICAO (Organización de Aviación Civil Internacional). (2022). *Climate Change: Climate Risk Assessment, Adaptation and Resilience. Key steps in Aviation Organisation Climate Change Risk Assessment and Adaptation Planning*.  
[https://www2023.icao.int/environmental-protection/Documents/Climate%20Risk%20Assessment%20and%20Adaptation%20Report\\_Key%20Steps%20Risk%20Assessment\\_final.pdf](https://www2023.icao.int/environmental-protection/Documents/Climate%20Risk%20Assessment%20and%20Adaptation%20Report_Key%20Steps%20Risk%20Assessment_final.pdf)

Instituto Brasileiro de Geografia y Estadística. (2025). *Population | IBGE*.  
<https://www.ibge.gov.br/en/statistics/social/population.html>

Iossa, E., y Martimort, D. (2015). The Simple Microeconomics of Public- Private Partnerships. *Journal of Public Economic Theory*, 17(1), 4–48.  
<https://doi.org/10.1111/jpet.12114>

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). (2022). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1st ed.). Cambridge University Press.  
<https://doi.org/10.1017/9781009325844>

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). (2023). Water. En *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 551–712). Cambridge University Press.

<https://doi.org/10.1017/9781009325844.006>

Kadri, F., Birregah, B., y Châtelet, E. (2014). The Impact of Natural Disasters on Critical Infrastructures: A Domino Effect-based Study. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 11(2), 217–241.

<https://doi.org/10.1515/jhsem-2012-0077>

Kelly, D. (2015). Labelling and water conservation: A European perspective on a global challenge. *Building Services Engineering Research and Technology*, 36(6), 643–657.

<https://doi.org/10.1177/0143624415571758>

Kenward, A., y Raja, U. (2014). *Blackout: Extreme weather, climate change and power outages*. Climate Central.

<https://assets.climatecentral.org/pdfs/PowerOutages.pdf>

Koetse, M. J., y Rietveld, P. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(3), 205–221.

<https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.12.004>

Lau, P., Sze, A., Wan, W., y Wong, A. (2022). The Economics of the Greenium: How Much is the World Willing to Pay to Save the Earth? *Environmental and Resource Economics*, 81(2), 379–408.

<https://doi.org/10.1007/s10640-021-00630-5>

Lazarova, V., Asano, T., Bahri, A., y John, A. (2013). *Milestones in water reuse: The best success stories*. IWA Pub.

<https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/43790>

Libertun De Duren, N. R., y González Jaramillo, M. J. (2025). Cities: A Hot Spot in the Fight against Climate Change. En A. Blackman, E. A. Cavallo, B. Hoffmann, y A. Vogt-Schilb (Eds.), *Peril and Promise: Tackling Climate Change in Latin America and the Caribbean*. Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0013427>

Libra, J. M., Collaer, J. S. M., Datshkovsky, D., y Pérez-Urdiales, M. (2022). *Scarcity in the Land of Plenty* (Nota Técnica del BID No. 2411). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0003969>

López, D., Mejdalani, A. N., Carvalho Metanias Hallack, M., y Chueca, J. E. (2022). *The energy path of Latin America and the Caribbean* (Monografía del BID No. 1037). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0004433>

López-Ruiz, S., Cunial, S., Libra, J. M., Naspolini, G., y Pérez-Urdiales, M. (2024). *How Much do Households Pay for Water Supply and Sanitation Services in Latin America? A Descriptive Analysis of Tariffs and Subsidies in the Region* (Monografía del BID No. 1206). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0012956>

Magrin, G. O. (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe* (Estudios de Cambio Climático En América Latina). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Naciones Unidas.

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/618b144d-e069-4e38-8e12-1da1a0bdb817/content>

Marchau, V. A. W. J., Walker, W. E., Bloemen, P. J. T. M., y Popper, S. W. (Eds.). (2019). *Decision Making under Deep Uncertainty: From Theory to Practice*. Springer International Publishing.

<https://doi.org/10.1007/978-3-030-05252-2>

McRae, S. D. (2023). *Residential Electricity Consumption and Adaptation to Climate Change by Colombian Households* (Documento de Trabajo del BID No. 1477). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0005017>

Michetti, C., Chouhan, N., Harrison, C., y MacGeoch, M. (2023). *Sustainable Debt Global State of the Market 2022*. Climate Bonds Initiative.

<https://www.climatebonds.net/resources/reports/global-state-market-report-2022>

Molinos-Senante, M., y Donoso, G. (2016). Water scarcity and affordability in urban water pricing: A case study of Chile. *Utilities Policy*, 43, 107–116.

<https://doi.org/10.1016/j.jup.2016.04.014>

Monioudi, I. N., Asariotis, R., Becker, A., Bhat, C., Dowding-Gooden, D., Esteban, M., Feyen, L., Mentaschi, L., Nikolaou, A., Nurse, L., Phillips, W., Smith, D. A. Y., Satoh, M., Trotz, U. O., Velegrakis, A. F., Voukouvalas, E., Vousdoukas, M. I., y Witkop, R. (2018). Climate change impacts on critical international transportation assets of Caribbean Small Island Developing States (SIDS): The case of Jamaica and Saint Lucia. *Regional Environmental Change*, 18(8), 2211–2225.

<https://doi.org/10.1007/s10113-018-1360-4>

Morris, S. S., Neidecker-Gonzales, O., Carletto, C., Munguía, M., Medina, J. M., y Wodon, Q. (2002). Hurricane Mitch and the Livelihoods of the Rural Poor in Honduras. *World Development*, 30(1), 49–60.

[https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(01\)00091-2](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(01)00091-2)

Nascimento, G., Huback, V., Schaeffer, R., Lima, L., Ludovique, C., Paredes, J. R., Lucena, A. F. P., Vasquez, E., Viviescas, C., Magalar, L., Szklo, A., y Amendola, F. (2017). *Contribution of Variable Renewable Energy to Increase Energy Security in Latin America* (Monografía del BID No. 562). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0012825>

OCHA. (2023). *Overview of disasters in Latin America and the Caribbean 2000-2022*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs.

<https://www.undrr.org/quick/80291>

Olaya González, J. C., Suardí Gómez, A., Lefevre, B., y Rodríguez Porcel, M. (2022). *Transporte resiliente al cambio climático: ¿Cómo priorizar la inversión?: Caso de República Dominicana* (Nota Técnica del BID No. 2583). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0004576>

Oliver, E., Ozment, S., Grunwaldt, A., Silva Paredes, M., y Watson, G. (2021). *Nature-based Solutions in Latin America and the Caribbean: Support from the Banco Interamericano de Desarrollo* (Monografía del BID No. 956). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0003689>

Oppla. (2023). *Ljubljana: Nbs for Urban Regeneration and Wellbeing*.

<https://oppla.eu/case-study/ljubljana-nbs-urban-regeneration-and-wellbeing>

Ozment, S., Schumacher, A., Gonzalez, M., Oliver, E., Morales, G., Gartner, T., Silva, M., Grunwaldt, A., y Watson, G. (2021). *Nature-based Solutions in Latin America and the Caribbean: Regional Status and Priorities for Growth* (Monografía del BID No. 955). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0003687>

Panteli, M., y Mancarella, P. (2015). Influence of extreme weather and climate change on the resilience of power systems: Impacts and possible mitigation strategies. *Electric Power Systems Research*, 127, 259–270.

<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.06.012>

Pastor, C. (2020). *El mantenimiento como herramienta para conseguir infraestructura de alta calidad y durabilidad* (Monografía del BID No. 772). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0002140>

Pérez-Urdiales, M., y Baerenklau, K. A. (2019). Learning to live within your (water) budget: Evidence from allocation-based rates. *Resource and Energy Economics*, 57, 205–221.

<https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2019.06.002>

Pietsch, A., y Salakhova, D. (2025). Pricing of Green Bonds—Drivers and Dynamics of the Greenium. *Working Paper*.

Pigou, A. (1920). *The Economics of Welfare* (4th ed.). Macmillan.

<https://oll.libertyfund.org/titles/pigou-the-economics-of-welfare>

Pregolato, M., Ford, A., Glenis, V., Wilkinson, S., y Dawson, R. (2017). Impact of Climate Change on Disruption to Urban Transport Networks from Pluvial Flooding. *Journal of Infrastructure Systems*, 23(4).

[https://doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000372](https://doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000372)

Programa de Corredores Biológicos de Costa Rica. (2021). *Guía Soluciones Basadas en la Naturaleza*.

[https://biocorredores.org/biodiver-city-sanjose/sites/default/files/2021-11/Guía\\_SbN\\_CiudadVerde\\_Versión%20ligera.pdf](https://biocorredores.org/biodiver-city-sanjose/sites/default/files/2021-11/Guía_SbN_CiudadVerde_Versión%20ligera.pdf)

Quesnel, K. J., y Ajami, N. K. (2017). Changes in water consumption linked to heavy news media coverage of extreme climatic events. *Science Advances*, 3(10), e1700784.

<https://doi.org/10.1126/sciadv.1700784>

Rogers, D., y Tsirkunov, V. (2010). *Global assessment report on disaster risk reduction: Costs and benefits of early warning systems*. Banco Mundial.  
<http://documents.worldbank.org/curated/en/609951468330279598>

Rozenberg, J., Espinet Alegre, X., Avner, P., Fox, C., Hallegatte, S., Koks, E., Rentschler, J., Tariverdi, M., y Avner, P. (2019). *From A Rocky Road to Smooth Sailing: Building Transport Resilience to Natural Disasters*. Banco Mundial.  
<https://doi.org/10.1596/31913>

Rozenberg, J., y Fay, M. (2019). *Beyond the Gap: How Countries Can Afford the Infrastructure They Need while Protecting the Planet*. Banco Mundial.  
<https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1363-4>

Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de Sao Paulo. (2015a). *Relatório de Sustentabilidade 2015*. Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de Sao Paulo.  
<https://www.sabesp.com.br/site/toq/x/y/sabesp-2015-rs-portugues.pdf>

Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de Sao Paulo. (2015b). *Sustentabilidade*. Sabesp.  
<https://ri.sabesp.com.br/a-companhia/relatorio-de-sustentabilidade/>

San Salvador Del Valle, M., Solaun, K., Alleng, G., Flores, A., y Abadal, J. (2022). *Climate Change Impacts on Hydropower and Electricity Demand in Suriname* (2022nd ed., Nota Técnica del BID No. 2466). Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://doi.org/10.18235/0004214>

Sauma, E., Poveda Bonilla, R., y Gil Sevilla, M. (2025). *Estudio metodológico para la planificación eléctrica resiliente en América Latina y el Caribe* (Documentos de Proyectos LC/TS.2025/29). Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL.  
<https://repositorio.cepal.org/entities/publication/876a7a7e-a3a7-41e3-81c0-860c2f3b5209>

Schleich, J. (2019). Energy efficient technology adoption in low-income households in the European Union – What is the evidence? *Energy Policy*, 125, 196–206.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.061>

Scholl, L., Fook, A., Rebolledo, J. D. B., Rivas, M. E., Montes, L., Montoya, V., Pedraza, L., Noboa, N., Sandoval, D., Lee, S., Porcel, M. R., Bocarejo, J. P., Tovar, E. V., Urrego, L. F., Moreno, J. P., Bertucci, J. P., Oviedo, D., Sabogal-Cardona, O., Serebrisky, T., y Mojica, C. (2022). *Transport for Inclusive Development: Defining a Path for Latin America and the Caribbean* (Monografía del BID No. 1021). Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://doi.org/10.18235/0004335>

Schreiber, L. (2019). *Keeping the Taps Running: How Cape Town Averted 'Day Zero,' 2017-2018*. Princeton University Innovations for Successful Societies.  
<https://successfultsocieties.princeton.edu/publications/keeping-taps-running-how-cape-town-averted-day-zero-2017-2018>

Serebrisky, T., Suárez-Alemán, A., y Pastor, C. (2018). Public Infrastructure: Less Waste for Better Building. En A. Izquierdo, C. Pessino, y G. Vuletín (Eds.), *Better spending for better lives: How Latin America and the Caribbean can do more with less* (Vol. 10). Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://flagships.iadb.org/en/node/17354>

Shafieezadeh, A., Onyewuchi, U. P., Begovic, M. M., y DesRoches, R. (2014). Age-Dependent Fragility Models of Utility Wood Poles in Power Distribution Networks Against Extreme Wind Hazards. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 29(1), 131–139.  
<https://doi.org/10.1109/tpwrd.2013.2281265>

Solís, B. (2025). *Defying Outages: The Struggles and Strategies of Businesses Facing Unreliable Electricity* (Global Indicators Briefs 32). Grupo Banco Mundial.  
<http://documents.worldbank.org/curated/en/099859206252515733>

Solís, B., y Serebrisky, T. (2023). *Bajo presión: Efectos, impactos y adaptación al cambio climático en operadores de agua de América Latina y el Caribe* (Monografía del BID No. 1144). Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://doi.org/10.18235/0005170>

Starks, L. T. (2023). Presidential Address: Sustainable Finance and ESG Issues—Value versus Values. *The Journal of Finance*, 78(4), 1837–1872.  
<https://doi.org/10.1111/jofi.13255>

Strauss, B., y Kulp, S. (2018). *Sea-Level Rise Threats in the Caribbean Data, tools, and analysis for a more resilient future*. Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://sealevel.climatecentral.org/uploads/ssrf/Sea-level-rise-threats-in-the-Caribbean.pdf>

Suardí, A., Lefevre, B., y Rodríguez Porcel, M. (2024, March 6). Innovando para resiliencia en el transporte: Metodología Blue Spot Analysis en República Dominicana. *Moviliblog. Ideas de Transporte y Movilidad Para América Latina y El Caribe*.

<https://blogs.iadb.org/transporte/es/innovando-para-resiliencia-del-transporte-metologia-blue-spot-analysis-en-republica-dominicana/>

Suárez-Alemán, A., Silva Zuniga, M. C., e INERCO Consultoría Colombia. (2020). *Hacia una preparación eficiente y sostenible de proyectos de infraestructura: Identificando mejoras de eficiencia en la preparación de los componentes ambientales, prediales, y sociales de las asociaciones público-privadas y obra pública tradicional en América Latina y el Caribe* (Monografía del BID no. 820). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0002655>

Talbot-Wright, H., Hallack, M., y Vogt-Schilb, A. (2023). Powering Adaptation in the Electricity Sector. En H. Talbot-Wright y A. Vogt-Schilb (Eds.), *Heat and High Water: Nine Pathways to Climate Resilient Development*. Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0005214>

Tortajada, C., Joshi, Y. K., y Biswas, A. K. (2013). *The Singapore water story: Sustainable development in an urban city-state*. Routledge.

<https://www.routledge.com/The-Singapore-Water-Story-Sustainable-Development-in-an-Urban-City-state/Tortajada-Joshi-Biswas/p/book/9780415657839?srsId=AfmBOoqxuMYC4aTZQc53hiZHybnCQ6OFhFyVGCh3pZequ59-VT34w-6Z>

UNDRR (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres). (2022). *Principles for resilient infrastructure*.

<https://www.undrr.org/publication/principles-resilient-infrastructure>

UNDRR (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres), y OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2023). *Global Status of Multi-Hazard Early Warning Systems*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction and World Meteorological Organization.

<https://www.undrr.org/media/91954/download?startDownload=20250822>

US EPA. (2025, agosto 6). *Chicago, IL Uses Green Infrastructure to Reduce Heat Event Impacts* (Illinois) [Overviews and Factsheets].

<https://www.epa.gov/arc-x/chicago-il-uses-green-infrastructure-reduce-heat-event-impacts>

UTE. (2025). *Medición Inteligente*.

<https://www.ute.com.uy/medicion-inteligente>

Van Houtven, G., Gallaher, M., Woollacott, J., y Decker, E. (2022). *Act Now or Pay Later: The Costs of Climate Inaction for Ports and Shipping*. RTI International.

<https://www.edf.org/sites/default/files/press-releases/RTI-EDF%20Act%20Now%20or%20Pay%20Later%20Climate%20Impact%20Shipping.pdf>

Vega, J., Barco, J., y Hidalgo, C. (2024). Space-time analysis of the relationship between landslides occurrence, rainfall variability and ENSO in the Tropical Andean Mountain region in Colombia. *Landslides*, 21(6), 1293–1314.

<https://doi.org/10.1007/s10346-024-02225-9>

Velloso, H., y Perrotti, D. E. (2023). *Sustainable bond issuances in international markets, 2014–2022: Characteristics, trends and greenium in Latin America and the Caribbean* (25; Studies and Perspectives Series-ECLAC Office in Washington, D.C.). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

<https://www.cepal.org/en/notes/sustainable-bond-issuances-international-markets-2014-2022-characteristics-trends-and-greenium>

Wang, P., Asare, E. O., Pitzer, V. E., Dubrow, R., y Chen, K. (2023). Floods and Diarrhea Risk in Young Children in Low- and Middle-Income Countries. *JAMA Pediatrics*, 177(11), 1206.

<https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2023.3964>

Weiss, M., Chueca, J. E., Jacob, J., Gonçalves, F., Azevedo, M., Gouvêa, A., Ravillard, P., y Carvalho Metanias Hallack, M. (2022). *Empowering Electricity Consumers through Demand Response Approach: Why and How* (1312). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://publications.iadb.org/en/empowering-electricity-consumers-through-demand-response-approach-why-and-how>

Woetzel, J., Pinner, D., Samandari, H., Engel, H., Krishnan, M., Boland, B., y Powis, C. (2020). *Climate risk and response: Physical hazards and socioeconomic impacts, Will infrastructure bend or break under climate stress?* McKinsey Global Institute.

<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/sustainability/our%20insights/climate%20risk%20and%20response%20physical%20hazards%20and%20socioeconomic%20impacts/mgi-climate-risk-and-response-full-report-vf.pdf>

Wong, W. C., Ng, H. T., Chan, R., Evain, B., y Ang, H. (2019). Going real time in water conservation – the Singapore experience. *Water Practice and Technology*, 14(1), 36–42.

<https://doi.org/10.2166/wpt.2018.117>

Wu, S., Hu, F., y Zhang, Z. (2025). Climate change and energy poverty: Evidence from China. *World Development*, 186, 106826.

<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2024.106826>

Yang, B. (2025). Explaining Greenium in a Macro-Finance Integrated Assessment Model. *Working Paper*.

<https://biao-yang-sjtu.github.io/files/MFIAM6.pdf>

Yépez-García, A., y Jimenez Mori, R. A. (2024). *Economics of Electricity Losses in Latin America and the Caribbean* (A. Yépez-García y R. A. Jimenez Mori, Eds.). Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0012971>

Zetland, D. (2021). The role of prices in managing water scarcity. *Water Security*, 12, 100081.

<https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100081>

Zuffo, A. C., Duarte, S. N., Jacomazzi, M. A., Cucio, M. S., y Galbetti, M. V. (2023). The Cantareira System, the Largest South American Water Supply System: Management History, Water Crisis, and Learning. *Hydrology*, 10(6), 132.

<https://doi.org/10.3390/hydrology10060132>

# Anexos

## Anexo 4.1. Categorías de proyectos verdes elegibles

### Las categorías de proyectos verdes elegibles incluyen, entre otras, las siguientes:

- Energías renovables
- Eficiencia energética (como edificios nuevos y renovados, almacenamiento de energía, calefacción urbana, redes inteligentes, dispositivos y productos)
- Prevención y control de la contaminación (incluida la reducción de las emisiones atmosféricas, el control de los gases de efecto invernadero, la descontaminación del suelo, la prevención y reducción de residuos, el reciclaje de residuos y la transformación eficiente de residuos en energía)
- Gestión sostenible de los recursos naturales y uso del suelo (incluida la agricultura sostenible, la ganadería sostenible, los insumos agrícolas climáticamente inteligentes como la protección biológica de los cultivos o el riego por goteo, la pesca y la acuicultura)
- Silvicultura sostenible, incluida la forestación o reforestación y la conservación o restauración de paisajes naturales
- Conservación de la biodiversidad terrestre y acuática (incluida la protección de los entornos costeros, marinos y de las cuencas hidrográficas)
- Transporte limpio (como el transporte eléctrico, híbrido, público, ferroviario, no motorizado y multimodal, así como la infraestructura de vehículos de energía limpia y la reducción de emisiones nocivas)
- Gestión sostenible del agua y de las aguas residuales (incluida la infraestructura sostenible para el agua potable, el tratamiento

de aguas residuales, los sistemas sostenibles de drenaje urbano y el acondicionamiento de ríos y otras formas de mitigación de inundaciones)

- Adaptación al cambio climático (incluidos los esfuerzos para hacer que las infraestructuras sean más resilientes a los efectos del cambio climático, así como los sistemas de apoyo a la información, como los sistemas de observación climática y de alerta temprana)
- Productos, tecnologías de producción y procesos adaptados a la economía circular (como el diseño y la introducción de materiales, componentes y productos reutilizables, reciclables y reacondicionados, herramientas y servicios circulares, y productos ecoeficientes certificados)
- Edificios ecológicos que cumplan con normas o certificaciones de rendimiento medioambiental reconocidas a nivel regional, nacional o internacional

**Fuente:** Arciniegas et al. (de próxima publicación).

## Anexo 4.2.

### Categorías de proyectos sociales elegibles

**Las categorías de proyectos sociales elegibles incluyen, entre otras, las siguientes:**

- Infraestructura básica asequible (como agua potable, alcantarillado, saneamiento, transporte y energía)
- Acceso a servicios esenciales (como salud, educación y formación profesional, atención médica, financiación y servicios financieros)
- Vivienda asequible

- Generación de empleo y programas diseñados para prevenir y/o aliviar el desempleo derivado de crisis socioeconómicas, incluso a través del impacto potencial de la financiación de pymes y microfinanzas
- Seguridad alimentaria y sistemas sostenibles (como el acceso físico, social y económico a alimentos seguros, nutritivos y suficientes que satisfagan las necesidades y requisitos dietéticos, prácticas agrícolas resilientes, reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos y mejora de la productividad de los pequeños agricultores)
- Progreso socioeconómico y empoderamiento (como el acceso equitativo y el control de los activos, los servicios, los recursos y las oportunidades, la participación e integración equitativas en el mercado y la sociedad, y la reducción de la desigualdad de ingresos)

**Fuente:** Arciniegas et al. (de próxima publicación).

### Anexo 4.3. Tipo de emisores de bonos

1. **Soberanos:** gobiernos nacionales que emiten bonos para financiar el gasto público, los déficits presupuestarios o los proyectos de infraestructura. Ejemplos son los bonos verdes soberanos de Chile emitidos para financiar proyectos de infraestructura sostenible, o los bonos del gobierno de Brasil (Tesouro Nacional).
2. **Empresas no financieras:** empresas privadas o que cotizan en bolsa fuera del sector financiero que emiten bonos para obtener capital para la expansión empresarial, adquisiciones o refinanciación de la deuda. Ejemplos de ello son CEMEX (México), que emite bonos vinculados a la sostenibilidad, o Klabin (Brasil), que emite bonos verdes para proyectos forestales sostenibles.
3. **Empresas financieras:** bancos, compañías de seguros y otras instituciones financieras que emiten bonos para recaudar capital,

financiar actividades crediticias o cumplir con los requisitos de capital reglamentarios. Algunos ejemplos son el Banco Santander México, que emite bonos verdes, o BTG Pactual (Brasil), que emite bonos sociales para financiar préstamos a pymes.

- 4. Banco de desarrollo:** instituciones financieras multilaterales o nacionales que emiten bonos para financiar proyectos de desarrollo en materia de infraestructura, cambio climático y reducción de la pobreza. Algunos ejemplos son el BCIE (Banco Centroamericano de Integración Económica) o el BNDES (Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social de Brasil), que emiten bonos sostenibles para financiar proyectos de energía renovable.
- 5. Entidades respaldadas por el gobierno:** organizaciones que, aunque no forman parte directamente del gobierno, cuentan con el apoyo del Estado y emiten bonos con una garantía gubernamental implícita o explícita. Ejemplos de ello son NAFIN (Nacional Financiera) en México o CORFO (Corporación de Fomento de la Producción) en Chile, que emiten bonos con el respaldo del gobierno.
- 6. Emisores de bonos sin ánimo de lucro:** las organizaciones sin ánimo de lucro, como hospitales, universidades y organizaciones benéficas, pueden emitir bonos para financiar proyectos de capital, como la construcción de instalaciones o la ampliación de servicios. Ejemplos de ello son la Universidad de Los Andes (Colombia), que emite bonos para financiar la ampliación del campus, o la Fundación MAPFRE (con operaciones en toda América Latina), que emite bonos sociales.
- 7. Emisores de bonos de gobiernos locales:** los gobiernos locales, como ciudades, estados, provincias o municipios, emiten bonos para financiar proyectos públicos de infraestructura como carreteras, escuelas, servicios públicos y transporte. Estos bonos suelen denominarse bonos municipales o bonos subnacionales. Pueden estar respaldados por ingresos fiscales generales o por ingresos específicos de proyectos. Algunos ejemplos son la emisión de bonos verdes por parte de la Ciudad de México para financiar el transporte público, o la emisión de bonos por parte del estado de São Paulo (Brasil) para financiar proyectos de infraestructura hídrica.

**Fuente:** Arciniegas et al. (de próxima publicación).

