



BAJO PRESIÓN

Efectos, impactos y adaptación al cambio climático en operadores de agua de América Latina y el Caribe

AUTORES

Ben Solís Sosa
Tomás Serebrisky



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

Solís, Ben.

Bajo presión: efectos, impactos y adaptación al cambio climático en operadores de agua y saneamiento de América Latina y el Caribe/ Ben Solís, Tomás Serebrisky

p.cm . - (Monografía del BID ; 1144)

1. Water utilities-Environmental aspects-Latin America. 2. Water utilities-Environmental aspects-Caribbean Area. 3. Sanitation-Environmental aspects-Latin America. 4. Sanitation-Environmental aspects-Caribbean Area. 5. Infrastructure (Economics)-Environmental aspects-Latin America. 6. Infrastructure (Economics)-Environmental aspects-Caribbean Area. 7. Sustainable development-Latin America. 8. Sustainable development-Caribbean Area. I. Serebrisky, Tomás. II. Banco Interamericano de Desarrollo. Sector de Infraestructura y Energía. III. Título. IV. Serie.

IDB-MG-1144

Códigos JEL: H41, L95, Q01, Q15, Q21, Q25, Q54

Palabras clave: agua, agua potable, saneamiento, América Latina, Caribe, cambio climático, resiliencia, adaptación, seguridad hídrica, aguas subterráneas, gestión de recursos hídricos, soluciones basadas en la naturaleza, infraestructura natural, Objetivos de Desarrollo Sostenible, gestión de la demanda, escasez hídrica, estrés hídrico, gestión de riesgo de desastres, desarrollo de infraestructura, servicios ecosistémicos, política climática.

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2023 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

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 CNUDMI (UNCITRAL). 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 CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Agradecimientos

Los autores agradecen a María Pérez-Urdiales y Giovanna Napolini (WSA/INE) por sus comentarios a la encuesta diseñada para este estudio. Asimismo, agradecen a los operadores de agua y saneamiento en la región que contestaron la encuesta, así como a las siguientes personas por su gentil colaboración difundiendo el instrumento de recopilación de información: Valeria Suárez (Water Operators' Partnership Latin America & Caribbean - WOP-LAC), José Quintanilla (Asociación Nacional de Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento del Perú - ANEPSSA Perú), Cristian Zamudio (Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos y Comunicaciones de Colombia - Andesco), Sergio Antonio Gonçalves (Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento - AESBE) y Lorena Schmitt (Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios - Andess Chile).

Las opiniones expresadas en esta publicación pertenecen a los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo, ni de los países que representa.

Abreviaturas



ALC	América Latina y el Caribe
CAN	Países del Grupo Andino
CCB	Países del Grupo Caribe
CID	Países de Centroamérica, Haití, México, Panamá y República Dominicana
CSC	Países del Cono Sur
DMDU	Toma de decisiones bajo incertidumbre profunda (por sus siglas en inglés)
ENSO	(Fenómeno) El Niño - Oscilación del Sur
EPA	Environmental Protection Agency (Estados Unidos de América)
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MRSE	Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos
Sunass	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Perú)
UNDRR	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres
USD	Dólares estadounidenses



Gráficos

Gráfico 1	Factores que componen el riesgo de desastres y cambio climático
Gráfico 2	Índice de El Niño Oceánico (1950 - 2022)
Gráfico 3	Número de casos semanales de dengue en Perú (2020 - 2023)
Gráfico 4	Categorización IPCC de medidas de adaptación
Gráfico 5	Número de registros por década
Gráfico 6	Número de registros por sub región de ALC
Gráfico 7	Relación entre número de registros y tamaño de población y área de las sub regiones
Gráfico 8	Tamaño de los operadores encuestados
Gráfico 9	En los últimos 15 años, en una escala del 1 al 10, ¿cuánto estima que el cambio climático ha afectado a su empresa?
Gráfico 10	Operadores afectados por olas de calor o sequías
Gráfico 11	Operadores afectados por lluvias intensas y deslizamientos de tierra

Tablas



- Gráfico 12** ¿Cree que estos eventos son menos, igual o más frecuentes?
- Gráfico 13** ¿Cree que estos eventos son menos, igual o más intensos?
- Gráfico 14** ¿Con qué frecuencia su empresa o alguna autoridad en el ámbito de su empresa realiza campañas informativas para incentivar el uso responsable del agua?

- Tabla 1** Estrategias de adaptación al cambio climático por parte de operadores de agua y saneamiento
- Tabla 2** Países con información disponible reportada en la base de DesInventar
- Tabla 3** Números de registros por evento y sub región en ALC (1970-2013)
- Tabla 4** Análisis vertical: importancia de cada tipo de evento en cada sub región en ALC (1970-2013)
- Tabla 5** Análisis horizontal: concentración de eventos por sub región (1970-2013)
- Tabla 6** Registros que reportan daños a los sistemas de agua y saneamiento (1970-2013)
- Tabla 7** Países para los cuales se cuenta con información
- Tabla 8** ¿Qué impactos del cambio climático ha experimentado su empresa en los últimos 15 años?
- Tabla 9** ¿Cuál(es) de las siguientes medidas tradicionales ha adoptado su empresa para adaptarse al cambio climático?
- Tabla 10** ¿Cuál(es) de las siguientes medidas no tradicionales ha adoptado su empresa para adaptarse al cambio climático?
- Tabla 11** ¿Cómo se han financiado las medidas implementadas?

Recuadros



- Recuadro 1** Niño con fiebre: El Fenómeno El Niño en un entorno de cambio climático
- Recuadro 2** El cambio climático exagera los impactos negativos de la falta de infraestructura
- Recuadro 3** Perú: ¿cómo las tarifas de agua financian la adaptación al cambio climático?

Contenido



Resumen ejecutivo

PÁGINA 7

1 Introducción

PÁGINA 13

2 ¿Cómo afecta el cambio climático a los operadores de agua y cómo pueden adaptarse?

PÁGINA 15

2.1 Un entorno más variable e incierto: el cambio climático y el riesgo de desastres

PÁGINA 16

2.2 Presiones en la oferta y la demanda: efectos e impactos del cambio climático

PÁGINA 18

2.3 Servicios más resilientes: medidas de adaptación al cambio climático

PÁGINA 25

3 ¿Qué eventos relacionados al cambio climático suceden en América Latina y el Caribe y cuánto afectan a los servicios de agua y saneamiento?

PÁGINA 33

3.1 Características de la base de datos

PÁGINA 34

3.2 Registros de eventos en la región

PÁGINA 35

3.3 Registros de eventos que afectaron los sistemas de agua y saneamiento

PÁGINA 40

4 ¿Cómo afecta el cambio climático a los operadores de agua y saneamiento en la región?

PÁGINA 42

4.1 Metodología y características de los operadores participantes

PÁGINA 43

4.2 Resultados de la encuesta

PÁGINA 45

5 Referencias

PÁGINA 56

6 Anexos

PÁGINA 62

6.1 Ejemplos de medidas de adaptación en el sector de agua y saneamiento

PÁGINA 63

6.2 Lista de operadores que participaron en la encuesta

PÁGINA 66

Resumen ejecutivo

El cambio climático tiene impactos en la demanda y la oferta de los servicios de agua y saneamiento, pero existen opciones para adaptarse.

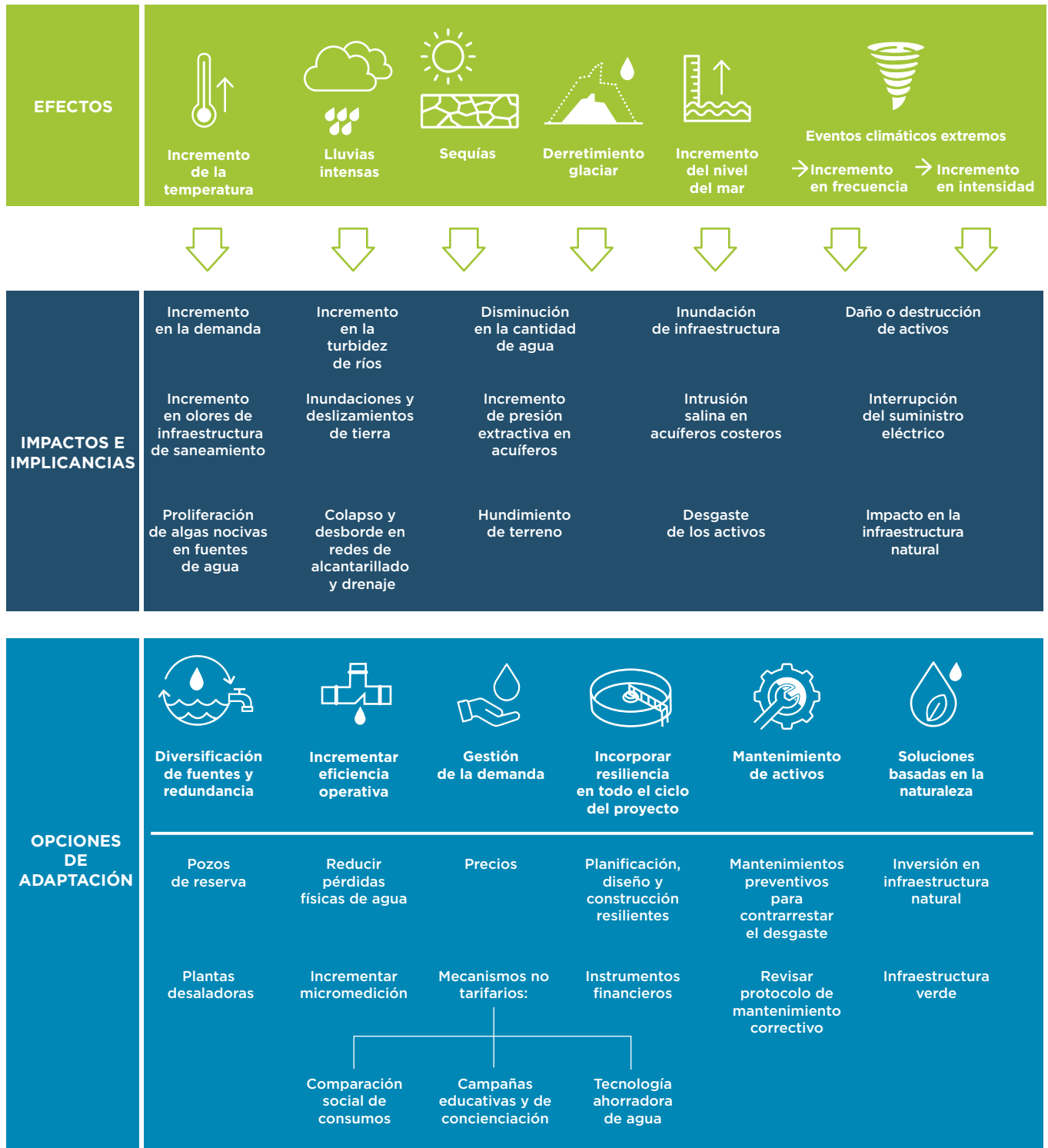
El cambio climático es sin duda uno de los mayores desafíos a los que nos enfrentamos como sociedad en la actualidad. Sus efectos incluyen el incremento en la temperatura (que está subiendo en Sudamérica incluso con una mayor rapidez que en el Caribe), lluvias intensas, sequías, el derretimiento de los glaciares, el incremento en el nivel del mar y el aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos. Los impactos sobre la prestación de los servicios de agua y saneamiento son diversos. Por el lado de la demanda, se espera un incremento del consumo poblacional por efecto del aumento de la temperatura, lo cual ejercerá una presión sobre las fuentes de agua. La demanda para usos no residenciales (agricultura, industria), que representan el 85% de la demanda de agua en la región, también será afectada por el aumento de la temperatura y otros efectos del cambio climático.

Por el lado de la oferta, el cambio climático modifica las condiciones bajo las cuales las empresas de agua han operado típicamente. Las sequías reducen la producción de agua potable en plantas de tratamiento; mientras que las lluvias intensas incrementan la turbidez de los ríos e incluso pueden generar deslizamientos de tierra que dañan o destruyen la infraestructura. Como resultado, los operadores suelen recurrir a fuentes subterráneas; sin embargo, la sobreexplotación de estas puede comprometer la seguridad hídrica y generar otros problemas como el hundimiento del terreno. El incremento en temperaturas aumenta la proliferación de algas nocivas, lo cual incrementa los costos de potabilización. Por su parte, el aumento en el nivel del mar es un factor que incrementa el riesgo de inundaciones de la infraestructura y puede generar intrusión salina de los acuíferos costeros. Por último, los eventos climáticos extremos pueden destruir infraestructura gris y natural y generar interrupciones en el suministro eléctrico, que es un insumo importante para la provisión del agua, afectando la prestación continua de los servicios.

Los operadores de agua tienen diversas opciones para adaptarse a los impactos del cambio climático. Estas medidas no son excluyentes entre sí y, por el contrario, es recomendable que sean adoptadas de manera complementaria. Esto permitirá contar con activos, servicios y usuarios resilientes a los impactos del cambio climático. Algunas de estas opciones incluyen la diversificación de fuentes y la inversión en redundancia del sistema, incrementar la eficiencia operativa, gestionar la demanda, incorporar la resiliencia en todo el ciclo de los proyectos de inversión, realizar mantenimientos adecuados para contrarrestar el desgaste de los activos, garantizar mantenimientos correctivos rápidos e implementar soluciones basadas en la naturaleza.

Gráfico RE.1

Efectos, impactos y opciones de adaptación en los servicios de agua y saneamiento



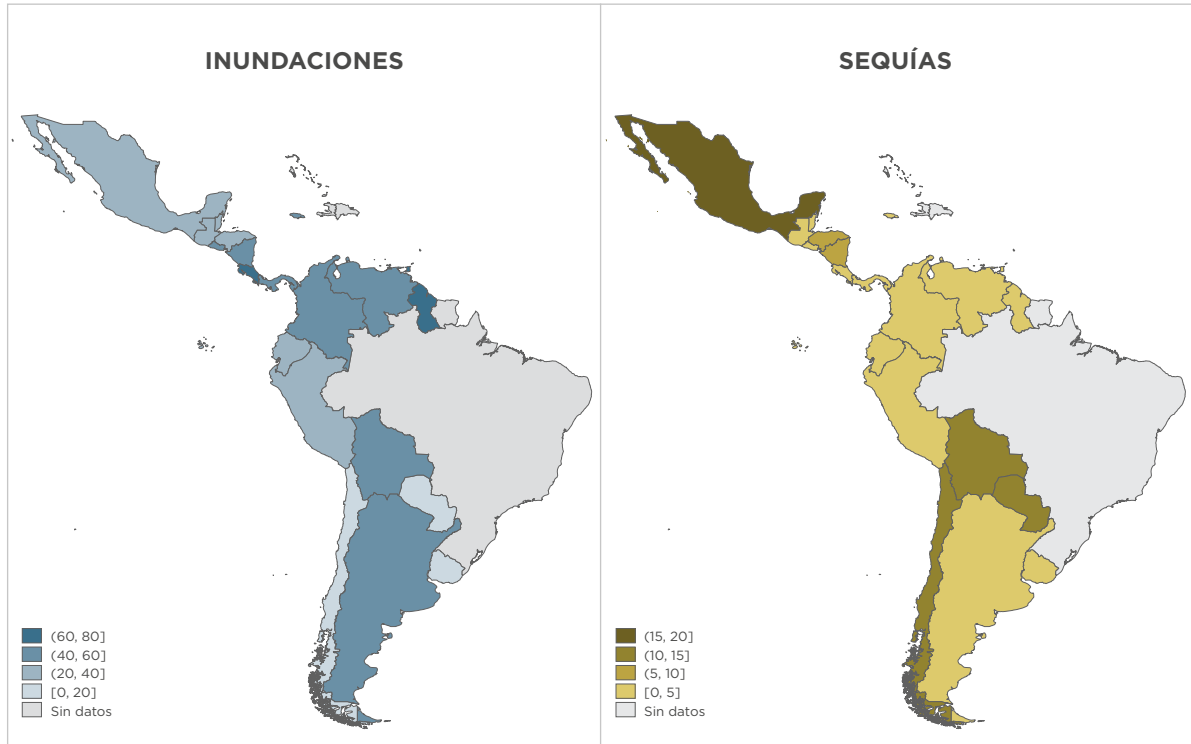
Fuente: Elaboración propia.

Las inundaciones son los eventos que más afectan a los países de la región; sin embargo, también debe prestarse atención a las sequías y a fenómenos focalizados como tornados y ciclones.

El 40% de los registros de localidades afectadas por eventos en países de América Latina y el Caribe corresponde a inundaciones. En los países del Cono Sur (CSC) este porcentaje es de 36%, en los países de la Comunidad Andina (CAN) es de 39%, mientras que en los países del Grupo de Centroamérica, Haití, México, Panamá y República Dominicana (CID) y del Grupo Caribe (CCB), el porcentaje alcanza el 41% y 64%, respectivamente. Como puede verse en el **Gráfico RE.2**, el porcentaje varía entre países, sin embargo, se encuentra en la gran mayoría de los casos por encima del 30%. Las sequías son eventos que también registran de manera creciente algunos países de la región. En particular, en México el 16% de los registros corresponde a sequías, mientras que este porcentaje es 13% en Bolivia, Chile y Paraguay. Existen otros tipos de eventos que, si bien tienen un número menor de registros, tienen un alto potencial destructivo y puede establecerse un patrón geográfico sobre su ocurrencia. Por ejemplo, de los 280 registros de localidades afectadas por ciclones, el 54% corresponden a países de CID, mientras que 37% a países de CCB. Asimismo, el 59% de registros de tornados corresponde a CID.

Gráfico RE.2

Inundaciones y sequías como porcentaje del total de eventos registrados en la base DesInventar



Fuente: Elaboración propia con información de DesInventar.

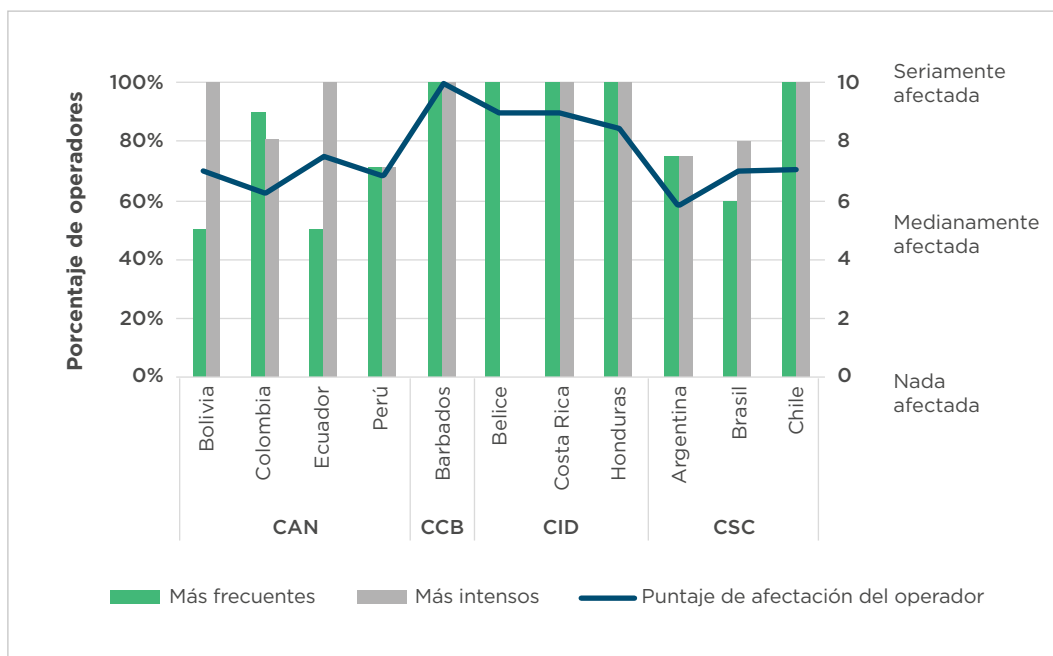
Los operadores de la región manifiestan ser afectados por los efectos del cambio climático, con eventos más frecuentes e intensos.

En una encuesta realizada por el BID a 61 operadores de agua de distintos tamaños en 11 países de la región en 2023, obtuvimos que el 82% percibe que los eventos climáticos extremos tales como sequías, olas de calor, lluvias intensas, deslizamientos de tierra, etc. son cada vez más frecuentes e intensos (ver **Gráfico RE.3**).

Del mismo modo, en una escala del 1 al 10, donde 10 significa que en los últimos 15 años su empresa se ha visto seriamente afectada por el cambio climático, el puntaje promedio de la región es 6,9. En particular, 7 de las 61 empresas encuestadas (11%) reportaron un índice de afectación de 10, 4 empresas (7%) un índice de 9, y 15 empresas (25%) un índice de 8.

Gráfico RE.3

Frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos percibidas por los operadores de agua y grado de afectación de sus operaciones



Fuente: Encuesta propia realizada a operadores de la región.

Los operadores reportan como impactos principales la afectación de las fuentes superficiales y el colapso de redes debido a las lluvias intensas.

La afectación de las fuentes superficiales es una realidad para los operadores: el 77% de los operadores encuestados manifiesta verse impactado por una reducción en el caudal de los ríos, mientras que un 70% advierte un incremento en el nivel de turbiedad en las fuentes superficiales (ver **Tabla RE.1**). En tercer lugar, un 66% de los operadores manifiesta que las lluvias intensas ocasionan colapso en las redes de alcantarillado sanitario y/o pluvial. Si bien estos son los impactos más comúnmente reportados por los operadores, es importante advertir otros impactos que podrían tener un patrón subregional más claro como el agotamiento de los acuíferos, las interrupciones en el suministro eléctrico como resultado de desastres y el daño de infraestructura por huracanes, entre otros.

Tabla RE.1
Impactos del cambio climático reportados por los operadores de la región

IMPACTOS	% DE OPERADORES
Reducción en el caudal de los ríos	77%
Incremento en el nivel de turbiedad de fuentes superficiales (ríos, lagunas)	70%
Colapso de redes de alcantarillado o drenaje de aguas de lluvia por lluvias intensas	66%
Cambios inesperados en la demanda de agua por cambios en la temperatura	52%
Reducción o agotamiento del nivel freático de los acuíferos	41%
Interrupciones en el suministro eléctrico como resultado de desastres	39%
Arrasamiento o daño en la infraestructura por deslizamientos de lodo o aludes	33%
Eutrofización (mayor presencia de algas) en fuentes de agua	31%
Incremento en olores en plantas de tratamiento de aguas residuales por incremento de temperaturas	26%
Intrusión salina de los acuíferos	16%
Mayor evaporación de agua almacenada en represas	16%
Agotamiento de manantiales o lagunas por derretimiento de glaciares	13%
Destrucción de infraestructura por oleaje anómalo del mar	7%
Hundimiento del terreno por compactación de acuíferos sobreexplotados	3%

Fuente: Encuesta propia realizada a operadores de la región.

Los operadores de la región ya vienen adaptándose al cambio climático: las medidas operativas y de infraestructura gris son las principales, pero las Soluciones basadas en la Naturaleza comienzan a ganar terreno.

Los operadores de la región recurren típicamente a soluciones que incluyen la realización de inversiones de infraestructura gris y actividades operativas. El 64% de los operadores encuestados ha respondido a los efectos del cambio climático mediante la mayor compra de insumos químicos para la potabilización (ver **Tabla RE.2**). El 56% reporta haber realizado inversiones en construcción o mantenimiento de pozos de reserva, lo cual reafirma la importancia de las fuentes de agua subterráneas en la región como estrategia para hacer frente a la variabilidad hídrica superficial en el contexto del cambio climático. Los operadores también mencionan estar instalando sistemas fotovoltaicos de energía renovable en las estaciones de bombeo (Barbados), la interconexión de redes de abastecimiento y fuentes de agua (Brasil, Colombia), y la utilización de equipos de ultrasonido para control de algas (Colombia), entre otras estrategias tradicionales. Asimismo, si bien 36% de los operadores encuestados manifiesta no implementar medidas no tradicionales para hacer frente a los efectos del cambio climático, las Soluciones Basadas en la Naturaleza ha comenzado a ser empleadas de manera creciente en la región. Así, 43% de los operadores encuestados ha invertido en la reforestación de partes altas de sus cuencas contribuyentes, mientras que 30% ha invertido en la protección y restauración de ecosistemas, tales como lagos y humedales.

Tabla RE.2
Medidas de adaptación al cambio climático adoptadas por los operadores de la región

TIPOS DE MEDIDAS	MEDIDAS	% DE OPERADORES
TRADICIONALES	Incremento en costos de insumos químicos para el tratamiento de agua potable	64%
	Inversiones en construcción o mantenimiento de pozos de reserva	56%
	Gastos en limpieza o descolmatación más continua de ríos	34%
	Inversiones en construcción de trasvases de agua	26%
	Inversiones en construcción de represas de almacenamiento	21%
NO TRADICIONALES	(Re)forestación de partes altas de la cuenca	43%
	Inversión en protección o restauración de ecosistemas (lagos, humedales, etc.)	30%
	Fomento de cosecha de aguas de lluvia por parte de usuarios	11%
	Zanjas de infiltración	7%
	Ninguna de las anteriores	36%

Fuente: Encuesta propia realizada a operadores de la región.

1. Introducción

El cambio climático es sin duda uno de los mayores desafíos a los que nos enfrentamos como sociedad en la actualidad. Desde inicios del siglo XX, la temperatura mundial viene en constante ascenso y, en el caso de la región, la temperatura en Sudamérica está subiendo incluso con una mayor rapidez que en el Caribe (Cavallo et al., 2023). Como consecuencia, observamos que diversos efectos asociados a este fenómeno impactan en el crecimiento económico de los países, en su capacidad para garantizar la seguridad alimentaria de sus habitantes y representan una amenaza creciente para la integridad de las ciudades, pues estas se ven impactadas por eventos climáticos extremos más frecuentes e intensos. En el futuro se espera que el cambio climático, el crecimiento de la población y la urbanización pongan a prueba los servicios de infraestructura, resaltando sus deficiencias actuales (Cavallo et al., 2020).

Dentro de estos servicios, la provisión de los servicios de agua potable y saneamiento se ve particularmente afectada debido a la estrecha relación que tiene el cambio climático con el ciclo del agua. No solamente observamos cambios en la temperatura atmosférica, sino que los patrones de precipitación también están cambiando. En algunas zonas, la falta de lluvia provoca sequías más frecuentes y prolongadas; mientras que en otras las lluvias se producen con tal intensidad que se incrementan notablemente el caudal y la turbiedad de los ríos, generando inundaciones en las ciudades y hasta deslizamientos que arrasan con infraestructura a su paso. Los glaciares y las capas de hielo se están derritiendo, reduciendo la disponibilidad futura de agua para ciertas poblaciones; mientras que el nivel del mar se eleva, poniendo en peligro a las ciudades costeras. Los efectos anteriormente descritos impactan la labor de los operadores de agua y, en última instancia, la provisión de los servicios a los ciudadanos.

Este es un tema sumamente relevante para América Latina y el Caribe (ALC) pues, aunque es una región considerada rica en recursos hídricos, la distribución de estos no se corresponde con la distribución de la población. De hecho, el 35% de la población de la región vive en áreas con niveles de estrés hídrico medio-alto o extremadamente alto (Libra et al., 2022). Esta situación, que ya dificulta la provisión de agua en la región, se agravará en los siguientes años. En el futuro cercano podemos esperar un incremento en la demanda de agua: la demanda residencial se incrementará debido al crecimiento poblacional y al incremento en temperaturas, la demanda del sector agrícola lo hará por el incremento en la evapotranspiración, mientras que la producción de energía, la minería y otras industrias intensivas en agua también contribuirán a ejercer una mayor presión sobre las fuentes de agua. Por el lado de la oferta, la reducción en los caudales de agua, la proliferación de sequías y lluvias intensas y la mayor frecuencia e intensidad de los eventos climáticos pondrán a prueba la resiliencia de los sistemas de agua y saneamiento. Como se verá en este documento, la mayoría de los operadores de agua en la región ya están siendo afectados por el cambio climático y están implementando algunas estrategias para adaptarse a sus impactos. Sin embargo, es necesario redoblar los esfuerzos de política para garantizar la resiliencia en la provisión de los servicios de agua y saneamiento.

El documento tiene la siguiente estructura: la segunda sección desarrolla cómo el cambio climático afecta a los servicios de agua y saneamiento. Esto incluye una discusión breve sobre el cambio climático como factor agravante en el riesgo de desastres, y una revisión de los impactos en la

demanda y la oferta de estos servicios. También se realiza una revisión de las medidas o estrategias de adaptación que están a disposición de los operadores de agua y saneamiento. La tercera sección identifica los eventos relacionados al cambio climático que afectan a cada uno de los países de ALC y su prevalencia. Para ello se utiliza la información de DesInventar, una base de datos administrada por la UNDRR (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres) que contiene la ocurrencia de eventos para el periodo 1970-2013. Finalmente, la cuarta sección presenta los resultados de una encuesta que el BID realizó en 2023 a operadores de agua en la región. Esta encuesta fue respondida por 61 operadores de 11 países y permite conocer los eventos que más los afectan, su percepción con respecto a la intensidad y frecuencia de estos eventos, así como las medidas que han adoptado para adaptarse a sus impactos, entre otros aspectos.



2

¿Cómo afecta el cambio climático a los operadores de agua y cómo pueden adaptarse?



2.1. Un entorno más variable e incierto: el cambio climático y el riesgo de desastres

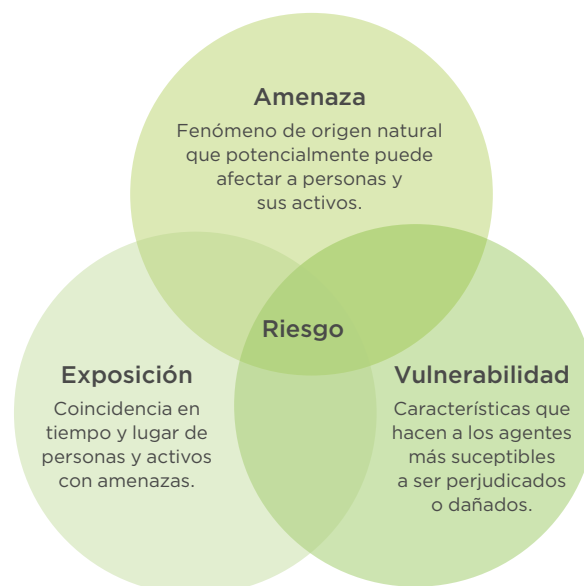
Un paso útil para entender cómo afecta el cambio climático a la provisión de servicios de agua y saneamiento es comprender los factores que componen el riesgo de desastres. Este se define como la posibilidad de que se produzcan daños o pérdidas económicas, materiales o humanas en determinado ámbito geográfico y tiempo, en función de la interacción de tres componentes: amenaza, exposición y vulnerabilidad. El desastre es la materialización del riesgo. No obstante, la ausencia de desastre no implica ausencia de riesgo (Barandiarán et al., 2019).

El componente de amenaza se refiere a fenómenos de origen natural que potencialmente podrían afectar la integridad de la población y sus activos. Dentro de estas amenazas encontramos a las sequías, terremotos, inundaciones, olas de calor, aumentos del nivel del mar, deslizamientos de tierra o incendios. Si bien algunos de estos eventos suceden independientemente del cambio climático, muchos de ellos se ven potenciados por efecto de éste (ver **Recuadro 1** sobre la ocurrencia del fenómeno El Niño en el contexto del cambio climático).

El componente de exposición recoge si la población y/o sus activos coinciden, tanto en tiempo como en espacio, con las amenazas naturales anteriormente descritas.

El componente de vulnerabilidad alude a la susceptibilidad de ser perjudicado o dañado. En el caso de los activos, por ejemplo, se refiere a “las características intrínsecas, internas, individuales y combinadas (...) que, por naturaleza, los hace proclives (o, por el contrario, resistentes) a sufrir un daño” (Barandiarán et al., 2019).

Gráfico 1
Factores que componen el riesgo de desastres y cambio climático



Fuente: Elaboración propia.

El riesgo de desastres es impactado por el cambio climático, pues éste introduce variabilidad y, en gran medida, incertidumbre (pues no conocemos la trayectoria futura del fenómeno) en las amenazas naturales que típicamente pensábamos como estáticas. Como señalan Barandiarán et al. (2019), el cambio climático puede considerarse como un factor de modificación e incluso exacerbación del riesgo de desastres.

RECUADRO 1

Niño con fiebre: El Fenómeno El Niño en un entorno de cambio climático

El fenómeno El Niño – Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) ocurre en intervalos irregulares de entre dos y siete años y comprende fases de calentamiento (El Niño) y enfriamiento (La Niña) inusuales de las aguas superficiales en el océano Pacífico. El fenómeno también implica cambios en la presión atmosférica y alteraciones intensas en las condiciones meteorológicas¹. ENSO es la variación climática interanual más fuerte en el planeta, con consecuencias ambientales y sociales que se sienten a nivel global (McPhaden et al., 2021).

La provisión de los servicios de agua y saneamiento se ve afectada en distintos países de ALC durante la ocurrencia de los fenómenos El Niño y La Niña. Por ejemplo, durante el evento de 2015-2016, el caudal del río Rímac, el principal río de Lima, se redujo en 50%², obligando a la empresa a poner en operación sus pozos de reserva y reducir la presión del agua en las noches³. Por el contrario, el fenómeno de El Niño (Costero) en 2017 ocasionó lluvias excesivas que incrementaron el nivel de turbidez de las fuentes de agua de las empresas más grandes de agua en Chile (Aguas Andinas⁴) y Perú (Sedapal⁵), teniendo que cerrar sus plantas de potabilización de agua, y poniendo en marcha planes de emergencia que incluían el uso de fuentes subterráneas y el racionamiento del servicio.

No existe información que permita concluir que el cambio climático ha tenido algún efecto en la ocurrencia del fenómeno El Niño; sin embargo, sabemos que los impactos de este fenómeno se ven exacerbados por el cambio climático (McPhaden et al., 2021). Por ejemplo, Jiménez-Muñoz et al (2016) demuestran que el fenómeno El Niño 2015-2016, combinado con la tendencia de calentamiento regional, se asoció con un calentamiento sin precedentes y una mayor extensión de la sequía extrema en la Amazonía. La sequía extrema, combinada con las altas temperaturas producto del cambio climático, incrementaron en 36% la ocurrencia de incendios en comparación con los ocurridos en los 12 años previos (Aragão et al., 2018). En suma, el fenómeno está sucediendo en un ambiente más cálido debido al cambio climático.

¹ <https://education.nationalgeographic.org/resource/el-nino>

² <https://peru21.pe/lima/fenomeno-nino-problema-agua-lima-agudizaria-febrero-208560-noticia/>

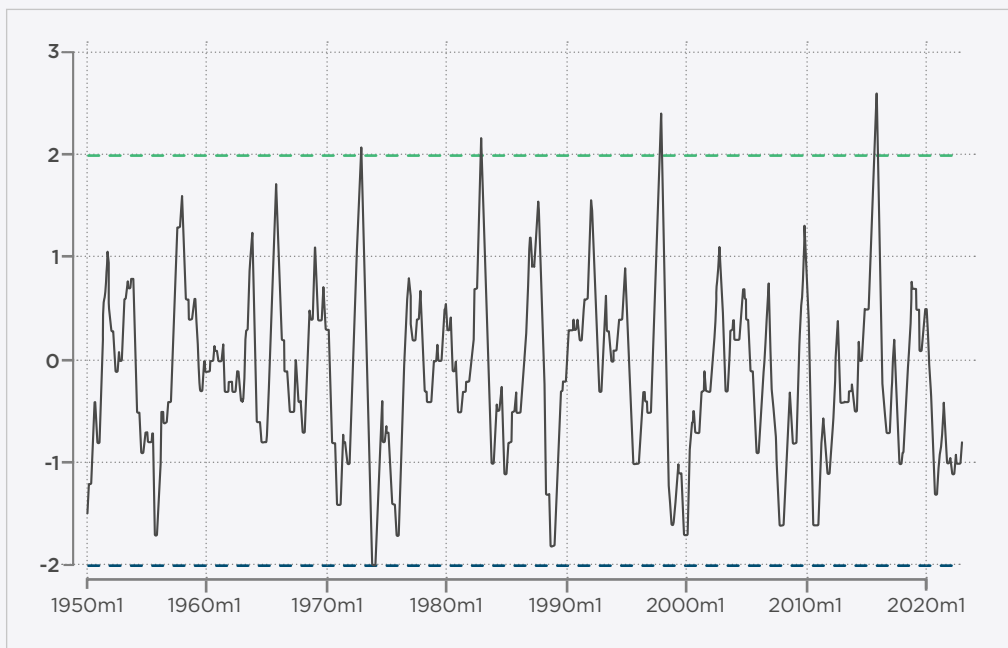
³ <https://www.radionacional.com.pe/informa/fenomenoelnino/fen-meno-el-ni-o-sedapal-bajar-presi-n-de-agua-en-las-noches-ante-menos-lluvia>

⁴ https://twitter.com/aguas_andinas/status/835711645146050561

⁵ <https://elcomercio.pe/lima/sedapal-confirmando-corte-agua-26-districtos-huaicos-161347-noticia/>

En los últimos 40 años hemos experimentados tres El Niño extremos (1982-1983, 1997-1998, y 2015-2016) como puede verse en el **Gráfico 2**. Estudios recientes muestran que la varianza en la temperatura oceánica causada por ENSO podría incrementarse en 15% para finales del siglo (Cai et al., 2018) y que esto ocasionaría una duplicación en la ocurrencia de eventos extremos de El Niño y La Niña como respuesta al calentamiento por gases de efecto invernadero (Cai et al., 2014, 2015).

Gráfico 2
Índice de El Niño Oceánico (1950 - 2022)



Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration. Elaboración propia.

2.2. Presiones en la oferta y la demanda: efectos e impactos del cambio climático

Siguiendo a Hughes et al. (2021), consideramos que es necesario definir los conceptos de efectos, impactos e implicancias del cambio climático, a fin de garantizar una comprensión clara y precisa en el análisis contenido en las siguientes secciones de este documento.

- **Efectos:** Los efectos del cambio climático se refieren principalmente a las alteraciones en el clima y el ambiente por efecto del incremento en la temperatura global. Dentro de estos, se encuentran los cambios en los patrones de precipitación, que se manifiestan a través de sequías más frecuentes, intensas y prolongadas en algunos casos, y tormentas y lluvias torrenciales en otros casos. Otros

efectos incluyen la proliferación de olas de calor, el derretimiento de los glaciares y casquetes polares, el elevamiento del nivel del mar y el aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos.

- **Impactos:** Los impactos son las consecuencias directas (o de primer orden) que el cambio climático y los eventos climáticos extremos tienen en sistemas naturales y humanos. Dentro de los impactos que se encuentran relacionados a los servicios de agua y saneamiento encontramos, por ejemplo, la reducción de la cantidad de agua disponible, la contaminación de fuentes de agua dulce por intrusión salina por efecto del elevamiento del nivel del mar y el colapso de la infraestructura de alcantarillado sanitario y pluvial por efecto de las lluvias intensas.
- **Implicancias:** Las implicancias son consecuencias indirectas (o de segundo, tercer o superior orden) que son resultado de los impactos del cambio climático. Se refieren a cambios medioambientales, sociales, económicos y culturales que tienen lugar luego de un impacto directo. Algunas implicancias podrían ser el aumento de ciertas enfermedades debido a inundaciones y altas temperaturas (ver **Recuadro 2**) y el incremento en costos de potabilización como consecuencia de la mayor turbidez en los ríos. Por cuestiones de simplicidad y para los efectos de este documento, considerando que las implicancias son impactos indirectos, en adelante se utilizará el término impactos también para hacer alusión a las implicancias.

RECUADRO 2

El cambio climático exacerba los impactos negativos de la falta de infraestructura

El cambio climático no solo tiene un impacto significativo en las operaciones de las empresas que prestan los servicios de agua y saneamiento, sino que también puede agravar los efectos negativos que la falta de infraestructura tiene en la salud pública. Existe abundante literatura sobre la relación entre la falta de acceso al agua potable y diversas enfermedades tales como diarreas, enfermedades de la piel, cólera, dengue (ver Cárdenas, 2022). Sin embargo, se ha documentado poco sobre cómo los eventos climáticos extremos pueden potenciar estos efectos negativos.

Un caso interesante es el dengue. Los mosquitos transmisores de esta enfermedad (*Aedes aegypti*) suelen encontrarse en lugares que cumplen tres condiciones: **i**) altitudes relativamente bajas —por ejemplo, en México se encuentran abundantemente por debajo de los 1700 metros sobre el nivel del mar (Lozano-Fuentes et al., 2012)—, **ii**) temperaturas cálidas —se ha encontrado que alrededor de los 21°C, el vuelo de los mosquitos es óptimo (Reinhold et al., 2018)—, y **iii**) áreas donde hay agua estancada, ya sea producto de las lluvias o almacenada en recipientes, una práctica usual en personas sin acceso a agua mediante red.

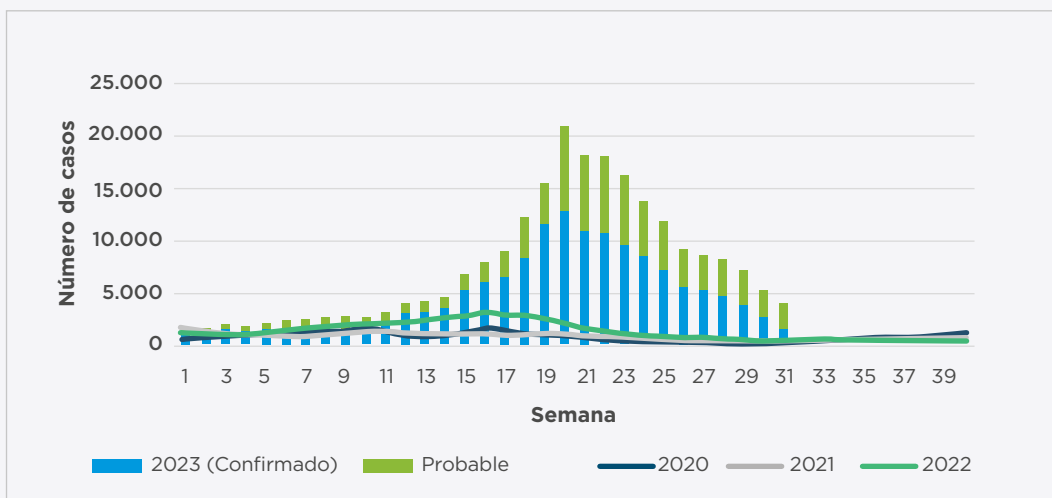
El cambio climático afecta la proliferación del dengue porque implica una alteración de los patrones de precipitación, temperatura y humedad. Así, el aumento de las temperaturas crea

ambientes favorables para los mosquitos en áreas donde normalmente no serían prevalentes y tiene un impacto en su comportamiento⁶. Además, ciertas regiones experimentan un aumento inusual de las lluvias lo cual, sumado a la ausencia de sistemas adecuados de drenaje, genera el estancamiento de agua en la ciudad, un hábitat ideal para la reproducción de los mosquitos.

En un estudio para Brasil, Pereda et al. (2014) examinaron el impacto que el aumento inusual de las lluvias en 2008 tuvo en la proliferación del dengue. En ciudades tropicales con menor precipitación histórica, como Fortaleza y Natal, las lluvias incrementaron los casos de dengue significativamente (36% y 22%, respectivamente). Por su parte, en ciudades tropicales con mayor precipitación histórica, como São Luís y Teresina, la tasa de dengue bajó, posiblemente porque las lluvias pueden haber lavado las acumulaciones de agua, reduciendo el número de larvas y, por tanto, la población de mosquitos. En Curitiba, una ciudad con un clima más templado, el aumento de las lluvias también generó un incremento en la tasa de dengue. Las simulaciones de los autores muestran que el cambio climático incrementará los casos de dengue en el sur de Brasil, en una tasa entre 150% y 200%, dependiendo del escenario de incremento en la temperatura.

Por su parte, Dostal et al. (2022) realizan un análisis de los casos de dengue reportados entre 2000 y 2018 en Perú y encuentran un efecto significativo de la temperatura y de la presencia del fenómeno El Niño. Estos resultados son consistentes con la tendencia que se ha observado recientemente en los casos de dengue en este país (ver **Gráfico 3**), ante la presencia del fenómeno El Niño durante 2023.

Gráfico 3
Número de casos semanales de dengue en Perú (2020 - 2023)



Fuente: Sala Situacional del Dengue – Ministerio de Salud de Perú. Consultado el 11 de agosto de 2023 <https://www.dge.gob.pe/sala-situacional-dengue>. Elaboración propia.

⁶ Los estudios científicos documentan que un clima más cálido tiene un impacto en el comportamiento de los mosquitos transmisores del dengue: las temperaturas bajas afectan su capacidad de movimiento, volviéndose inactivos por debajo de los 10 °C; mientras que la frecuencia de la ingesta de sangre está positivamente correlacionada con la temperatura del ambiente (ver la revisión de literatura hecha por Reinhold et al, 2018).

2.2.1.

Impactos en la demanda

Existen diversas demandas por el recurso hídrico. Si bien no todas son abastecidas por los operadores de agua, es importante mencionar el efecto que el cambio climático tiene sobre ellas. Esto debido a que, en muchos casos, existe rivalidad entre los distintos usos; es decir, el mayor consumo por parte de un agente reduce necesariamente la cantidad disponible para otros. Como veremos más adelante, esta tensión ocasionada por el incremento esperado en las distintas demandas se agravará debido al efecto que el cambio climático también tiene en la cantidad, calidad y oportunidad del recurso hídrico.

Impactos en la demanda residencial de agua

Los sistemas de tratamiento y distribución de agua tienen en cuenta el crecimiento orgánico de la demanda debido al incremento esperado en la población. Sin embargo, en los próximos años se anticipa un incremento adicional en la demanda a causa del cambio climático. La literatura económica ha identificado que las variables climáticas —y en particular, la temperatura— están relacionadas con la demanda residencial de agua (Dalhuisen et al, 2003; Arbués et al., 2003; Worthington et al., 2008; Sebri, 2014), lo cual explica la estacionalidad que muchos operadores de agua observan a lo largo del año. En tal sentido, es esperable que los hogares consuman más agua por efecto del aumento en la temperatura asociado al cambio climático, pudiendo este incremento en el consumo ser mayor en el caso de hogares de niveles socioeconómicos altos (Fiorillo et al., 2021).

En la región de América Latina y el Caribe, este impacto en la demanda residencial de agua puede exacerbarse si los precios o la baja micromedición no trasladan a los usuarios señales que los incentiven a un consumo racional. Al respecto, debe prestarse atención a las bajas tasas de micromedición que exhiben algunos operadores de la región. Por ejemplo, la tasa de micromedición en San José (Costa Rica) es del 41%; mientras que en Buenos Aires (Argentina) o Lambayeque (Perú), ésta alcanza el 25% y 37%, respectivamente (Aderasa 2021; Sunass, 2022a). En Mendoza (Argentina), solo 11% de los usuarios cuenta con un medidor, y únicamente al 2,5% se le factura con un criterio volumétrico (Toribio, 2023). Un estudio del BID para la capital de Ecuador estimó que el consumo de agua se redujo en 8% como resultado de la instalación de micromedición (Carrillo et al., 2021), lo cual refuerza la importancia de contar con micromedidores para reducir los consumos excesivos en un contexto de presión sobre las fuentes hídricas.

Impactos en la demanda no residencial de agua

El 76% de la demanda de agua total en América Latina y el Caribe es para uso agrícola, mientras que el consumo doméstico y la industria demandan 15% y 9%, respectivamente (Banco Mundial, 2020). Al igual que en el caso de la demanda residencial, el crecimiento poblacional trae consigo una mayor producción de alimentos y, por tanto, una mayor demanda de agua para usos agrícolas. Adicionalmente, las proyecciones para la región advierten que el incremento en temperaturas y la reducción en la precipitación impactarán de forma importante la demanda de agua de los sectores agrícolas (Castellanos et al., 2022).

El cambio climático también incrementará el riesgo de escasez para la minería y otras industrias intensivas en agua (Caretta et al., 2022). La situación puede volverse crítica si se considera que, en los próximos años, la demanda por agua se incrementará por la explotación de gas no convencional (*shale gas*) y, en el contexto de la transición energética, por la extracción de minerales críticos como el litio.

Asimismo, aunque la generación eléctrica implica un uso no consuntivo del agua, debe considerarse que su utilización puede afectar la disponibilidad del recurso para el uso poblacional. En América Latina y el Caribe, alrededor del 45% de la generación eléctrica proviene de fuentes hidroeléctricas, y el porcentaje se eleva considerablemente para los países andinos y del cono sur (Lopez-Soto et al., 2022). El agua es, por tanto, un insumo fundamental para la producción de energía en la región y se espera que ésta sea impactada por las sequías, cambios en la estacionalidad de los ríos e incremento en la temperatura del agua (Caretta et al., 2022). Si bien la demanda para fines productivos (generación eléctrica, minería, agricultura) no suele ser abastecida por los operadores de agua potable, es necesario considerar que la competencia entre los distintos usos, incluido el poblacional, se incrementará conforme se reduzca la disponibilidad de las fuentes de agua.

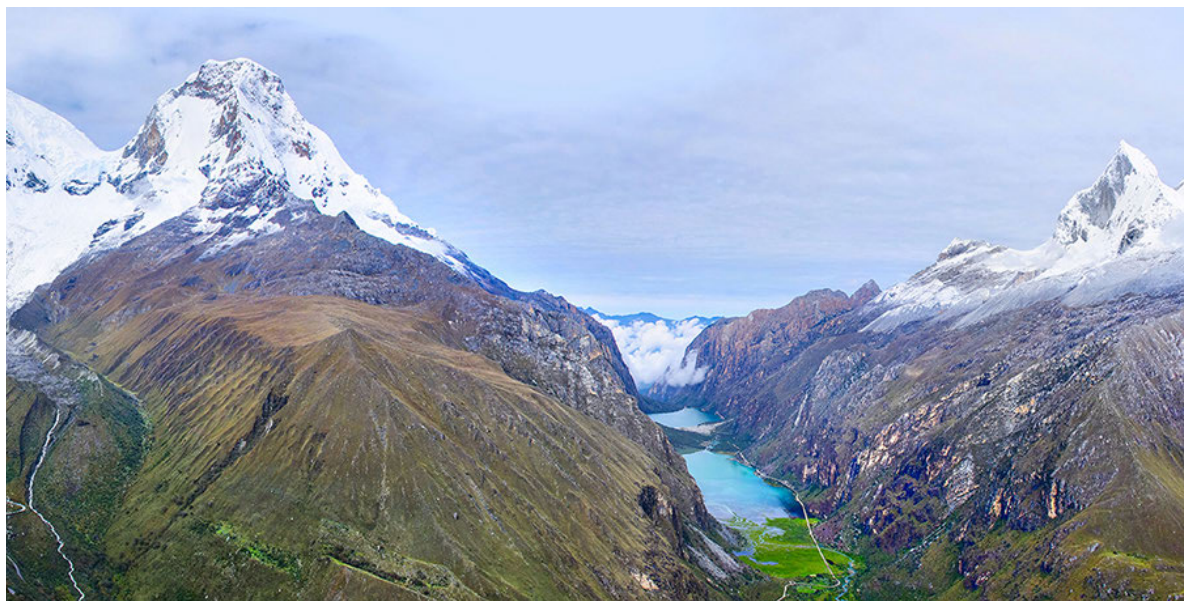
2.2.2.

Impactos en la oferta

Los efectos del cambio climático impactan la capacidad de los operadores de prestar los servicios de agua y saneamiento a través de dos canales. En primer lugar, afectan las condiciones típicas bajo las cuales operan. Esto incluye desde impactos en las fuentes de agua —afectando la cantidad, calidad y oportunidad del recurso hídrico— hasta la afectación de los procesos, como sucede en el caso del tratamiento de aguas residuales. En segundo lugar, los eventos climáticos extremos hacen colapsar, dañan o incluso pueden destruir los activos fijos de los operadores, lo cual pone en riesgo la continuidad en la prestación de los servicios.

Impactos en las condiciones de operación

El retroceso y derretimiento acelerado de los glaciares es un impacto del cambio climático que afecta la disponibilidad del recurso hídrico. En los Andes tropicales de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, la reducción de la superficie durante la segunda mitad del siglo XX oscila entre el 20% y el 50% (Magrin, 2015). La empresa de agua de Lima reporta que la cobertura glaciar en la Cordillera de los Andes se ha reducido de 26,6 km² (91,7%) en 1988 a 12,2km² (46%) en 2013 (Sunass, 2021).



En lo que respecta a las fuentes superficiales, estas experimentan impactos significativos debido a las variaciones en los patrones de precipitación. Cuando las lluvias disminuyen, esto provoca una reducción en el caudal de los ríos, lo que a su vez disminuye la producción de agua potable en las plantas de tratamiento. Por otro lado, los episodios de lluvias intensas pueden incrementar la cantidad de sedimentos arrastrados, aumentando así la turbidez de los ríos. Esta también puede incrementarse por efecto de los incendios forestales cuya ocurrencia se incrementa en el contexto de sequías más intensas (Caretta et al., 2022). Dependiendo del nivel de turbidez, esto podría elevar los costos de potabilización o incluso volver impracticable dicho proceso, obligando en última instancia al cierre de las plantas de tratamiento. En marzo de 2017, el servicio de agua potable en Lima se interrumpió por cuatro días debido a que las lluvias intensas generaron deslizamientos que contaminaron el principal río de la ciudad (Stip et al., 2019).

Teniendo en cuenta que los operadores de agua suelen recurrir a pozos para garantizar la provisión del servicio de agua, los fenómenos anteriormente descritos incrementan la presión extractiva sobre los acuíferos. Algunas ciudades de la región dependen completamente del agua subterránea para su suministro de agua potable mientras que, en otras, como la Ciudad de México, el 58% proviene de estas fuentes, y su sobreexplotación está provocando un hundimiento del terreno de hasta 40 centímetros al año (Solis, 2023). La subsidencia puede ocasionar fisuras y roturas en las redes de agua y alcantarillado, incrementando las pérdidas físicas de agua y generando un riesgo de contaminación.

El cambio climático también puede afectar la calidad del agua. El incremento en las temperaturas ha aumentado la frecuencia, gravedad y distribución geográfica de las proliferaciones de algas nocivas en las fuentes de agua superficial (EPA, 2013), a lo que también contribuye el vertimiento de aguas residuales sin tratar sobre los cuerpos de agua que en la región es alrededor del 80% de las aguas recolectadas (IANAS, 2019; Banco Mundial, 2019). Esto conlleva a que los operadores de agua deban implementar procesos adicionales de tratamiento para garantizar que el agua sea segura para el consumo humano.

La elevación del nivel mar representa una amenaza que puede incrementar el riesgo de inundación de infraestructura como plantas desaladoras de agua de mar o plantas de tratamiento de aguas residuales (Hughes et al., 2021). Adicionalmente representa una amenaza para los acuíferos costeros, pues puede contaminarlos mediante intrusión salina. Tal es el caso de Jamaica y Barbados, donde el incremento en el nivel del mar exacerbará la intrusión salina causada por la sobreexplotación de las aguas subterráneas (IANAS, 2019).

Finalmente, las temperaturas más altas pueden afectar el desempeño de los sistemas de conducción y tratamientos de aguas residuales y causar el incremento de olores, entre otros problemas (Hughes et al., 2021).

Impactos en la infraestructura

La infraestructura de agua y saneamiento puede presentar fallas cuando enfrenta condiciones extremas que superan los parámetros máximos bajo los cuales fue diseñada. De acuerdo con el IPCC, se proyecta que los eventos de precipitación extrema en la región se incrementarán en magnitud y frecuencia. Así, un incremento de 1,5°C en la temperatura se traducirá en un incremento en la población afectada por inundaciones de entre 100% y 200% en Colombia, Brasil y Argentina, de 300% en Ecuador y de 400% en Perú (Castellanos et al., 2022). Las inundaciones y deslizamientos de tierra derivados de lluvias intensas pueden colapsar, dañar o destruir la infraestructura de agua y saneamiento y aumentar el riesgo de contaminación del suministro de agua.

El incremento en la frecuencia e intensidad de las lluvias a causa del cambio climático puede hacer colapsar los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial. Se espera que el número de inundaciones y desbordes de las redes de alcantarillado se incremente en los siguientes años, con el consiguiente riesgo a la salud (Caretta et al., 2022). En otros casos, las lluvias pueden incrementar el volumen de aguas recolectadas por el sistema de alcantarillado, excediendo la capacidad instalada de tratamiento de aguas residuales y generando el vertimiento de aguas insuficientemente tratadas en los cuerpos de agua. Asimismo, las lluvias también pueden contribuir a la contaminación de las fuentes de agua si generan inundaciones que arrastran sustancias químicas.

Las fuertes lluvias y el deshielo de los glaciares pueden provocar deslizamientos de tierra que son una amenaza importante para la infraestructura en la región (Castellanos et al., 2022). En particular, pueden dañar o arrasar la infraestructura de captación y tratamiento de agua potable. En 2017, los deslizamientos de tierra arrasaron con sistemas de captación de agua que la empresa en Chimbote (Perú) se encontraba construyendo para reestablecer el servicio de agua potable a más de 200 mil habitantes⁷.

De otro lado, el suministro eléctrico es un insumo importante para los procesos de tratamiento y los sistemas de distribución de agua potable y recolección de aguas residuales por bombeo. En ese sentido, la interrupción de la energía eléctrica causada por desastres puede comprometer la prestación adecuada de los servicios de agua y saneamiento. En Tingo María (Perú), los cortes en el suministro eléctrico afectan el funcionamiento de los equipos de bombeo, generando afloramiento de aguas residuales en las zonas bajas de la localidad (Sedahuánuco, 2014).

Finalmente, además de la infraestructura gris, debe tenerse en cuenta la infraestructura natural. Los efectos del cambio climático tienen un impacto sobre los humedales, que abarcan alrededor del 20% de Sudamérica y que, a pesar de contribuir a la seguridad hídrica, se encuentran amenazados principalmente por la actividad humana (Junk, 2013). De otro lado, los fenómenos extremos—como los huracanes—generan deforestación masiva, sedimentación y aterramiento en las cuencas de ríos y lagos, destruyendo los sistemas hidrológicos y afectando el suministro de agua potable aguas abajo (IANAS, 2019).



Fuente: Aguas Andinas

⁷ <https://elcomercio.pe/peru/ancash/ancash-huacos-dejan-agua-chimbote-nuevo-chimbote-408121-noticia/>

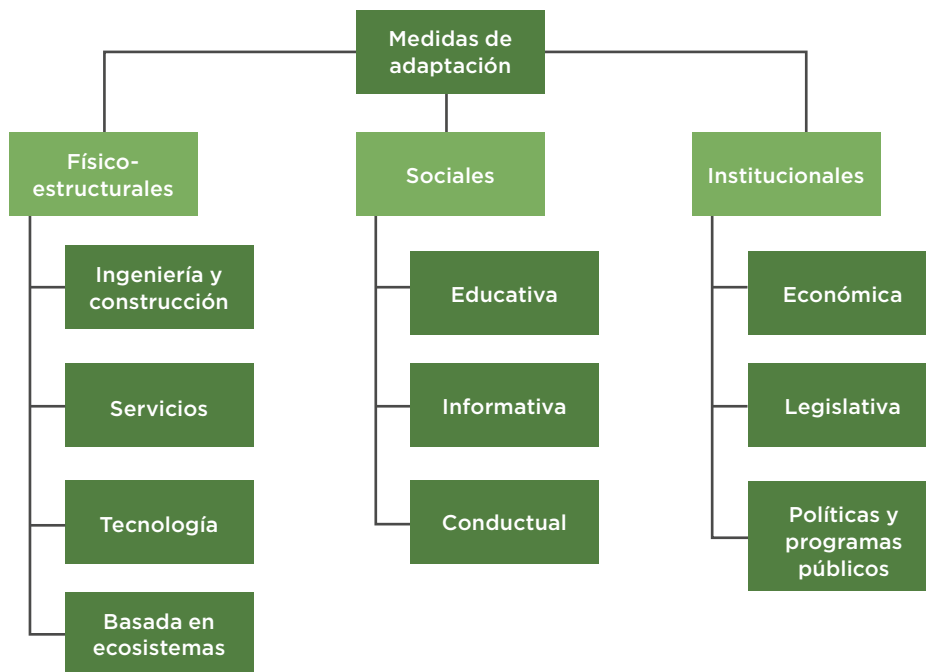
2.3. Servicios más resilientes: medidas de adaptación al cambio climático

La adaptación al cambio climático es el proceso de ajuste al clima actual o esperado y a sus efectos, lo cual incluye reducir vulnerabilidades y construir la capacidad de los distintos agentes y de los sistemas naturales de hacerle frente a los efectos del clima (Noble et al., 2014; Bárcena et al., 2020). En el caso de los servicios de infraestructura, la atención debe ponerse en contar con infraestructura resiliente, lo cual no incluye únicamente la inversión en activos, sino acciones para garantizar la resiliencia de la prestación de los servicios y de los usuarios (Hallegatte et al., 2019). Los operadores de agua y saneamiento pueden adoptar diversas medidas para mitigar los riesgos asociados a los impactos del cambio climático. Si bien las soluciones de ingeniería suelen ser la forma de adaptación más común, existe una tendencia creciente a también adoptar otro tipo de medidas que presentan diversas ventajas en términos de costos, flexibilidad y plazos de implementación.

No existe una única forma de categorizar a las medidas, debido a que muchas veces una misma medida puede ser transversal a las diferentes categorías o la implementación de una estrategia de adaptación implica la adopción de distintas medidas interrelacionadas entre así (Noble et al., 2014). De acuerdo con la clasificación presentada por la IPCC en 2014, las medidas de adaptación pueden ser físico-estructurales, sociales e institucionales (ver **Gráfico 4**). En el caso particular de los servicios de agua y saneamiento, las medidas físico estructurales están referidas a la inversión en infraestructura gris, tecnología y Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) que permiten gestionar la oferta del recurso hídrico; mientras que las medidas sociales están generalmente más relacionadas al desplazamiento de la demanda para reducir la presión sobre la infraestructura actual. Por su parte las medidas institucionales incluyen la aplicación de instrumentos económicos tales como tarifas, pagos por servicios ecosistémicos o la aprobación de normas y planes de infraestructura o sectoriales que incorporan explícitamente criterios de adaptación al cambio climático (ver **Anexo 6.1** para ejemplos de medidas de adaptación por cada subcategoría).

Gráfico 4

Categorización IPCC de medidas de adaptación



Fuente: Elaboración propia en base a Noble et al. (2014).

En los siguientes párrafos, desarrollamos algunas de las medidas que se han venido adoptando en países de la región y que contribuyen a contar con servicios de agua y saneamiento resilientes.

Diversificación y redundancia en la producción de agua potable

El uso conjunto de fuentes es una práctica utilizada ampliamente por los operadores de agua para hacer frente a la variabilidad climática. Debido a que existen períodos de lluvia y de estiaje, los operadores suelen utilizar aguas subterráneas para complementar la producción de agua potable cuando disminuye la disponibilidad de aguas superficiales, una práctica utilizada desde hace por lo menos 1400 años, de acuerdo con hallazgos de infraestructura construida por culturas pre incaicas (Ochoa-Tocachi et al., 2019). Sin embargo, el cambio climático está acentuando la variabilidad climática, por lo cual es importante que los operadores de agua continúen invirtiendo en la diversificación de fuentes de agua. Las aguas subterráneas brindan un almacenamiento natural que permite la prestación continua del servicio de agua potable ante la ocurrencia de eventos que afectan las fuentes superficiales, como sequías que reducen su disponibilidad o deslizamientos que aumentan el nivel de turbiedad del agua o destruyen la infraestructura de captación.

En Santiago de Chile, se han realizado inversiones por un monto cercano a los USD 190 millones en el periodo 2013-2022, que hoy permiten que la ciudad cuente con 37 horas de autonomía ante problemas en el servicio (Solis, 2023). La desalinización es también una estrategia de adaptación. Sin embargo, esta tecnología es intensiva en uso de electricidad, por lo que la utilización de energía solar puede contribuir a reducir las emisiones asociadas (Caretta et al., 2022). Chile viene apostando decididamente por la desalinización. A la fecha de elaboración de este documento, existen 6 plantas

de desalinización en construcción y 22 operando⁸, dentro de las cuales se encuentra la planta de Atacama, que permite brindar agua potable a más de 200 mil habitantes⁹. Otra forma de diversificar las fuentes de agua es que los usuarios practiquen la recolección de agua de lluvia para ciertos usos, lo cual puede ser promovido y financiado por las autoridades, como sucede en Ciudad de México¹⁰. Asimismo, la diversificación también puede entenderse de manera geográfica: es importante descentralizar la producción de agua potable, pues esto reduce el impacto en la continuidad del suministro cuando determinada infraestructura de producción es afectada por eventos climatológicos extremos.

Incrementar la eficiencia operativa

Reducir las pérdidas técnicas y comerciales de agua es una tarea urgente para América Latina y el Caribe, que será incluso más apremiante conforme el cambio climático incremente la presión sobre las fuentes de agua. Un estudio de la CAF determinó que el nivel promedio de agua no contabilizada en 26 ciudades de la región se encontraba alrededor del 40% (Carrera et al., 2018) con valores de hasta 67%. En Perú, con excepción de la empresa de Lima (29%), el agua no contabilizada promedio se encuentra alrededor del 42%, llegando hasta 64% en el caso de un operador (Sunass, 2022a). El promedio de agua no contabilizada en países del Caribe es de 46%, alcanzando el 75% en el caso del operador de Jamaica (Janson et al., 2021). La micromedición es fundamental para reducir pérdidas comerciales de agua; sin embargo, algunos operadores de la región registran tasas de micromedición muy bajas, teniendo ésta el potencial de disciplinar el consumo. Según un estudio reciente del BID en Quito, la micromedición puede reducir el consumo de agua en 8% (Carrillo et al., 2021). Reducir los mencionados niveles de pérdidas de agua en la región requerirá la instalación de medidores de consumo, mantener catastros actualizados, implementar tecnologías de detección de fugas y realizar inversiones en mantenimiento, rehabilitación y reemplazo de redes.



⁸ <https://blog.investchile.gob.cl/bloges/chile-plantas-desalinizadoras>

⁹ <https://www.sepchile.cl/2022/05/30/la-primera-planta-desaladora-estatal-de-chile-es-reconocida-y-premiada-a-nivel-mundial/>

¹⁰ <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/cosecha-de-lluvia>

Fomentar la eficiencia en la demanda

En América Latina y el Caribe, 76% de las extracciones de agua tienen fines agrícolas (Banco Mundial, 2020). Adicionalmente, la relación promedio entre los requerimientos de agua para riego y las extracciones es de 36% para la región mientras que el promedio mundial es cercano al 60% (CAF, 2022), lo cual demuestra que existe un importante espacio para ganancias de eficiencia. En particular, es importante promover tecnologías de riego eficientes tales como el riego por goteo o aspersión. Sin embargo, en el ámbito de los operadores de agua, también existe espacio para ganar eficiencia en la demanda urbana. Las medidas para la gestión de la demanda pueden ser importantes para alcanzar la confiabilidad del servicio en el largo plazo, pues pueden llegar a ser más costo-efectivas que las inversiones en la oferta de agua, como se señala en el análisis de inversiones utilizando principios de toma de decisiones bajo incertidumbre profunda que se realizó para el operador de Lima (Kalra et al., 2015). Al respecto, debe considerarse que el consumo diario per cápita en algunas zonas de ciudades de la región puede alcanzar los 280 litros (Lima, Perú) y hasta 650 litros en Mendoza, Argentina (Gómez-Lobo et al., 2023; Toribio, 2023), muy por encima de las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud.

Las medidas para fomentar eficiencia en la demanda incluyen el establecimiento de tarifas que incentiven el uso racional, y también opciones no tarifarias como la promoción de tecnología ahorradora de agua, esquemas de etiquetado, comparación social a través de recibos y programas de educación (Ong et al., 2023). De acuerdo con Low et al. (2015), en Australia, durante la Sequía del Milenio, se implementaron medidas tales como reembolsos y programas de recambio para usuarios domésticos (duchas, lavadoras, inodoros) y pequeños negocios (tecnología ahorradora de agua). Un adecuado sistema de cobros por drenaje pluvial—que incentive a los usuarios a implementar áreas permeables y canaletas de conducción del agua de lluvia hacia áreas verdes— reduce la presión sobre la infraestructura y el riesgo de inundaciones, contribuyendo a la recarga del acuífero (Solis, 2023).

Incorporar la resiliencia en todo el ciclo de vida del proyecto

La resiliencia puede introducirse tanto en activos existentes como en las nuevas inversiones. Para la infraestructura existente, su reforzamiento, rehabilitación o readaptación puede realizarse con mayor información sobre el clima, incluyendo la aplicación de nuevas normas de diseño, lo cual podría demandar cambiar el alcance del proyecto o mejorar o dar un uso alternativo a los activos (Banco Mundial, 2022). Para el caso de la infraestructura nueva, debe considerarse que muchos de los riesgos relacionados con el cambio climático pueden mitigarse si se tienen en cuenta desde una fase temprana. A nivel nacional, es importante que los sistemas de inversión pública incorporen la evaluación de riesgos para la planificación, diseño y ejecución de proyectos. Por ejemplo, utilizar principios de toma de decisiones bajo incertidumbre profunda (DMDU, por sus siglas en inglés) permite identificar: i) inversiones que no serán lamentadas (es decir, beneficiosas bajo cualquier escenario), ii) inversiones que eviten resultados catastróficos o de alto costo, y iii) inversiones innecesarias (Cavallo et al., 2020). Utilizando estos principios de toma de decisiones, la empresa de agua en Lima (Sedapal) logró identificar inversiones que podían ser removidas sin afectar el objetivo de garantizar la confiabilidad en la provisión del agua. El ejercicio implicó aplicar estos principios en una amplia gama de escenarios futuros que consideraban distintas afectaciones en el caudal de los ríos y distintos niveles para la demanda de agua en la ciudad. La identificación de estas inversiones permitió ahorros que superaron los USD 600 millones; es decir, el 25% del presupuesto de inversión inicialmente estimado por la empresa (Kalra et al., 2015).

En Mendoza (Argentina), el método DMDU permitió identificar que las inversiones en almacenamiento resultaban considerablemente costosas y no mitigaban de manera significativa las vulnerabilidades que enfrenta la ciudad. Por el contrario, las inversiones en riego presurizado resultaban más costo-efectivas al reducir la demanda hídrica, aumentando la disponibilidad del recurso (Groves et al., 2021).

Asimismo, considerar la resiliencia en el diseño implica la selección adecuada de terrenos (que tenga en consideración la vulnerabilidad a inundaciones o incrementos en el nivel del mar), la selección de tecnologías adecuadas y la construcción con materiales más resistentes, entre otros aspectos. De acuerdo con un estudio realizado por Hallegatte et al (2019) para países de ingreso medio y bajo, los costos de inversión requeridos para proveer acceso universal al agua y saneamiento en estos países se incrementarían en un rango de entre 1,1% y 2,2% para hacerlos resilientes a inundaciones, y entre 5% y 9% para hacerlos resilientes a terremotos. Asimismo, las estimaciones muestran que, al considerar el cambio climático, la mediana del ratio beneficio-costos de realizar estas inversiones pasa de 2 a 4. Una vez construidos los activos, es una medida de adaptación recomendable impulsar instrumentos financieros para gestionar el riesgo residual, lo cual incluye desarrollar el mercado de seguros y contar con instrumentos de financiamiento para implementar la reconstrucción y los planes de contingencia con celeridad (Cavallo et al, 2020; CAF, 2022).

Mantenimiento en tiempos de cambio climático

Los operadores de agua realizan mantenimientos preventivos y correctivos a sus activos fijos a fin de conservarlos ante el deterioro que sufren por el uso o por eventos extraordinarios. Este es un componente importante para garantizar la prestación de los servicios de infraestructura: representan el 32% de las inversiones requeridas para cerrar la brecha en el sector de agua y saneamiento hasta el año 2030 (Brichetti et al., 2021). Además, en un análisis realizado para países de ingreso medio y bajo, Rozenberg y Fay (2019) encuentran que la falta de un adecuado mantenimiento reduce la vida útil de los activos e incrementa los costos de capital para reemplazarlos en al menos 60% en el sector de agua. La falta de mantenimiento de los activos es un problema en ALC: 51% de los operadores que reportan información a Aquarating manifestaron no contar con un plan de mantenimiento y reemplazo de activos físicos, basado en análisis de riesgo de fallas, costos, etc. (Pastor, 2019).

Con respecto al mantenimiento preventivo, es posible que las condiciones originales bajo las cuales la infraestructura fue diseñada hayan cambiado drásticamente debido al cambio climático. Las temperaturas altas y la exposición a condiciones climáticas extremas aceleran el desgaste de la infraestructura y pueden tener efectos en la maquinaria y equipos. Por ello se requiere actualizar la periodicidad y procesos de mantenimiento para garantizar su funcionamiento adecuado. En ausencia del mantenimiento requerido, el cambio climático incrementa el componente de vulnerabilidad en el riesgo de desastres, pues reduce la capacidad de los activos de resistir eventos climáticos extremos. Con respecto al mantenimiento correctivo, es necesario que los operadores de agua tengan protocolos que les permitan reparar las averías o fallas causadas por eventos climáticos extremos en el menor tiempo posible, de forma que se garantice la continuidad del servicio o se minimice su interrupción.

Implementar Soluciones basadas en la Naturaleza

La provisión de servicios de agua y saneamiento incluye procesos físicos y químicos, como la depuración y el almacenamiento, que los ecosistemas pueden realizar de manera natural. Estos pueden reemplazar o complementar la llamada infraestructura gris con la que cuentan los operadores de agua. Las Soluciones basadas en la naturaleza (SbN) comprenden aquellas acciones orientadas a

proteger, gestionar de forma sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados y, al mismo tiempo, proporcionar beneficios adicionales para los seres humanos y la biodiversidad (Cohen-Shacham et al., 2016). Dentro de estas soluciones, la inversión en infraestructura natural es aquella que busca preservar o restaurar los ecosistemas para beneficiarse de sus servicios. En los próximos años, los humedales tendrán un rol fundamental en amortiguar los cambios en el ciclo hidrológico, disminuyendo sus impactos sociales, económicos y ecológicos negativos (Junk, 2013). Por ello debe tenerse en cuenta que la inversión en la protección de cuencas se compensa parcialmente con la consecuente reducción de los costos de tratamiento del agua (Scanlon et al., 2023).

En la ciudad de Nueva York, mantener la forestación en la cuenca contribuyente (aproximadamente el 75% del terreno) permitirá a la ciudad evitar la construcción de una planta de tratamiento que costaría entre 8.000 y 10.000 millones de dólares (Abell et al., 2017). En São Paulo, la reforestación podría reducir significativamente la carga de sedimentos y nutrientes en las fuentes de agua (Abell et al., 2017; Ozment et al., 2018) y las pérdidas económicas de la sequía de 2014-2015 se hubieran reducido en 28% si se hubieran aplicado SbN (Stein Ciasca et al., 2023). En Medellín (Colombia), se ha estimado que una pérdida de 10% de la vegetación en la región incrementaría los costos de tratamiento mensuales en USD 4,5 millones (Tallis y Markham, n.d.). En Bogotá (Colombia), un portafolio de infraestructura natural de USD 5,3 millones podría generar evitar costos por un total de USD 44,6 millones 30 años (Izquierdo-Tort et al., 2023).

Un estudio del BID identificó 156 proyectos de SbN en la región, de los cuales más de la mitad tienen a agua y saneamiento como sector primario (Ozment et al., 2021). En Perú, entre 2008 y 2021, se aprobaron 175 inversiones en infraestructura natural para la seguridad hídrica por un monto total de aproximadamente USD 227 millones, ejecutándose cerca el 58%, siendo las intervenciones más importantes la reforestación (134), zanjas de infiltración (54) y el mejoramiento de pastizales (29) (Cerdán Estrada et al., 2022). Por su parte, la infraestructura verde se refiere a intervenciones de ingeniería en zonas urbanas que interactúan con la infraestructura gris y proporcionan soluciones híbridas (The Nature Conservancy, 2019). Si bien estas no suelen ser competencia de los operadores de agua, el pavimento permeable, los techos verdes, los biorretenedores y los parques de ribera suelen ser intervenciones de los gobiernos locales que reducen el riesgo de inundaciones urbanas y recargan los acuíferos, contribuyendo con la seguridad hídrica (Solis, 2023).

La **Tabla 1** presenta una serie de medidas de adaptación que se encuentran a disposición de los operadores de agua y saneamiento y cuya selección debe realizarse sobre la base de la evaluación del contexto particular de la empresa, considerando criterios tales como su efectividad, flexibilidad, robustez ante escenarios climáticos y sociales y su consistencia con las normas sociales y tradiciones, entre otros criterios (Magrin, 2015).

Tabla 1

Estrategias de adaptación al cambio climático por parte de operadores de agua y saneamiento

ACCIONES DE ADAPTACIÓN	ESTRATEGIAS
Construir nueva infraestructura	Construir barreras contra las inundaciones para proteger la infraestructura
	Construir infraestructura necesaria para el almacenamiento y la recuperación de acuíferos
	Diversificar las opciones de suministro de agua y ampliar las fuentes actuales
	Aumentar la capacidad de almacenamiento de agua
	Instalar presas para evitar la afectación de fuentes de agua dulce por elevamiento del nivel del mar
	Planificar y establecer un suministro eléctrico alternativo o in situ
	Reubicar las instalaciones en zonas más elevadas
Aumentar la eficiencia del sistema	Mejorar la eficiencia energética y la optimización de las operaciones
	Financiar y facilitar sistemas para reciclar el agua
	Practicar el uso conjuntivo
Modelar el riesgo climático	Realizar análisis de precipitaciones extremas
	Modelar la subida del nivel del mar y de las mareas
	Desarrollar modelos para comprender los posibles cambios en la calidad del agua
	Modelar y monitorear las características de las aguas subterráneas
	Modelar y reducir el flujo de entrada/infiltración en el sistema de alcantarillado
	Utilizar modelos hidrológicos para proyectar la escorrentía y el futuro suministro de agua
Modificar el uso del suelo	Adquirir y gestionar ecosistemas
	Implementar infraestructuras verdes in situ y en los municipios
	Implementar la gestión de las cuencas hidrográficas
	Integrar la gestión y modelización de las inundaciones en la planificación del uso del suelo
	Estudiar la respuesta de los humedales cercanos a las mareas
	Actualizar los modelos de incendios y practicar planes de gestión de incendios
Modificar la demanda de agua	Fomentar y apoyar prácticas para reducir el consumo de agua en las centrales eléctricas locales
	Modelar y reducir la demanda de agua para la agricultura y el regadío
	Fomentar la conservación del agua y gestión de la demanda

(Continúa en la siguiente página)

ACCIONES DE ADAPTACIÓN	ESTRATEGIAS
<p>Supervisar las capacidades operativas</p>	Realizar pruebas de estrés en sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales para evaluar la tolerancia al calor
	Gestionar la calidad del agua de los embalses
	Supervisar e inspeccionar la integridad de las infraestructuras existentes
	Monitorear las condiciones meteorológicas actuales
	Monitorear las inundaciones y sus causas
	Monitorear el estado de las aguas superficiales
	Monitorear los cambios de vegetación en las cuencas hidrográficas
<p>Planificar ante el cambio climático</p>	Adoptar mecanismos de seguro y otros instrumentos financieros
	Capacitar sobre los efectos y la adaptación al cambio climático
	Desarrollar planes de restauración costera
	Desarrollar planes de respuesta a emergencias
	Desarrollar planes de gestión energética para instalaciones clave
	Establecer acuerdos de ayuda mutua con operadores contiguos
	Identificar y proteger las instalaciones vulnerables
	Integrar los riesgos climáticos en los planes de mejora de infraestructura
	Participar en la planificación comunitaria y las colaboraciones regionales
	Actualizar los planes de emergencia en caso de sequía
<p>Reparar y readaptar instalaciones</p>	Aplicar políticas y procedimientos para las reparaciones tras las inundaciones y/o incendios
	Implementar la recarga de acuíferos y barreras contra la intrusión de agua salada
	Mejorar las bombas para la prevención del reflujo
	Aumentar la capacidad de recolección y tratamiento de aguas residuales y pluviales
	Aumentar la capacidad de tratamiento
	Instalar sistemas de enfriamiento de efluentes
	Readaptar las tomas en las captaciones de agua para adaptarlas a caudales o niveles de agua más bajos

Fuente: EPA (2023)

3

¿Qué eventos relacionados al cambio climático suceden en América Latina y el Caribe y cuánto afectan a los activos de agua y saneamiento?



3.1. Características de la base de datos

DesInventar es un sistema de gestión de información sobre desastres que actualmente es administrado por la UNDRR (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres) y apoyada por el PNUD (Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo). Como herramienta, permite analizar las tendencias en la ocurrencia desastres y sus repercusiones e impactos de una manera sistemática, pues cuenta con información de un extenso número de países y para el periodo 1970-2013. El análisis de tendencias resulta importante pues permite planificar las medidas de prevención, mitigación y preparación a fin de reducir el impacto de los desastres en la población.

La base de datos de DesInventar se encuentra alimentada por los propios países (la **Tabla 2** presenta los países de ALC según su disponibilidad de información), y contiene datos sobre tipos de eventos y efectos directos e indirectos (muertes, vivienda e infraestructura afectada, sectores económicos, etc.). La metodología de DesInventar distingue entre “eventos” (i.e. todo fenómeno socio-natural que pueda considerarse una amenaza para la vida, las propiedades y las infraestructuras) y “desastre” (i.e. el conjunto de efectos adversos causados por un evento en una unidad geográfica específica y durante un periodo de tiempo determinado).

Tabla 2
Países con información disponible reportada en la base de DesInventar

SUB-REGIÓN	PAÍSES CON INFORMACIÓN	PAÍSES SIN INFORMACIÓN
Países de Centroamérica, Haití, México, Panamá y la República Dominicana (CID)	Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, México, Panamá	Haití, República Dominicana
Países del Grupo Caribe (CCB)	Guyana, Jamaica, Trinidad y Tobago	Bahamas, Barbados, Surinam
Países del Grupo Andino (CAN)	Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela	-
Países del Cono Sur (CSC)	Argentina, Chile, Paraguay, Uruguay	Brasil

Fuente: Elaboración propia.

En este punto debe precisarse que, debido a que el presente documento se centra en los desastres relacionados al cambio climático, el análisis incluye aquellos eventos cuya mayor frecuencia de ocurrencia o intensidad puede atribuirse a los efectos del cambio climático¹¹.

Finalmente, el concepto de unidad geográfica resulta fundamental para interpretar los datos en la presente sección. La metodología DesInventar sugiere que los efectos de un desastre se desagreguen

¹¹ Los eventos reportados en DesInventar que no se incluyen en el presente análisis son: terremotos y licuefacciones, ozono, epizoóticos, erupciones y lahars, incendios (aunque sí incendios forestales), y colapsos estructurales. También se excluyen por valores atípicos los eventos ola de frío, helada y tormenta de nieve.

en cada una de las unidades geográficas afectadas (la herramienta considera normalmente dos niveles donde el primero equivale a la provincia y el segundo, al municipio). De esta forma, la base de datos de DesInventar reporta el número de “registros” (llamados *records* or *DataCards*) que no refleja en sí mismo el número de desastres¹². En ese sentido, un mismo evento podría generar menos o más registros dependiendo de la escala y, por tanto, del número de unidades geográficas que afecta.

3.2. Registros de eventos en la región

Existe un total de 141.957 registros para el periodo 1970-2013; es decir, 141.957 veces en las que unidades geográficas fueron impactadas por fenómenos socio-naturales que pueden constituir una amenaza para la vida, las propiedades y la infraestructura. A nivel de ALC, el 42% de los registros corresponden a inundaciones e inundaciones repentinas, siendo los deslizamientos de tierra el segundo evento con mayor relevancia en la región (16% de los registros).

Tabla 3
Números de registros por evento y sub región en ALC (1970-2013)

EVENTO	SUB REGIÓN				TOTAL
	CAN	CCB	CID	CSC	
Aluvión	1.885	7	45	260	2.197
Avalancha	101		21	68	190
Erosión costera	18		13	10	41
Ciclón	27	103	150		280
Sequía	1.668	20	4.877	1.500	8.065
Tormenta eléctrica	493	10	451	91	1.045
Erosión	28				28
Inundación repentina	1.520	2	1.088	99	2.709
Inundación	24.396	1.730	23.447	7.080	56.653
Niebla	88	3	44	481	616
Incendio forestal	7.165	2	4.724	2.220	14.111
Granizada	819	2	614	395	1.830
Ola de calor	90	3	810	78	981
Deslizamiento de tierra	14.074	401	8.566	314	23.355
Lluvia	3.631	67	5.460	812	9.970
Sedimentación	62		24	5	91

(Continúa en la siguiente página)

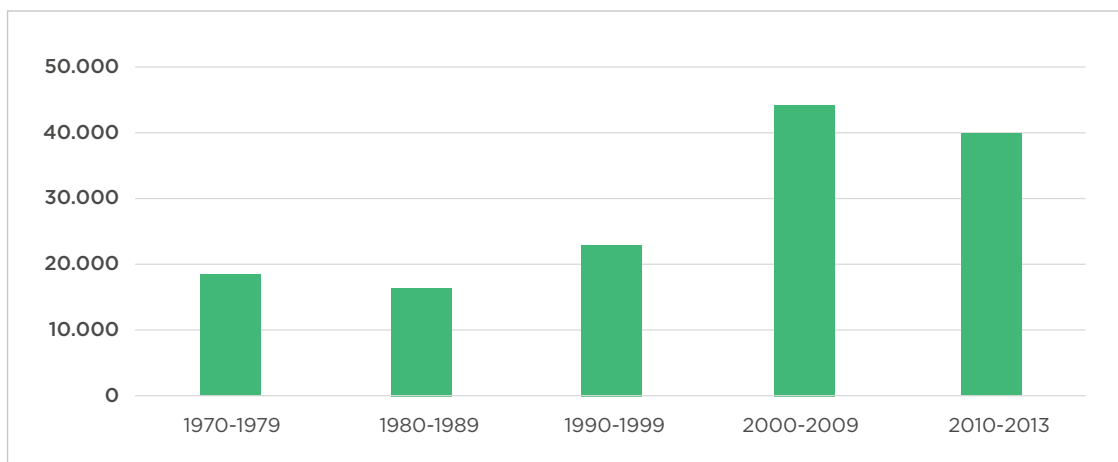
¹² https://www.desinventar.net/documentation/User-Manual-Analysis-and-Query_EN.pdf

EVENTO	SUB REGIÓN				TOTAL
	CAN	CCB	CID	CSC	
Tormenta	608	86	2.397	5.362	8.453
Marejada	656	18	862	165	1.701
Tornado	7	2	64	36	109
Tsunami	10		88	6	104
Tormenta de viento	4.977	258	3.291	902	9.428
Total	62.323	2.714	57.036	19.884	141.957

Fuente: DesInventar. Elaboración propia.

El **Gráfico 5** muestra la evolución en el número de registros por década. Si bien existe información solo para los primeros cuatro años de la década 2010-2019, puede anticiparse que existe una tendencia claramente creciente.

Gráfico 5
Número de registros por década



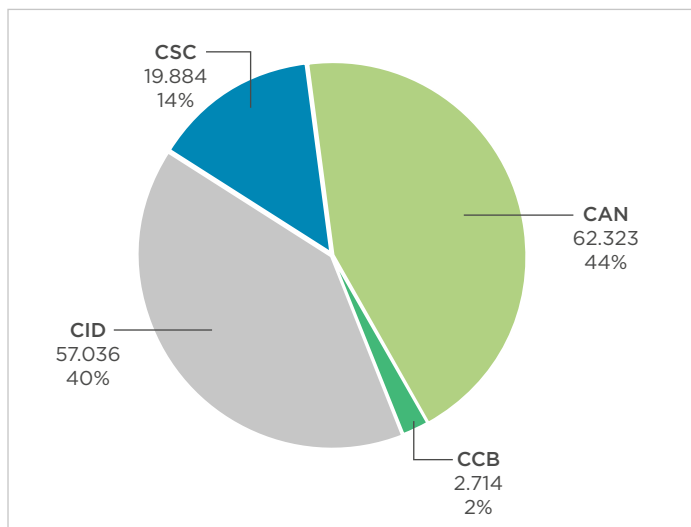
Nota: No se cuenta con información para los años 2014 - 2019.

Fuente: DesInventar. Elaboración propia.

De otro lado, el **Gráfico 6** muestra el número de registros por sub región de ALC, donde se observa que los países del Grupo CAN concentran el 44% de los registros, mientras que los países del Grupo CID concentran el 40%. Esto se encuentra en gran medida explicado por la población y extensión del territorio de los países, como puede verse en el **Gráfico 7**.

Gráfico 6

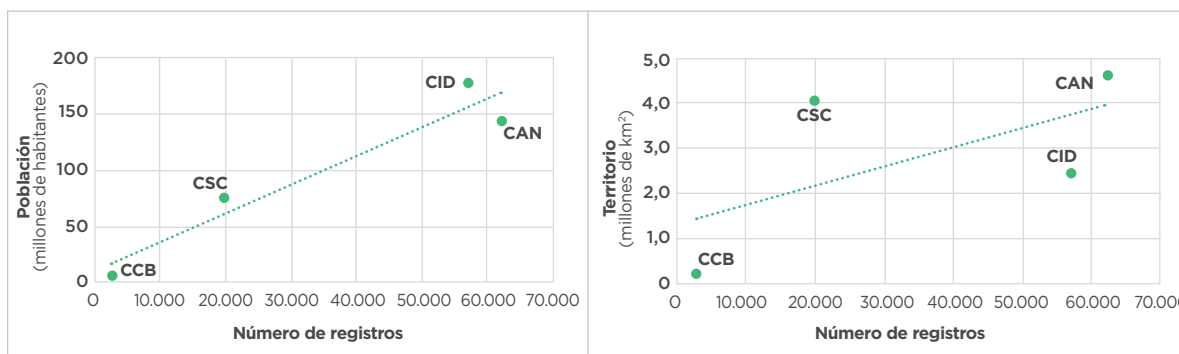
Número de registros por sub región de ALC



Fuente: DesInventar. Elaboración propia.

Gráfico 7

Relación entre número de registros y tamaño de población y área de las sub regiones



Fuente: DesInventar, World Development Indicators (Banco Mundial). Elaboración propia.

Con relación a la incidencia de los eventos, la **Tabla 4** muestra que las inundaciones son el evento que más registros ha generado en las cuatro sub regiones de ALC; alcanzando el 64% de los registros ingresados en los países del Grupo Caribe. En el grupo de países de la Comunidad Andina, los deslizamientos de tierra son el segundo evento con más registros (23%), y en tercer lugar se encuentran los incendios forestales (11%). En los países de Centroamérica, los deslizamientos son también el segundo evento con más registros (15%), seguidos de las lluvias e incendios forestales (con 10% y 8%). Por su parte, en los países del Cono Sur, las tormentas son el segundo evento con más relevancia, representando el 27% de los registros de esta sub región, seguidos de los incendios forestales (11%).

Tabla 4
Análisis vertical: importancia de cada tipo de evento en cada sub región en ALC (1970-2013)

EVENTO	SUB REGIÓN			
	CAN	CCB	CID	CSC
Aluvión	3%	0,3%	0,1%	1%
Avalancha	0,2%	0%	0%	0,3%
Erosión costera	0%	0%	0%	0,1%
Ciclón	0%	4%	0%	0%
Sequía	3%	1%	9%	8%
Tormenta eléctrica	1%	0,4%	1%	0%
Erosión	0%	0%	0%	0%
Inundación repentina	2%	0,1%	2%	0,5%
Inundación	39%	64%	41%	36%
Niebla	0,1%	0%	0,1%	2%
Incendio forestal	11%	0%	8%	11%
Granizada	1%	0%	1%	2%
Ola de calor	0,1%	0%	1%	0%
Deslizamiento de tierra	23%	15%	15%	2%
Lluvia	6%	2%	10%	4%
Sedimentación	0,1%	0%	0%	0%
Tormenta	1%	3%	4%	27%
Marejada	1%	1%	2%	1%
Tornado	0%	0,1%	0,1%	0,2%
Tsunami	0%	0%	0,2%	0%
Tormenta de viento	8%	10%	6%	5%
Total	100%	100%	100%	100%

Fuente: DesInventar. Elaboración propia.

También resulta ilustrativo revisar si los registros de eventos se concentran particularmente más en alguna sub región. Si bien debido al elevado número de registros en CAN (44% del total de registros de ALC), esta suele ser la sub región con más registros en la mayoría de los eventos, existen algunos eventos que no siguen este patrón debido a las condiciones meteorológicas propias de los países. Por ejemplo, el 54% de registros de ciclones corresponden a Países de Centroamérica y el 37% a países del Grupo Caribe. El 60% de registros asociados a sequías se dan en Centroamérica, donde también se concentran un alto número de registros de olas de calor, marejadas, tornados y tsunamis. Por su parte, el 63% de registros de tormentas y el 45% de tormentas de nieve se encuentran en los países del Cono Sur. Para mayor detalle puede revisarse la **Tabla 5**.

Tabla 5

Análisis horizontal: concentración de eventos por sub región (1970-2013)

EVENTO	SUB REGIÓN			
	CAN	CCB	CID	CSC
Aluvión	86%	0%	2%	12%
Avalancha	53%	0%	11%	36%
Erosión costera	44%	0%	32%	24%
Ciclón	10%	37%	54%	0%
Sequía	21%	0%	60%	19%
Tormenta eléctrica	47%	1%	43%	9%
Erosión	100%	0%	0%	0%
Inundación repentina	56%	0%	40%	4%
Inundación	43%	3%	41%	12%
Niebla	14%	0%	7%	78%
Incendio forestal	51%	0%	33%	16%
Granizada	45%	0%	37%	22%
Ola de calor	9%	0%	83%	8%
Deslizamiento de tierra	60%	2%	37%	1%
Lluvia	36%	1%	55%	8%
Sedimentación	68%	0%	26%	5%
Tormenta	7%	1%	28%	64%
Marejada	39%	1%	51%	10%
Tornado	6%	2%	59%	33%
Tsunami	10%	0%	85%	6%
Tormenta de viento	53%	3%	35%	10%
Total	44%	2%	40%	14%

Fuente: DesInventar. Elaboración propia.



3.3. Registros de eventos que afectaron los sistemas de agua y saneamiento

La base de datos de DesInventar también incluye el número de registros en los cuales se reportó que se afectaron los sistemas de agua y saneamiento¹³. Bajo la primera categoría se encuentran aquellos registros que reportaron daño al sistema de acueducto (bocatomas, plantas de tratamiento de agua, acueductos y canales que transportan agua potable, tanques de almacenamiento), mientras que la segunda categoría, aquellos que refieren daños a los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales.

Como puede verse en la **Tabla 6**, las inundaciones y las lluvias son aquellos eventos que poseen registros que más afectan a los sistemas de agua y saneamiento. Los daños a los sistemas de agua en ALC fueron en un 42% causados por inundaciones y en un 21% por lluvias. En el caso de los sistemas de saneamiento, estos porcentajes son 62% y 17%, respectivamente. En tercer lugar, estos sistemas son también afectados por deslizamientos de tierra (10% en agua y 8% en saneamiento), mientras que las sequías afectan a los sistemas de agua (11%).



¹³ https://www.desinventar.net/documentation/Desinventar_Sendai_Data_management.pdf

Tabla 6
Registros que reportan daños a los sistemas de agua y saneamiento (1970-2013)

EVENTO	AGUA				SANEAMIENTO				AGUA	SAN.
	CAN	CCB	CID	CSC	CAN	CCB	CID	CSC		
Aluvión	87	2	6	34	36	3	6	6	2%	1%
Avalancha	2		1	2	1				0%	0%
Erosión costera	1				1				0%	0%
Ciclón	1	59	12		1	59	6		1%	1%
Sequía	546	15	109	115	14	1	10		11%	0%
Tormenta eléctrica	7		32	2	7		2		1%	0%
Erosión									0%	0%
Inundación repentina	162		91	8	67		79	10	4%	2%
Inundación	857	123	1.518	352	1.528	92	2.778	435	42%	62%
Niebla			3						0%	0%
Incendio forestal	31		13	15	2		2	1	1%	0%
Granizada	18		21	2	41		31		1%	1%
Ola de calor	8		5	21					0%	0%
Deslizamiento de tierra	476	15	171	4	442	12	145	5	10%	8%
Lluvia	145	24	1.227	36	215	19	1.086	35	21%	17%
Sedimentación	6		3		1		3		0%	0%
Tormenta	20	29	110	168	22	25	152	256	5%	6%
Marejada	8	3	6		7	3	4	2	0%	0%
Tornado			4						0%	0%
Tsunami	1			3					0%	0%
Tormenta de viento	40		21	44	82		33	3	2%	2%
Total	2.416	270	3.353	806	2.467	214	4.337	753	100%	100%

Fuente: DesInventar. Elaboración propia.

4

¿Cómo afecta el cambio climático a los operadores de agua y saneamiento en la región?



PÁGINA 42

4.1. Metodología y características de los operadores participantes

La presente sección contiene los resultados de una encuesta específicamente diseñada para este estudio, a ser respondida por funcionarios de los operadores de agua y saneamiento en América Latina y el Caribe, preferentemente a cargo de las gerencias de producción o medio ambiente. La difusión de la encuesta se realizó principalmente mediante las redes de Water Operators' Partnership Latin America & Caribbean - WOP-LAC.

A fin de incrementar el alcance de la encuesta, también se solicitó el apoyo de distintas asociaciones nacionales de empresas de agua y se dirigió comunicaciones directas a determinadas empresas representativas en todos los países de América Latina y el Caribe (ver sección de **Agradecimientos**). En la invitación a participar en la encuesta, se sugirió que ésta debería ser preferentemente respondida por el área o gerencia encargada de la producción de agua o de medio ambiente en la empresa, debido a que el trabajo de estas áreas operativas es directamente impactado por el cambio climático en las operaciones de la empresa. Debe considerarse que las respuestas enviadas por los entrevistados no representan necesariamente la posición oficial de los operadores, pero son un indicativo importante sobre la situación que actualmente enfrentan.

Se logró recopilar información para 61 operadores de agua en la región, distribuidos en 11 países según se muestra a continuación:

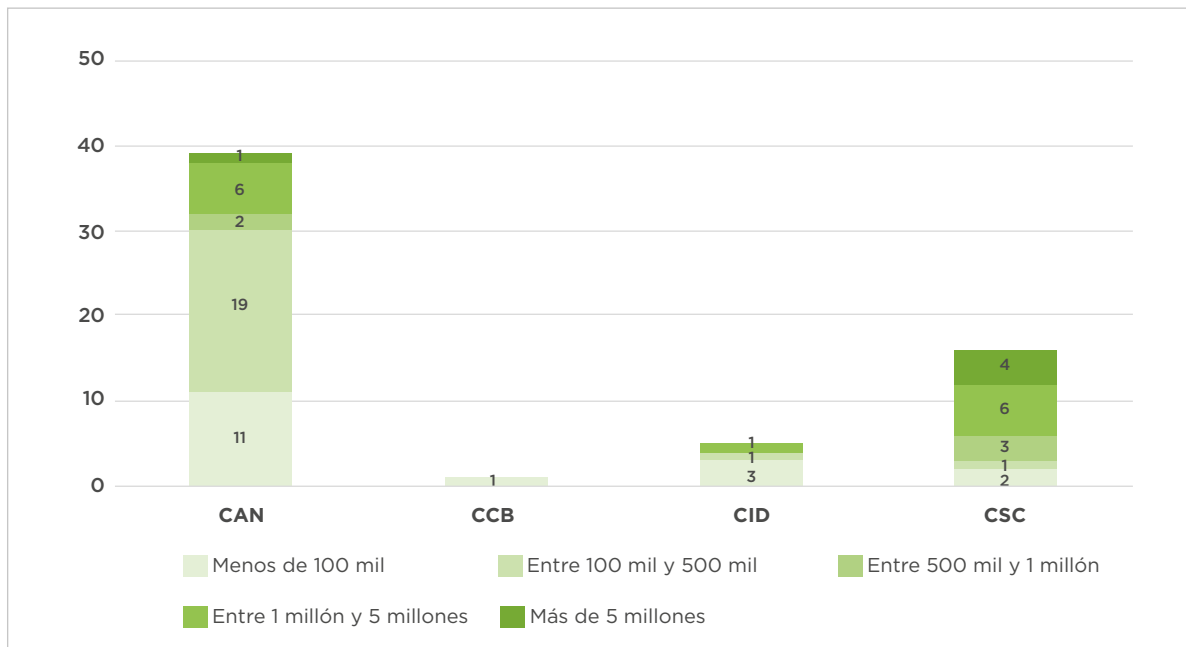
Tabla 7
Países con información disponible reportada en la base de DesInventar

REGIÓN	PAÍS	OPERADORES
CAN	Bolivia	2
	Colombia	21
	Ecuador	2
	Perú	14
CCB	Barbados	1
CID	Belice	1
	Costa Rica	2
	Honduras	2
CSC	Argentina	4
	Brasil	5
	Chile	7

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta a operadores de la región.

Con relación al tamaño de los operadores, de la muestra total de empresas encuestadas, un 26% tiene una población abastecida de menos de 100 mil habitantes, un 36% una población de entre 100 mil y 500 mil, un 8% entre 500 mil y 1 millón, un 21% entre 1 millón y 5 millones y, finalmente, 8% de las empresas encuestadas manifestaron atender a poblaciones mayores a los 5 millones de habitantes. El **Gráfico 8** muestra un resumen de los operadores según tamaño por sub región. La lista completa de operadores participantes puede encontrarse en el **Anexo 6.2**.

Gráfico 8
Tamaño de los operadores encuestados



Fuente: Elaboración propia basada en encuesta a operadores de la región.

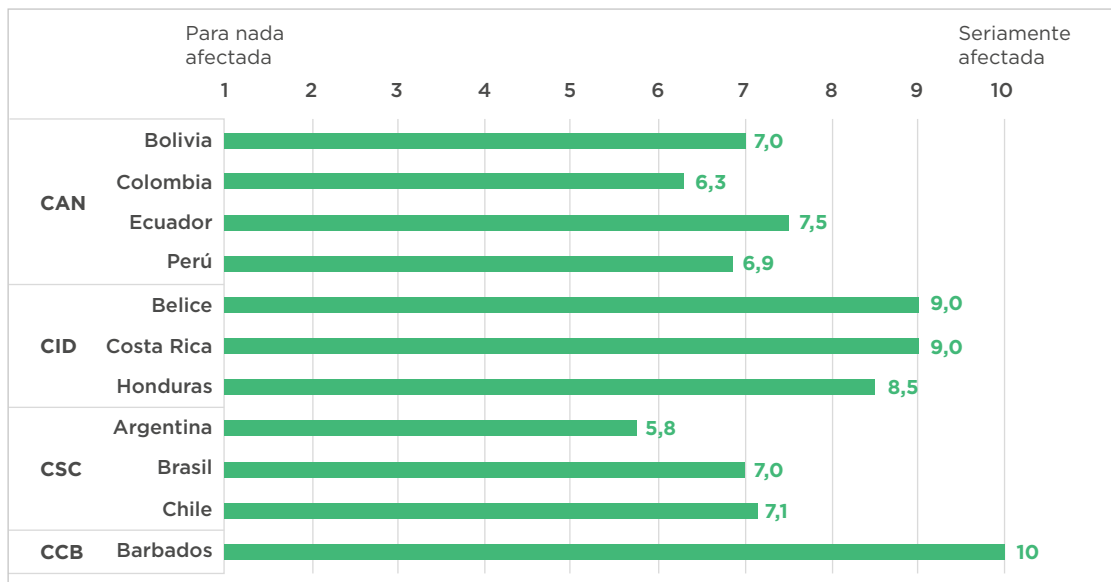


4.2. Resultados de la encuesta

Se preguntó a los representantes de los operadores, en una escala del 1 al 10, cuánto estimaban que el cambio climático había afectado a su empresa en los últimos 15 años. El puntaje promedio en todos los países de la muestra se encuentra por encima de 5 (medianamente afectada), y en algunos países el puntaje promedio revela que las empresas de agua se encuentran seriamente afectadas por los efectos del cambio climático (ver **Gráfico 9**). En particular, 7 de las 61 empresas encuestadas (11%) reportaron un índice de afectación de 10, 4 empresas (7%) un índice de 9, y 15 empresas (25%) un índice de 8.

Gráfico 9

En los últimos 15 años, en una escala del 1 al 10, ¿cuánto estima que el cambio climático ha afectado a su empresa?

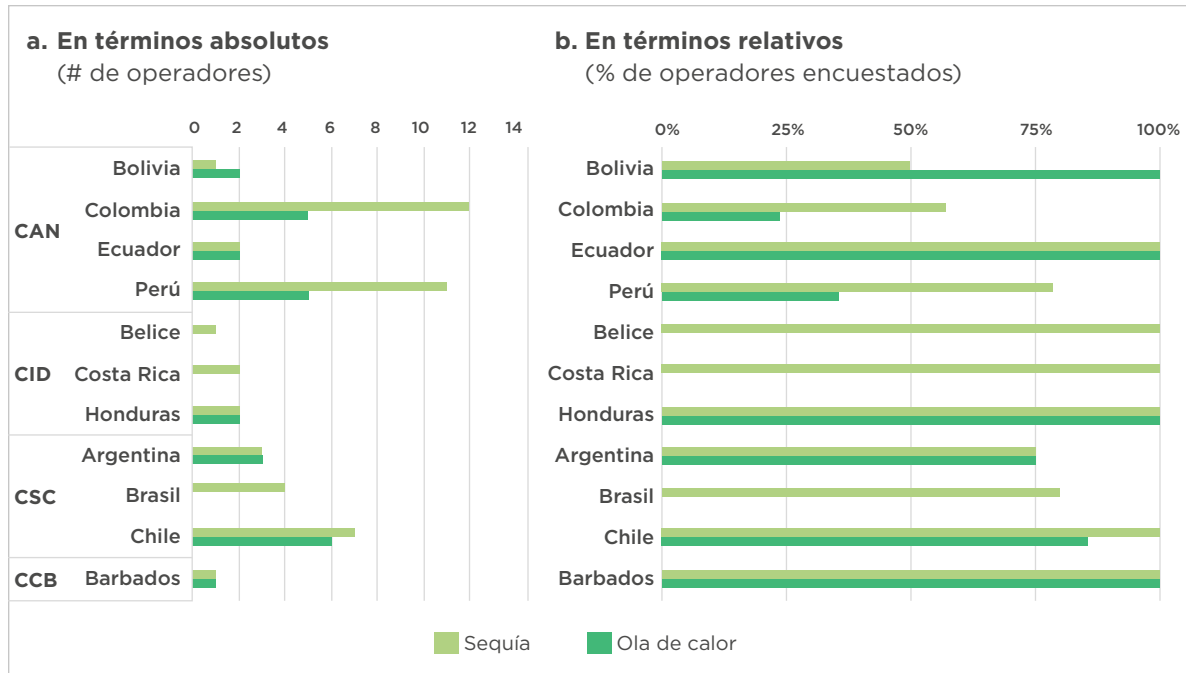


Fuente: Elaboración propia basada en encuesta a operadores de la región.

Posteriormente, la encuesta preguntó a los operadores por los efectos del cambio climático que han experimentado en los últimos años. Como puede verse en el **Gráfico 10**, en todos los países para los cuales se tiene información existen operadores que registran verse afectados por sequías. El 75% de los operadores encuestados manifiestan haber sido afectados por sequías, incluyendo el operador de Barbados (CCB) y el 100% de los operadores encuestados en CID. Asimismo, el 43% de los operadores encuestados en la región manifestó verse afectado por olas de calor.

Gráfico 10

Operadores afectados por olas de calor o sequías



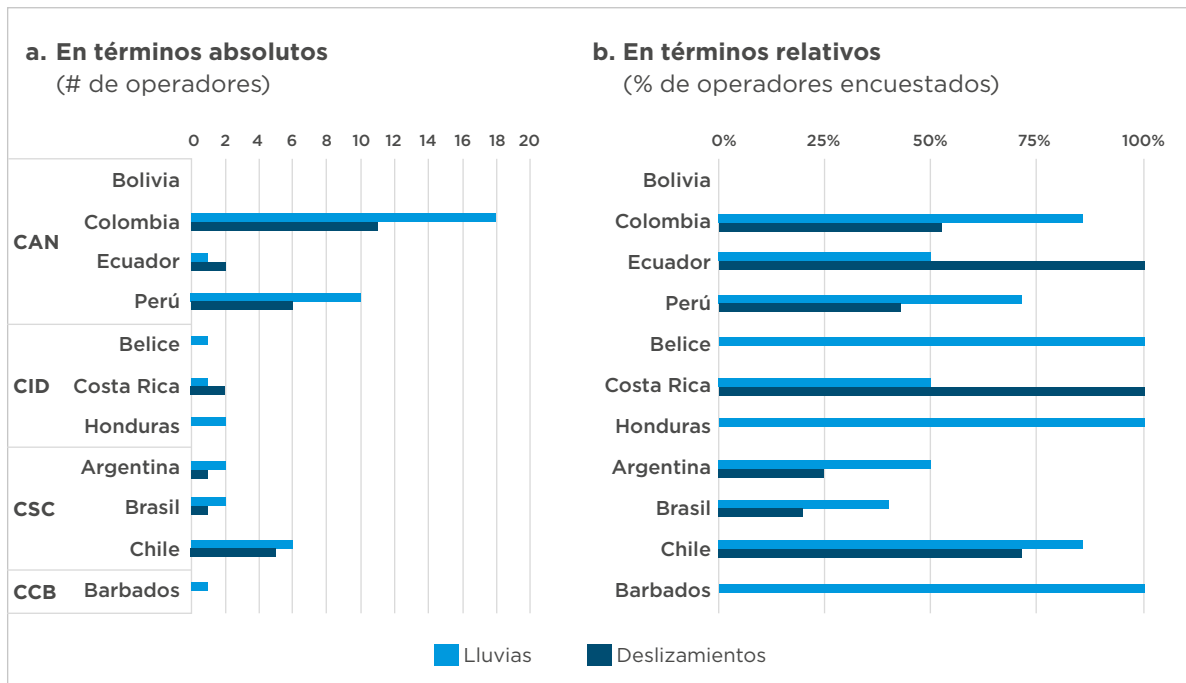
Nota: Bolivia (N=2), Colombia (N=21), Ecuador (N=2), Perú (N=14), Barbados (N=1), Belice (N=1), Costa Rica (N=2), Honduras (N=2), Argentina (N=4), Brasil (N=5), Chile (N=7).

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta a operadores de la región.

El **Gráfico 11** muestra que un porcentaje importante de los operadores encuestados manifestó haber sido afectado por lluvias intensas y deslizamientos de tierra. El 72% de los operadores encuestados manifestó haber sido afectado por lluvias intensas (74% en CAN y 63% en CSC); mientras que el 46% de los operadores se ven afectados por deslizamientos de tierra (alcanzando el 49% en CAN).

Gráfico 11

Operadores afectados por lluvias intensas y deslizamientos de tierra



Nota: Bolivia (N=2), Colombia (N=21), Ecuador (N=2), Perú (N=14), Barbados (N=1), Belice (N=1), Costa Rica (N=2), Honduras (N=2), Argentina (N=4), Brasil (N=5), Chile (N=7).

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta a operadores de la región.

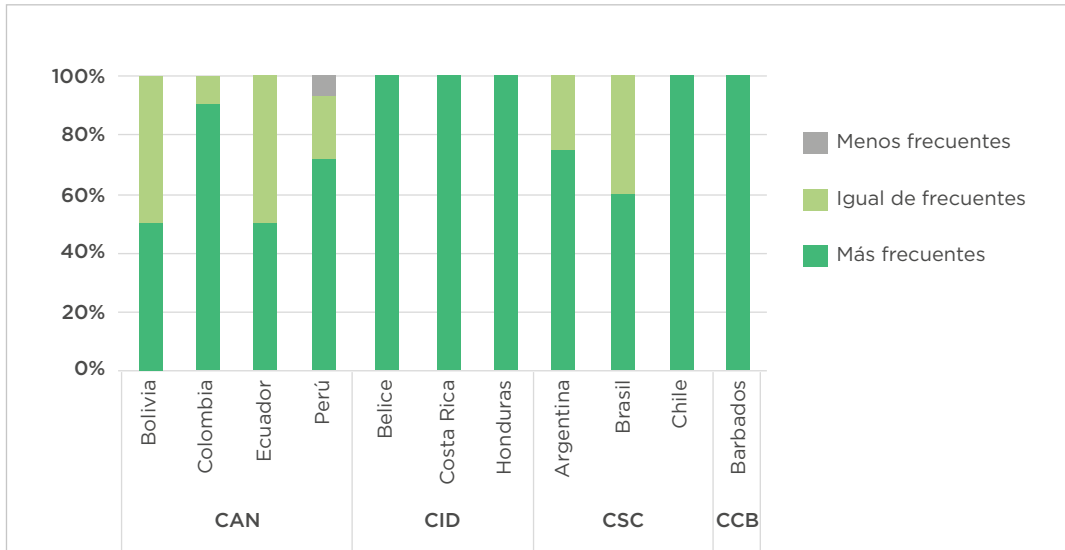
La encuesta también preguntó por otro tipo de fenómenos tales como tornados o huracanes, heladas, derretimiento de glaciares e incendios forestales. Aunque la incidencia de este tipo de eventos es considerablemente menor, se registraron patrones sub regionales en línea con lo encontrado como consecuencia del análisis de la base de datos DesInventar en la Sección 2 de este documento.



De otro lado, también se preguntó a los operadores sobre la frecuencia e intensidad de estos fenómenos en los últimos años. Como puede verse en los **Gráficos 12 y 13**, el 82% de los operadores encuestados piensa que los eventos climáticos extremos se están presentando con mayor frecuencia y el mismo porcentaje también cree que se presentan con mayor intensidad.

Gráfico 12

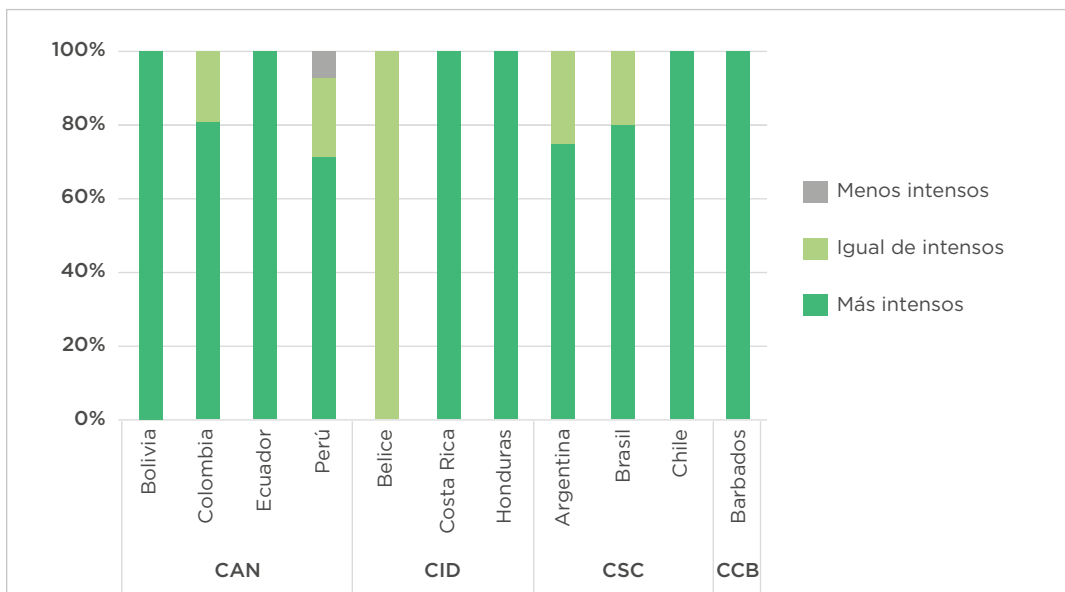
¿Cree que estos eventos son menos, igual o más frecuentes?



Fuente: Elaboración propia basada en encuesta a operadores de la región.

Gráfico 13

¿Cree que estos eventos son menos, igual o más intensos?



Fuente: Elaboración propia basada en encuesta a operadores de la región.

Con respecto a los impactos concretos que el cambio climático ha tenido en las condiciones de operación y en la infraestructura de los operadores encuestados (ver **Tabla 8**), los resultados muestran que la afectación de las fuentes superficiales es una realidad para los operadores: el 77% de los operadores encuestados manifiesta verse impactado por una reducción en el caudal de los ríos, mientras que un 70% advierte un incremento en el nivel de turbiedad en las fuentes superficiales. En tercer lugar, un 66% de los operadores manifiestan que las lluvias intensas ocasionan colapso en las redes de alcantarillado sanitario y/o pluvial.

Con respecto a otros impactos en las subregiones, vale la pena advertir el agotamiento de los acuíferos y las interrupciones en el suministro eléctrico como resultado de desastres en países de CCB y CID.

Algunos impactos no incluidos en la tabla, pero que los operadores reportaron bajo la categoría “Otros” incluyen el daño a la infraestructura por huracanes (Belice), variedad de la calidad físico-química del agua (Perú) y escasez hídrica intensa (Brasil).

Tabla 8
¿Qué impactos del cambio climático ha experimentado su empresa en los últimos 15 años?

IMPACTOS	CAN				CCB	CID			CSC			TOTAL
	BOL	COL	ECU	PER	BRB	BLZ	CRI	HND	ARG	BRA	CHL	
Reducción en el caudal de los ríos	50%	67%	50%	86%	0%	100%	100%	100%	75%	100%	86%	77%
Incremento en el nivel de turbiedad de fuentes superficiales (ríos, lagunas)	50%	71%	50%	79%	0%	100%	100%	100%	50%	40%	86%	70%
Colapso de redes de alcantarillado o drenaje de aguas de lluvia por lluvias intensas	100%	67%	100%	50%	100%	0%	100%	100%	25%	60%	86%	66%
Cambios inesperados en la demanda de agua por cambios en la temperatura	100%	29%	100%	57%	100%	0%	50%	100%	100%	40%	57%	52%
Reducción o agotamiento del nivel freático de los acuíferos	0%	19%	50%	36%	100%	100%	100%	100%	50%	20%	86%	41%
Interrupciones en el suministro eléctrico como resultado de desastres	50%	24%	50%	29%	100%	100%	50%	100%	50%	0%	86%	39%
Arrasamiento o daño en la infraestructura por deslizamientos de lodo o aludes	0%	33%	50%	50%	0%	0%	100%	50%	0%	20%	14%	33%
Eutrofización (mayor presencia de algas) en fuentes de agua	0%	24%	100%	21%	0%	0%	0%	50%	0%	60%	71%	31%

(Continúa en la siguiente página)

Tabla 8 (continuación)

¿Qué impactos del cambio climático ha experimentado su empresa en los últimos 15 años?

IMPACTOS	CAN				CCB	CID			CSC			TOTAL
	BOL	COL	ECU	PER	BRB	BLZ	CRI	HND	ARG	BRA	CHL	
Incremento en olores en plantas de tratamiento de aguas residuales por incremento de temperaturas	100%	19%	50%	14%	100%	0%	0%	0%	25%	0%	71%	26%
Intrusión salina de los acuíferos	0%	0%	0%	21%	100%	0%	50%	0%	25%	0%	57%	16%
Mayor evaporación de agua almacenada en represas	50%	5%	0%	36%	0%	0%	0%	0%	0%	60%	0%	16%
Agotamiento de manantiales o lagunas por derretimiento de glaciares	0%	0%	0%	29%	0%	0%	0%	50%	25%	0%	29%	13%
Destrucción de infraestructura por oleaje anómalo del mar	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	57%	7%
Hundimiento del terreno por compactación de acuíferos sobreexplotados	0%	5%	0%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta a operadores de la región.

La encuesta también preguntó a los operadores sobre las estrategias de adaptación al cambio climático. En primer lugar, se recogieron respuestas sobre medidas tradicionales (ver **Tabla 9**). Casi la totalidad de empresas encuestadas (92%) llevan a cabo alguna de estas medidas. El 64% de los operadores encuestados ha respondido a los efectos del cambio climático mediante la mayor compra de insumos químicos para la potabilización. El 56% reporta haber realizado inversiones en construcción o mantenimiento de pozos de reserva, lo cual reafirma la importancia de las fuentes de agua subterráneas en la región, al ser un activo natural estratégico para hacer frente a la variabilidad hídrica superficial en el contexto del cambio climático (Solís, 2023).

En Brasil, 4 de las 5 empresas encuestadas han realizado inversiones en construcción de represas de almacenamiento; mientras que el operador en Barbados recurre al reuso de aguas residuales tratadas y la inversión en plantas desaladoras.

Algunas medidas tradicionales de adaptación no incluidas en la tabla, pero que los operadores reportaron bajo la categoría “Otros” incluyen la instalación de sistemas fotovoltaicos de energía renovable en las estaciones de bombeo (Barbados), instalación de estaciones automáticas de control de la calidad de las aguas subterráneas en tiempo real (Barbados), la interconexión de redes de abastecimiento y fuentes de agua (Brasil, Colombia), la compra de agua (Chile), la construcción y ampliación de fuentes, ampliación de plantas, construcción de estanques, renovaciones y reemplazo de tuberías (Chile), equipos de ultrasonido para control de algas (Colombia) y reposición y modernización de infraestructura de redes secundarias, empleando materiales más resistentes -PEAD (Colombia).

Tabla 9

¿Cuál(es) de las siguientes medidas tradicionales ha adoptado su empresa para adaptarse al cambio climático?

MEDIDAS TRADICIONALES	CAN				CCB	CID			CSC			TOTAL
	BOL	COL	ECU	PER	BRB	BLZ	CRI	HND	ARG	BRA	CHL	
Incremento en costos de insumos químicos para el tratamiento de agua potable	0%	81%	50%	71%	0%	100%	0%	100%	50%	40%	57%	64%
Inversiones en construcción o mantenimiento de pozos de reserva	50%	38%	50%	29%	100%	0%	100%	50%	100%	100%	100%	56%
Gastos en limpieza o descolmatación más continua de ríos	0%	29%	0%	43%	0%	100%	100%	100%	50%	20%	14%	34%
Inversiones en construcción de trasvases de agua	0%	5%	50%	14%	0%	0%	50%	50%	50%	60%	71%	26%
Inversiones en construcción de represas de almacenamiento	0%	10%	0%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	80%	71%	21%
Reuso de aguas residuales tratadas	0%	0%	50%	0%	100%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	5%
Inversión en plantas desaladoras de agua de mar	0%	0%	0%	7%	100%	0%	0%	0%	0%	20%	0%	5%
Ninguna de las anteriores	50%	10%	0%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta a operadores de la región.

Con relación a las medidas no tradicionales (incluyendo inversión en infraestructura natural y verde), estas resultan menos comunes: un 36% de los operadores no ha realizado ninguna inversión o adoptado ninguna estrategia de este tipo (ver **Tabla 10**). El 43% de los operadores de agua están invirtiendo en la reforestación de las partes altas de las cuencas y el 30% en la protección o restauración de ecosistemas (lagos, humedales, etc). En Barbados, Ecuador, Perú, Brasil y Chile existen operadores que reportan fomentar la cosecha de agua de lluvia por parte de los usuarios como estrategia para reducir la presión de la demanda sobre las fuentes hídricas.

Algunas medidas no tradicionales de adaptación no incluidas en la tabla, pero que los operadores reportaron bajo la categoría “Otros” incluyen inversiones en estabilización de taludes (Perú), filtraciones en lechos de ríos (Colombia) y campañas de concientización a los usuarios (Belice).

Tabla 10
¿Cuál(es) de las siguientes medidas no tradicionales ha adoptado su empresa para adaptarse al cambio climático?

MEDIDAS NO TRADICIONALES	CAN				CCB	CID			CSC			TOTAL
	BOL	COL	ECU	PER	BRB	BLZ	CRI	HND	ARG	BRA	CHL	
(Re)forestación de partes altas de la cuenca	0%	62%	50%	21%	0%	0%	100%	100%	25%	80%	0%	43%
Inversión en protección o restauración de ecosistemas (lagos, humedales, etc).	0%	38%	100%	29%	0%	0%	50%	0%	25%	20%	14%	30%
Fomento de cosecha de aguas de lluvia por parte de usuarios	0%	0%	50%	21%	100%	0%	0%	0%	0%	20%	14%	11%
Zanjas de infiltración	0%	0%	0%	14%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	14%	7%
Inversiones para reducir velocidad de ríos o canales para aumentar infiltración	0%	0%	0%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%
Ninguna de las anteriores	100%	24%	0%	43%	0%	0%	50%	0%	75%	0%	71%	36%

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta a operadores de la región.

Se les preguntó a los operadores que manifestaron implementar estas medidas (ya sea tradicionales o no tradicionales) cómo financiaron estas medidas (ver **Tabla 11**): 45 operadores (87%) manifestaron que estas se financiaron con los recursos recaudados del cobro regular de las tarifas de agua y saneamiento, 15 operadores (29%) financiaron las medidas con transferencias de dinero de algún nivel de gobierno, y 8 operadores (15%) utilizaron recursos provenientes del cobro de cargos tarifarios específicamente destinados a estas medidas.

Algunas formas de financiamiento no incluidas en la tabla, pero que los operadores reportaron bajo la categoría “Otros” incluyen la inversión directa por parte del gobierno local (Honduras), fondos propios del inversionista (Chile), transferencias vía decreto de emergencia (Costa Rica) y préstamos o contribuciones internacionales (Argentina, Belice). Asimismo, existen menciones explícitas al Banco Interamericano de Desarrollo (Argentina, Barbados), el Fondo Verde para el Clima, el Banco de Desarrollo del Caribe (Barbados), y Euroclima (Perú).

Tabla 11
¿Cómo se han financiado las medidas implementadas?

FINANCIAMIENTO	CAN				CCB	CID			CSC			TOTAL
	BOL	COL	ECU	PER	BRB	BLZ	CRI	HND	ARG	BRA	CHL	
Mediante la recaudación de las tarifas de agua y saneamiento	1	12	2	11	0	1	2	2	3	4	7	45
Mediante transferencias de dinero del gobierno nacional o municipal	0	3	0	3	0	0	1	0	3	4	1	15
Mediante el cobro de cargos tarifarios específicamente destinados a estas medidas	0	0	1	2	0	0	1	2	1	1	0	8

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta a operadores de la región.

RECUADRO 3

Perú: ¿cómo las tarifas de agua financian la adaptación al cambio climático?

Perú cuenta con la Ley N° 30215 – Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE), una normativa que tiene como propósito fomentar y regular los mecanismos que facilitan la movilización, transferencia e inversión de recursos en la preservación, recuperación y uso sostenible de los diversos ecosistemas del país. En el ámbito específico de los servicios de agua y saneamiento, los MRSE desempeñan un papel crucial. Estos mecanismos pueden contribuir a mantener, incrementar o mejorar la calidad, cantidad y oportunidad del agua. Este enfoque se destaca por su carácter innovador, ya que promueve una perspectiva integral de los servicios de agua y saneamiento, abarcando las fuentes de agua y sus cuencas de abastecimiento.

Las tarifas de agua que aprueba la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass) incluyen un componente destinado a financiar proyectos MRSE que son propuestos por los operadores de agua. Luego de realizar un diagnóstico del estado de conservación de los ecosistemas de interés hídrico en sus cuencas aportantes, los operadores priorizan acciones de conservación, restauración y/o uso sostenible de los ecosistemas. De esta forma, el operador invertirá para contar con agua en cantidad y calidad, evitando futuros incrementos en los costos de potabilización o la realización de inversiones que podrían traducirse en mayores incrementos de la tarifa.

Hasta la fecha de elaboración de este documento, 47 de las 50 empresas a nivel nacional cuentan con tarifas que permiten financiar proyectos MRSE. Sin embargo, solo 12 empresas han avanzado en la formulación, ejecución o culminación de al menos un proyecto¹⁴. Estos incluyen la reforestación y limitación del pastoreo de ganado en Abancay, la construcción de servicios básicos para evitar el vertido de aguas servidas en las fuentes de agua en Cusco, y la reforestación con árboles nativos y protección de fajas marginales en Cajamarca, entre otros (Sunass, 2022b). La recaudación anual de los operadores de agua por este concepto era cercana a los USD 6,9 millones¹⁵ a través de tarifas MRSE (Benites Elorreaga y Gammie, 2021). No obstante, debe tenerse en cuenta que en 2020 el gobierno nacional autorizó temporalmente a los operadores a utilizar estos fondos en el marco de la emergencia sanitaria causada por el COVID-19 (Decreto de Urgencia N° 036-2020), afectando los fondos disponibles para este tipo de inversiones.

Las tarifas aprobadas por Sunass también incluyen proyectos de gestión de riesgo de desastres. Así, 48 de las 50 empresas del país contaban con una reserva para este tipo de proyectos, con un fondo acumulado de USD 10 millones a diciembre 2021, y que se espera que llegue a los USD 62 millones al final del periodo regulatorio de los operadores (Sunass, 2022c).

Teniendo en cuenta que alrededor de dos tercios de los fondos recaudados por tarifas MRSE corresponden a la empresa que provee los servicios en Lima y Callao, este caso merece ser descrito con mayor detalle. En el año 2015, la resolución tarifaria emitida por Sunass para el periodo 2015-2020 dispuso la creación de dos fondos de reserva a ser constituidos por Sedapal con los ingresos recaudados por servicios de agua y saneamiento. Un primer fondo de 1% de los ingresos anuales para financiar MRSE y un segundo fondo de un promedio de 3,6% de los ingresos anuales para financiar la gestión de riesgos de desastres y adaptación al cambio climático. Estos fondos permitían recaudar en el periodo quinquenal USD 23 millones y USD 85 millones, respectivamente. En el caso del segundo fondo, conforme se señala en el estudio tarifario respectivo, estos recursos podían utilizarse para afrontar los mayores costos de potabilización ante el incremento en la contaminación del río Rímac, pudiendo utilizarse para la adquisición de insumos químicos tales como carbón activado y sulfato de cobre (Sunass, 2015).

En el año 2021, Sunass aprobó las tarifas para el periodo 2022-2027, e incluyó un fondo de reserva para proyectos MRSE de aproximadamente 0,5% de la recaudación tarifaria. Éste está asociado a un portafolio de 29 proyectos (USD 18 millones) que tienen el objetivo de recuperar la capacidad de generación y conservación de agua en los ecosistemas de las cuencas de Lima y Callao. Por el lado de la gestión de riesgo de desastres, se dispuso la creación de un fondo de reserva, destinando 0,9% de los ingresos anuales de la empresa que permitirá financiar un programa de inversiones de USD 27 millones (Sunass, 2021).

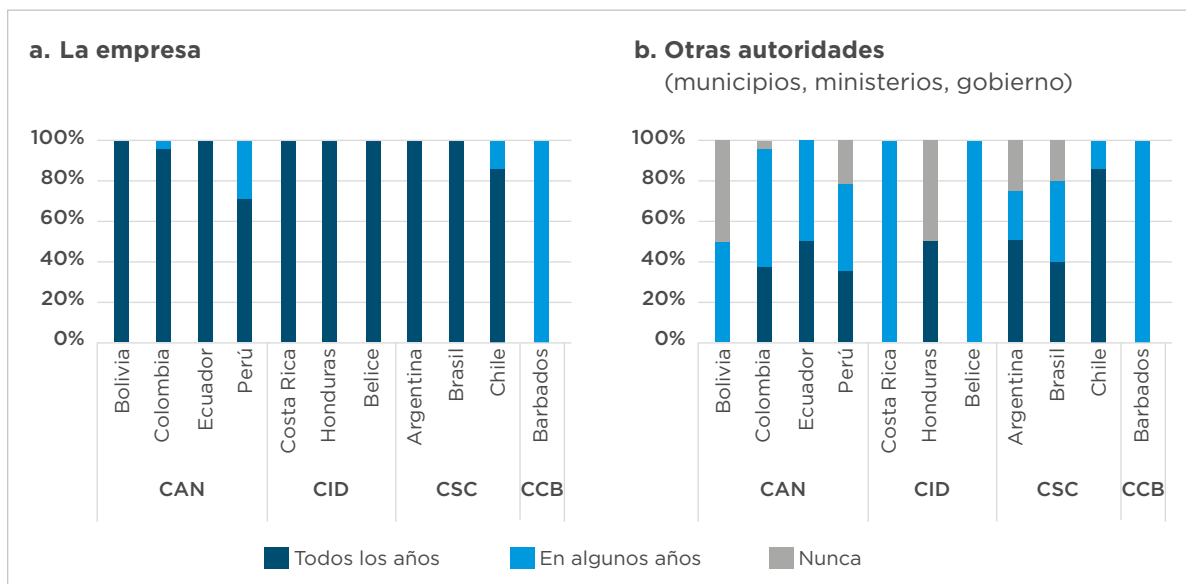
¹⁴ Información disponible en <https://www.sunass.gob.pe/prestadores/empresas-prestadoras/merese/> (revisado el 8 de agosto de 2023).

¹⁵ Tipo de cambio utilizado: 1 USD = 3,70 PEN

Finalmente, con el objetivo de conocer si se implementan políticas orientadas a fomentar en la población el uso responsable del agua, la encuesta incluyó una pregunta al respecto. El 89% de los operadores manifestó que todos los años realizan campañas informativas que incentivan el uso racional del agua. No obstante, al ser preguntados sobre las autoridades (tales como municipios, ministerios o el Gobierno Central), solo 41% de los operadores señaló que estos realizan campañas informativas todos los años y 46% en algunos años (ver **Gráfico 14**).

Gráfico 14

¿Con qué frecuencia su empresa o alguna autoridad en el ámbito de su empresa realiza campañas informativas para incentivar el uso responsable del agua?



Fuente: Elaboración propia basada en encuesta a operadores de la región.

5. Referencias

Abell, R., Asquith, N., Boccaletti, G., Bremer, L., Chapin, E. et al. (2017) *Beyond the Source: The Environmental, Economic and Community Benefits of Source Water Protection*. The Nature Conservancy, Arlington, VA, USA. 2017.

Aderasa - Asociación de entes reguladores de agua y saneamiento de las Américas (2021). *Informe Anual 2021*. Grupo Regional de Trabajo de Benchmarking (Datos 2019).

Aragão, L.E.O.C., Anderson, L.O., Fonseca, M.G. et al. (2018). 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications* 9, 536 <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>

Arbués, F., García-Valiñas, M. Á., y Martínez-Espiñeira, R. (2003). *Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review*. *The Journal of Socio-Economics*, 32(1), 81-102.

Banco Mundial (2019). *From Waste to Resource Shifting paradigms for smarter wastewater interventions in Latin America and the Caribbean*. Disponible en: <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/33382>

Banco Mundial (2020). *World Development Indicators*. Consultado el 05/09/2023 en <https://data.worldbank.org/>

Banco Mundial (2022). *Reference Guide for Climate-Smart Public Investment*. Climate Governance Papers.

Barandiarán, Melissa, Maricarmen Esquivel, Sergio Lacambra, Ginés Suárez y Daniela Zuloaga (2019). *Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático para proyectos del BID*. Nota Técnica N° 1771. Banco Interamericano de Desarrollo.

Bárcena Ibarra, A., Samaniego, J., Peres, W., & Alatorre, J. E. (2020). *The climate emergency in Latin America and the Caribbean: The path ahead-resignation or action?*. Economic Commission for Latin America and the Caribbean - United Nations.

Benites Elorreaga, Lucas y Gena Gammie (2021). *Abriendo el caño: estado del financiamiento en la infraestructura natural para la seguridad hídrica en el Perú, 2021*. Lima, Perú. Forest Trends Association. Disponible en: https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2021/12/Estado-del-financiamiento-en-infraestructura-natural-para-la-SIPeru_2021.pdf

Brichetti, Juan Pablo, Mastronardi, Leonardo, Rivas Amiassorho, María Eugenia, Serebrisky, Tomás y Ben Solís (2021). *La brecha de infraestructura en América Latina y el Caribe: estimación de las necesidades de inversión hasta 2030 para progresar hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Monografía N° 962. Banco Interamericano de Desarrollo. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/la-brecha-de-infraestructura-en-america-latina-y-el-caribe-estimacion-de-las-necesidades-de>

CAF (2022). *IDEAL 2022: Energía, agua y salud para un mejor medio ambiente*. Disponible en: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1980>

Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M. et al. (2014). *Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming*. *Nature Climate Change* 4, 111-116 <https://doi.org/10.1038/nclimate2100>

Cai, W., Wang, G., Santoso, A. et al. (2015). *Increased frequency of extreme La Niña events under greenhouse warming*. *Nature Climate Change* 5, 132-137 <https://doi.org/10.1038/nclimate2492>

Cai, W., Wang, G., Dewitte, B. et al. (2018). *Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming*. *Nature* 564, 201-206 <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0776-9>

Cárdenas, Helena (2022). *Review on Urban Water & Sanitation on Three Topics: Subsidy Incidence, Price Elasticities, and Relations to Health: Framework and Research Paths for Future Studies*. Nota Técnica N° 2407. Banco Interamericano de Desarrollo. Disponible en: <https://publications.iadb.org/en/review-urban-water-sanitation-three-topics-subsidy-incidence-price-elasticities-and-relations>

Caretta, M.A., A. Mukherji, M. Arfanuzzaman, R.A. Betts, A. Gelfan, Y. Hirabayashi, T.K. Lissner, J. Liu, E. Lopez Gunn, R. Morgan, S. Mwanga, y S. Supratid (2022). *Water*. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 551-712, <https://doi.org/10.1017/9781009325844.006>.

Carrera, J., Arroyo, V., Rojas, F., & Mejia, A. (2018). *Water security in Latin America: the urban dimension. Empirical evidence and policy implications from 26 cities*. *Global Water Security: Lessons Learnt and Long-Term Implications*, 217-232.

Carrillo, Paul; Contreras, Ivette y Carlos Scartascini (2021). *Turn off the faucet: Solving excess water consumption with individual meters*. Documento de Trabajo N° 1152. Banco Interamericano de Desarrollo. Disponible en: <https://publications.iadb.org/en/turn-faucet-solving-excess-water-consumption-individual-meters>

Castellanos, E., M.F. Lemos, L. Astigarraga, N. Chacón, N. Cuví, C. Huggel, L. Miranda, M. Moncassim Vale, J.P. Ometto, P.L. Peri, J.C. Postigo, L. Ramajo, L. Roco, y M. Rusticucci (2022). *Central and South America*. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1689-1816, <https://doi.org/10.1017/9781009325844.014>.

Cavallo, E., Powell, A., & T. Serebrisky. (2020). *De estructuras a servicios. El camino a una mejor infraestructura en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Cavallo, E., Hoffmann, B. & I. Noy (2023). *Disasters and Climate Change in Latin America and the Caribbean: An Introduction to the Special Issue*. *Economics of Disasters and Climate Change* 7: 135-145.

Cerdán Estrada, Eliana; Smith, Mia; Camacho Hernández, Mirtha y Claudia V. Grados Bueno (2022). *Recuperando la fluidez: Estado de la inversión en acciones en infraestructura natural para la seguridad hídrica en el Perú*. Forest Trends. Disponible en <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2023/03/Recuperando-la-fluidez.pdf>

Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., y S. Maginnis (2016). *Nature-based solutions to address global societal challenges*. IUCN: Gland, Switzerland, 97, 2016-2036. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-036.pdf>

Dalhuisen, J. M., Florax, R. J., De Groot, H. L., & Nijkamp, P. (2003). *Price and income elasticities of residential water demand: a meta-analysis*. Land economics, 79(2), 292-308.

Dostal T, Meisner J, Munayco C, García PJ, Cárcamo C, Pérez Lu JE, Morin C, Frisbie L, Rabinowitz PM (2022). *The effect of weather and climate on dengue outbreak risk in Peru, 2000-2018: A time-series analysis*. PLOS Neglected Tropical Diseases. 2022 Jun 30;16(6):e0010479. doi: 10.1371/journal.pntd.0010479. PMID: 35771874; PMCID: PMC9278784. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9278784/>

EPA - Environmental Protection Agency (2013). *Impacts of Climate Change on the Occurrence of Harmful Algal Blooms*. Available on: <https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/climatehabs.pdf>

EPA - Environmental Protection Agency (2023). *Water Utility Adaptation Strategies for Climate Change*. Disponible en: <https://www.epa.gov/arc-x/adaptation-actions-water-utilities>

Fiorillo, D., Kapelan, Z., Xenochristou, M. et al. (2021). *Assessing the Impact of Climate Change on Future Water Demand using Weather Data*. Water Resour Manage 35, 1449-1462. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02789-4>.

Gomez-Lobo, A., Serebrisky, T., Sosa, B. S., Cardenas, H., Gutierrez Martinez, M. O., y S. A. Huamani Antonio (2023). *Reducing leakage: subsidies and tariff reform in water and sanitation services in Metropolitan Lima, Peru*. Water Economics and Policy.

Groves, D. G., Miro, M., Syme, J., Becerra-Ornelas, A.U., Molina-Pérez, E., Saavedra Gómez, V. y A. Vogt-Schilb (2021). *Planificación de infraestructura hídrica para el futuro incierto en América Latina: Un enfoque eficiente en costos y tiempo para tomar decisiones robustas de infraestructura, con un estudio de caso en Mendoza, Argentina*. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/planificacion-de-infraestructura-hidrica-para-el-futuro-incierto-en-america-latina-un-enfoque>

Hallegatte, S., Rentschler, J., y J. Rozenberg (2019). *Lifelines: The resilient infrastructure opportunity*. World Bank Publications.

Hughes, J., Cowper-Heays, K., Olesson, E., Bell, R. y A. Stroombergen (2021). *Impacts and implications of climate change on wastewater systems: A New Zealand perspective*, Climate Risk Management, Volume 31, 2021. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212096320300528>

IANAS - The Inter-American Network of Academies of Sciences (2019). *Water Quality in the Americas: Risks and Opportunities*. Disponible en: <https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/02-Water-quality-INGLES.pdf>

Izquierdo-Tort, S., D. Restrepo-Zambrano, S. Ozment, N. Acero, L. Bulbena, J. Camacho, L. Villegas Ortiz, F. Arjona, P. Bejarano, M. Mora, y M. Garcia (2023). *Integrando infraestructura natural al sistema de abastecimiento de agua de Bogotá*. Washington, DC: World Resources Institute. Disponible online en <https://doi.org/10.46830/wriipt.22.00046sp>

Janson, N., Burkhard, L. N., y S. Jones. (2021). *Caribbean Water Study*. Nota Técnica N° 2320. Banco Interamericano de Desarrollo.

Jiménez-Muñoz, J., Mattar, C., Barichivich, J. et al (2016). *Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016*. Scientific Reports 6, 33130. <https://doi.org/10.1038/srep33130>

Junk, W. J. (2013). *Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change*. Aquatic Sciences, 75(1), 113-131. Disponible en: https://pure.mpg.de/rest/items/item_1737909_3/component/file_1737910/content

Kalra, N., Groves, D. G., Bonzanigo, L., Perez, E. M., Ramos, C., Brandon, C., & I. Rodriguez Cabanillas (2015). *Robust Decision-Making in the Water Sector: A Strategy for Implementing Lima's Long-Term Water Resources Master Plan*. Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/217a9cd2-b927-5900-a3f4-1917444fd899>

Libra, J.M., Marinus Collaer, J.S., Datschkovsky, D. y M. Pérez-Urdiales (2022). *Scarcity in the Land of Plenty*. Nota Técnica N° 2411. Banco Interamericano de Desarrollo.

López Soto, David. Alexandre Mejdalani, Michelle Hallack y Enrique Chueca Montuenga (2022). *La ruta energética de América Latina y el Caribe*. Monografía N° 1037. Banco Interamericano de Desarrollo.

Low, Kathleen, Grant, Stanley B., Hamilton, Andrew J., Gan, Kein, Saphores, Jean-Daniel, Arora, Meenakshi Y David L. Feldman (2015). *Fighting drought with innovation: Melbourne's response to the Millennium Drought in Southeast Australia*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 2(4).

Lozano-Fuentes S, Hayden MH, Welsh-Rodriguez C, Ochoa-Martinez C, Tapia-Santos B, Kobylinski KC, Uejio CK, Zielinski-Gutierrez E, Monache LD, Monaghan AJ, Steinhoff DF, Eisen L (2012). *The dengue virus mosquito vector Aedes aegypti at high elevation in Mexico*. The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene. 2012 Nov;87(5):902-9. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3516267/>

Magrin, Graciela (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.

McPhaden, M., Lee, Santos, A. y W. Cai (2021). *Introduction*. In *El Niño Southern Oscillation in a Changing Climate* (pp. 3-19). Wiley - American Geophysical Union.

Noble, I.R., S. Huq, Y.A. Anokhin, J. Carmin, D. Goudou, F.P. Lansigan, B. Osman-Elasha, y A. Villamizar (2014). *Adaptation needs and options*. In: *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* [Field, C.B., 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, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 833-868.

Ochoa-Tocachi, Boris, Bardales, Juan D., Antiporta, Javier, Pérez, Katya, Acosta, Luis, Mao, Feng, Zulkafli, Zed, Gil-Ríos, Junior, Angulo, Oscar, Grainger, Sam, Gammie, Gena, De Bièvre, Bert y Wouter Buytaert (2019). *Potential contributions of pre-Inca infiltration infrastructure to Andean water security*. Nature sustainability.

Ong, C., Tortajada, C., & Arora, O. (2023). *Urban Water Demand Management: A Guidebook for ASEAN* (p. 120). Springer Nature.

Ozment, S. et al. (2018). *Natural infrastructure in São Paulo's water system*. World Resources Institute Report 2013–2014: Interim Findings.

Ozment, S., M. Gonzalez, A. Schumacher, E. Oliver, G. Morales, T. Gartner, M. Silva, G. Watson y A. Grünwaldt (2021). *Soluciones basadas en la naturaleza en América Latina y el Caribe: situación regional y prioridades para el crecimiento*. Washington, DC. Monografía N° 955. Banco Interamericano de Desarrollo y World Resources Institute. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/soluciones-basadas-en-la-naturaleza-en-america-latina-y-el-caribe-situacion-regional-y-prioridades>

Pastor, Cynthia (2019). *El mantenimiento como herramienta para conseguir infraestructura de alta calidad y durabilidad*. Monografía N° 772. Banco Interamericano de Desarrollo.

Pereda, Paula, de Menezes, Tatiane A. y Denisard Alves (2014). *Impacts of Climate Change on Dengue Risk in Brazil*. Documento de Trabajo N° 511. Banco Interamericano de Desarrollo. Disponible en: <https://publications.iadb.org/en/publication/12102/impacts-climate-change-dengue-risk-brazil>

Reinhold, Joanna M., Claudio R. Lazzari, y Chloé Lahondère (2018). Effects of the Environmental Temperature on *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* Mosquitoes: A Review. *Insects* 9, no. 4: 158. <https://doi.org/10.3390/insects9040158>

Rozenberg, J., y M. Fay (Eds.). (2019). *Beyond the gap: How countries can afford the infrastructure they need while protecting the planet*. World Bank Publications.

Scanlon, B.R., Fakhreddine, S., Rateb, A. et al. (2023). *Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future*. *Nature Reviews Earth & Environment* 4, 87–101.

Sebri, M. (2014). *A meta-analysis of residential water demand studies*. *Environment, development and sustainability*, 16, 499–520.

Sedahuánuco. *Plan Maestro Optimizado 2014-2044*.

Solis, Ben (2023). *Aguas subterráneas en América Latina y el Caribe: Políticas y experiencias para la gestión y conservación de los acuíferos*. Monografía 1077. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/aguas-subterraneeas-en-america-latina-y-el-caribe-politicas-y-experiencias-para-la-gestion-y>

Sunass (2015). *Estudio Tarifario para la empresa Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (Sedapal S.A.) 2015-2020*. Disponible en: https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/etsedapal_062015.pdf

Sunass (2021). *Estudio Tarifario para la empresa Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (Sedapal S.A.) 2002-2027*. Disponible en: <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2021/12/Estudio-Tarifario-SEDAPAL.pdf>

Sunass (2022a). *Benchmarking regulatorio de las empresas prestadoras 2022*. Disponible en: <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/08/BENCHMARKING-REGULATORIO-DE-LAS-EPS-2022-DATOS-2021-F.pdf>

Sunass (2022b). *Sunass en Cifras- Año 2 N° 5*. Disponible en: <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/05/Sunass-en-cifras-5-1.pdf>

Sunass (2022c). *Sunass en Cifras- Año 2 N° 6*. Disponible en: <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/08/boletin-6-pdf.pdf>

Stein Ciasca, B. et al. (2023). *Economic Cost of Drought and Potential Benefits of Investing in Nature-Based Solutions: A Case Study in São Paulo, Brazil*. *Water* 2023, 15, 466.

Stip, C., Mao, Z., Bonzanigo, L., Browder, G., & Tracy, J. (2019). *Water Infrastructure Resilience: Examples of Dams, Wastewater Treatment Plants, and Water Supply and Sanitation Systems*. World Bank.

The Nature Conservancy (2019). *Strategies for Operationalizing Nature-Based Solutions in the Private Sector*. Disponible en: <https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/NBSWhitePaper.pdf>

Tallis, Heather y Alex Markham (n.d.). *Water Funds Business Case: Conservation as a Source of Competitive Advantage*. The Nature Conservancy. Disponible en: https://encouragecapital.com/wp-content/uploads/2015/09/water_funds_business_case.pdf

Toribio, Beatriz (2023). *Acceso universal al agua: enfrentando la informalidad, sobreconsumos y cambio climático. Caso Gran Mendoza (Argentina)*. CEPE - Universidad Torcuato Di Tella. Disponible en: https://www.utdt.edu/ver_contenido.php?id_contenido=24027&id_item_menu=31606

Worthington, A. C., & Hoffman, M. (2008). *An empirical survey of residential water demand modelling*. *Journal of economic surveys*, 22(5), 842-871.

6

Anexos



PÁGINA 62

6.1. Ejemplos de medidas de adaptación en el sector de agua y saneamiento

CATEGORÍA	SUB - CATEGORÍA	DEFINICIÓN	EJEMPLO DE MEDIDAS
FÍSICO - ESTRUCTURAL	Ingeniería y construcción	Soluciones de infraestructura gris que suelen ser intensivas en capital, de gran complejidad y escala.	Estructuras de protección costera; obras de almacenamiento de agua; gestión de aguas pluviales y residuales; perforación de pozos.
	Tecnología	Uso de técnicas e instrumentos a (a menudo en combinación con soluciones de ingeniería). Incluye tecnología moderna y ancestral/indígena.	Tecnologías de ahorro de agua (incluida la cosecha de agua de lluvia), tecnologías de energías renovables; tecnologías de riego eficiente (agricultura).
	Basada en ecosistemas	Uso de la biodiversidad y de los servicios ecosistémico para adaptarse a los efectos adversos del cambio climático.	Soluciones basadas en la Naturaleza; Restauración ecológica (incluida la conservación y restauración de humedales); forestación y reforestación; conservación y replantación de manglares; reducción de los incendios forestales; infraestructura verde urbana que facilita la recarga de acuíferos.
	Servicios	Implementación de redes de protección social y aseguramiento de acceso adecuado a los servicios.	Limpieza de sistemas de drenaje para evitar inundaciones; diversificación de las fuentes de agua.

CATEGORÍA	SUB - CATEGORÍA	DEFINICIÓN	EJEMPLO DE MEDIDAS
SOCIAL	Educativa	Promoción de la educación como factor fundamental en la adopción de opciones adaptación.	Sensibilización; campañas informativas; intercambio de conocimientos locales y tradicionales; redes de investigación.
	Informativa	Utilización de información para la toma de decisiones y respuesta ante los efectos del cambio climático.	Mapeo de amenazas y vulnerabilidad; sistemas de alerta temprana y respuesta (incluidos los sistemas de vigilancia sistemática y teledetección); información climática y de escenarios; planes de adaptación basada en la comunidad (mejora de los barrios peri-urbanos impulsada por la comunidad).
	Conductual	Medidas orientadas a modificar el comportamiento de las personas para reducir la presión que la demanda ejerce sobre la infraestructura.	Modificaciones estructurales de las viviendas (por ejemplo, para redireccionar el agua de lluvia hacia su infiltración en el suelo); prácticas de conservación del agua.

CATEGORÍA	SUB - CATEGORÍA	DEFINICIÓN	EJEMPLO DE MEDIDAS
INSTITUCIONAL	Económica	Utilización de instrumentos económicos para promover comportamientos eficientes, mantenimiento de los ecosistemas y disponibilidad de recursos ante la materialización de riesgos.	Pagos por servicios ecosistémicos; tarifas de agua; fondos de contingencia para catástrofes.
	Legislativa y regulatoria	Aprobación de normativa a nivel local, regional o nacional que mejora la resiliencia y seguridad de la comunidad.	Creación de áreas protegidas; rezonificación del suelo; normas de construcción; reglamentos y acuerdos sobre el agua; leyes de apoyo a la reducción del riesgo de catástrofes.
	Políticas y programas públicos	Elaboración de planes sectoriales y de infraestructura que consideren adaptación al cambio climático y criterios de resiliencia, así como la gestión integrada de los recursos hídricos.	Planes nacionales y regionales de adaptación; Planes de infraestructura con criterios de resiliencia; programas de mejora urbana; programas municipales de gestión del agua; planificación y preparación ante desastres; planes sectoriales que incluyan gestión integrada de los recursos hídricos; la gestión del paisaje y de las cuencas hidrográficas.

Fuente: Elaboración propia basado en Noble et al (2014), Magrin (2015), Bárcena et al. (2020).

6.2. Lista de operadores que participaron en la encuesta

SUB REGIÓN	PAÍS	OPERADOR	TAMAÑO DE POBLACIÓN ATENDIDA (PERSONAS)
CAN	Bolivia	Empresa Municipal de Saneamiento Básico Villazón	Menos de 100 mil
		SAGUAPAC	Entre 1 millón y 5 millones
	Colombia	Acuanariño	Menos de 100 mil
		EAA de Santa Ana E.S.P. SA	Menos de 100 mil
		Empresa REgional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P.	Menos de 100 mil
		EMPUSILVANIA	Menos de 100 mil
		Triple A del Norte S.A.S. E.S.P.	Menos de 100 mil
		Acuagyr S.A. E.S.P.	Entre 100 mil y 500 mil
		Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P.	Entre 100 mil y 500 mil
		Aguas de Buga S.A. E.S.P.	Entre 100 mil y 500 mil
		Aguas de Manizales S.A E.S.P.BIC	Entre 100 mil y 500 mil
		Aquaoccidente S.A E.S.P.	Entre 100 mil y 500 mil
		Centroaguas S.A. E.S.P.	Entre 100 mil y 500 mil
		EMPOPASTO S. A. E.S.P.	Entre 100 mil y 500 mil
		Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira SAS E.S.P.	Entre 100 mil y 500 mil
		Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal	Entre 100 mil y 500 mil
		Veolia Aguas de Tunja	Entre 100 mil y 500 mil
		Veolia Sabana	Entre 100 mil y 500 mil
		ACUAVALLE S.A. E.S.P.	Entre 500 mil y 1 millón
		Aguas de Cartagena SA E.S.P.	Entre 500 mil y 1 millón
Aguas de Cartagena	Entre 1 millón y 5 millones		
EMCALI EICE E.S.P.	Entre 1 millón y 5 millones		
Empresas Públicas de Medellín E.S.P. - EPM	Entre 1 millón y 5 millones		

SUB REGIÓN	PAÍS	OPERADOR	TAMAÑO DE POBLACIÓN ATENDIDA (PERSONAS)
CAN	Ecuador	AGUAPEN	Entre 100 mil y 500 mil
		EPMAPS	Entre 1 millón y 5 millones
	Perú	EMUSAP S.A.	Menos de 100 mil
		EPS EMSAPA Yauli La Oroya SRL	Menos de 100 mil
		EPS EMUSAP ABANCAY S.A.	Menos de 100 mil
		EPS ILO S.A.	Menos de 100 mil
		EPSSMU S.A.	Menos de 100 mil
		EMAPA San Martín S.A.	Entre 100 mil y 500 mil
		EMAPACOP S.A.	Entre 100 mil y 500 mil
		EPS Aguas De Lima Norte S.A.	Entre 100 mil y 500 mil
		EPS EMAPAT S.A.	Entre 100 mil y 500 mil
		EPS SEDACAJ S.A.	Entre 100 mil y 500 mil
		EPS SEDACUSCO S.A.	Entre 100 mil y 500 mil
		EPS SEDA JULIACA SA.	Entre 100 mil y 500 mil
		EPS SEDAPAR	Entre 1 millón y 5 millones
SEDAPAL S.A.	Más de 5 millones		
CCB	Barbados	Barbados Water Authority	Entre 100 mil y 500 mil
CID	Belice	Belize Water Services Limited	Entre 100 mil y 500 mil
	Costa Rica	UNAGUAS	Menos de 100 mil
		AyA	Entre 1 millón y 5 millones
	Honduras	Aguas de Puerto Cortes	Menos de 100 mil
		Unidad Municipal Desconcentrada Aguas de Siguatepeque	Menos de 100 mil
CSC	Argentina	Cooperativa 16 de Octubre LTDA.	Menos de 100 mil
		Obras Sanitarias Mar del Plata Sociedad de Estado	Entre 500 mil y 1 millón
		Agua y Saneamiento Mendoza - AySAM SA	Entre 1 millón y 5 millones
		Aguas Santafesinas SA	Entre 1 millón y 5 millones

SUB REGIÓN	PAÍS	OPERADOR	TAMAÑO DE POBLACIÓN ATENDIDA (PERSONAS)
CSC	Brasil	CASAN	Entre 1 millón y 5 millones
		Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - Caesb	Entre 1 millón y 5 millones
		Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE	Más de 5 millones
		Empresa Baiana de Águas e Saneamento - EMBASA	Más de 5 millones
		SABESP	Más de 5 millones
	Chile	FESAN Chile	Menos de 100 mil
		Essbio S.A. - Ñuble	Entre 100 mil y 500 mil
		Essbio S.A. - O'Higgins	Entre 500 mil y 1 millón
		Suralis	Entre 500 mil y 1 millón
		Essbio S.A. - Biobío	Entre 1 millón y 5 millones
		Nuevosur	Entre 1 millón y 5 millones
		Aguas Andinas	Más de 5 millones

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta a operadores de la región.

