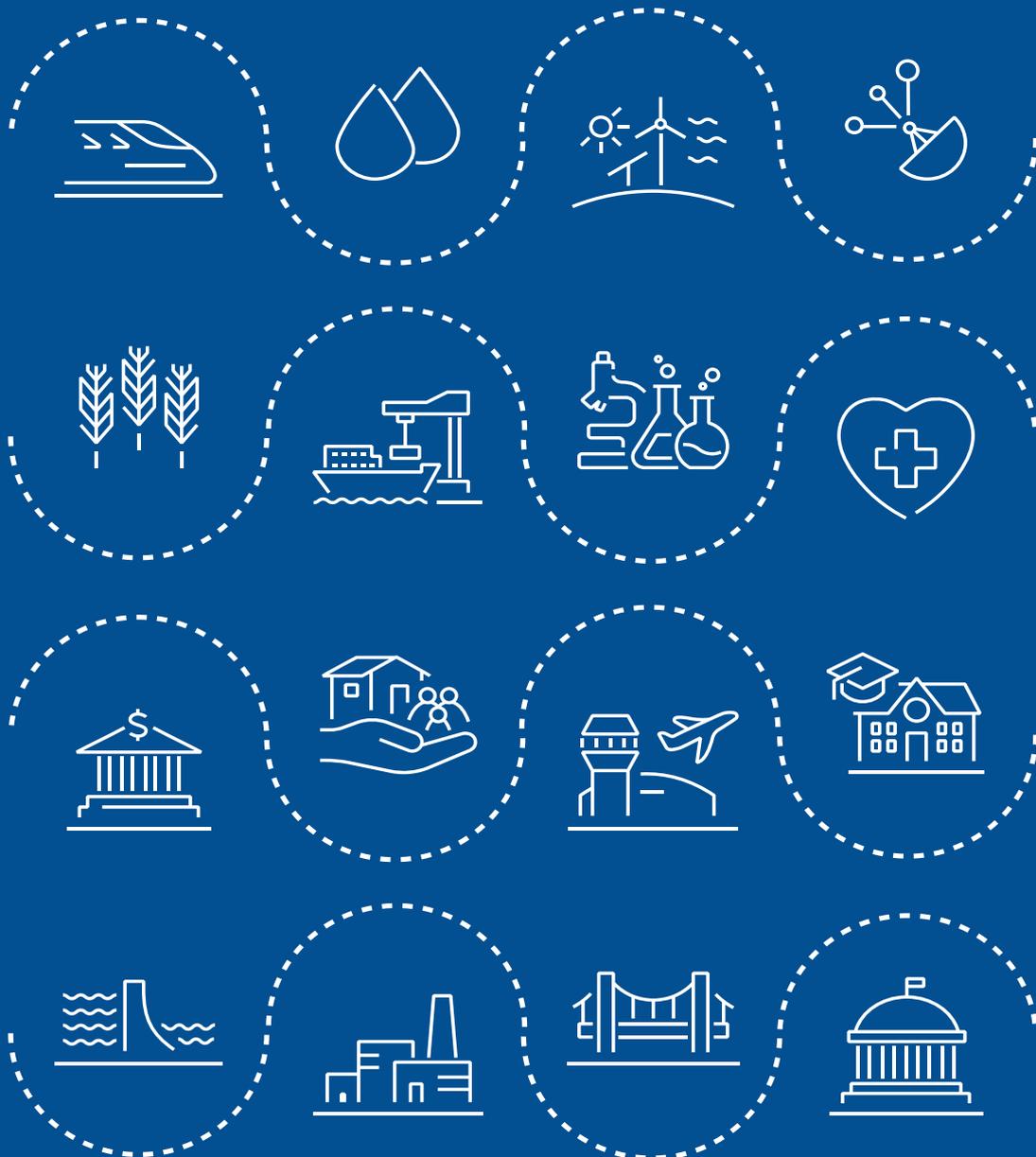


Principios para la INFRAESTRUCTURA RESILIENTE



Agradecimientos

Los Principios para la Infraestructura Resiliente han sido desarrollados por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) con el apoyo técnico del University College de Londres (UCL).

El equipo de la UNDRR fue dirigido por Abhilash Panda, Helen Ng y Aleksandrina Mavrodieva (consultores independientes) en colaboración con Ricardo Mena, Paola Albrito, Octavian Bivol, Sujit Mohanty, Fadi Jannan, Rania Hammad, Nicholas Joseph Ramos, Nahuel Arenas García, Rosalind Cook, Huw Beynon, Iria Touzon Calle, Roberto Schiano Lomoriello y Stephanie Berger.

Liz Varga y su equipo (Zahra Mahabadi, Lauren McMillan, Yuchun Tang y Tom Dolan) del University College de Londres proporcionaron el apoyo técnico y la experiencia en el diseño y desarrollo de los Principios para la Infraestructura Resiliente.

Agradecemos sinceramente a los socios que han contribuido activamente al desarrollo de los Principios para la Infraestructura Resiliente, compartiendo sus ideas y conocimientos prácticos.

Entre ellos, Addenda Capital, Centro Asiático de Preparación para Casos de Desastre (ADPC), AECOM, Africa Business Group, Asociación Africana de Arquitectos, Banco Africano de Desarrollo, Capacidad Africana para la Gestión de Riesgos, Amundi, Arup, Banco Asiático de Desarrollo, AUDA-NEPAD, Alianza de Australia y el Pacífico para el clima, Bamboo Capital Partners, CAF, CAPRADE, Asociación Colegiada de Arquitectos Técnicos, CDPQ, Centerbridge, Coalición para infraestructuras resilientes a desastres (CDRI), Coalición para la inversión resiliente al clima (CCRI), Universidad de Columbia, FIABCI Países Árabes, GIZ, Centro Global sobre Adaptación (GCA), Fundación de la Infraestructura Global de Basilea (GIB), Autoridad de proyectos de infraestructuras (IPA), Institución de Ingenieros Civiles (ICE), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Coalición Internacional para la Infraestructura Sostenible (ICSI), Federación Internacional de Cooperativas y Mutuas de Seguros (ICMIF), ISO TC292 Seguridad y Resiliencia, Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), Centro Común de Investigación - Comisión Europea, Alianza del Sector Privado de Kenia, KPMG, Lloyds Register Foundation, Marsh, Universidad de Nagoya,

Autoridad de Desmantelamiento Nuclear (Reino Unido), OCDE, Centro de Infraestructura Regional del Pacífico, RBN Fund Managers, Resilience Shift, Stantec, Texas A&M University, Consejo de Cooperación de los Estados Árabes del Golfo, The Co-operators, Comisión de Infraestructura Nacional del Reino Unido, Ciudades y Gobiernos Locales Unidos (UCLG), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (ONU DAES), Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe, Oficina de Financiación para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (UNOPS), Universidad de Huddersfield, Universidad de Oxford, Willis Towers Watson, Banco Mundial, Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), Instituto de Recursos Mundiales y WSP.

Agradecemos el compromiso y los comentarios de los Estados miembros en el diseño y el desarrollo de los Principios para la Infraestructura Resiliente y sus acciones clave. Entre ellos, Afganistán, Albania, Angola, Antigua y Barbuda, Argentina, Australia, Azerbaiyán,

Bahrein, Bangladesh, Barbados, Bielorrusia, Bélgica, Belice, Benín, Bosnia y Herzegovina, Botsuana, Brasil, Cabo Verde, Camboya, Camerún, Canadá, Chad, Chile, Colombia, Costa Rica, Croacia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Dominica, Ecuador, El Salvador, Eswatini, Fiyi, Gambia, Georgia, Ghana, Grecia, Granada, Guinea, Guyana, Haití, Honduras, Hungría, India, Indonesia, Irán, Irak, Japón, Jordania, Kiribati, Kuwait, Kirguistán, Laos, Lesoto, Lituania, Luxemburgo, Malasia, Malawi, Maldivas, Malí, Islas Marshall, Mauritania, Mauricio, México, Moldavia, Mónaco, Mongolia, Marruecos, Mozambique, Myanmar, Namibia, Nauru, Nepal, Países Bajos, Nueva Zelanda, Macedonia del Norte, Pakistán, Palau, Palestina, Panamá, Perú, Filipinas, Polonia, Portugal, Qatar, Rumanía, Santa Lucía, Santo Tomé y Príncipe, Senegal, Serbia, Seychelles, Eslovaquia, Islas Salomón, Sudáfrica, Sudán del Sur, España, Sri Lanka, Suiza, Tayikistán, Tanzania, Timor Oriental, Togo, Tokelau, Trinidad y Tobago, Turquía, Túnez, Tuvalu, Reino Unido, Uruguay, Estados Unidos, Venezuela, Vietnam y Yemen.

Las denominaciones empleadas y la presentación del material en esta publicación no implican la expresión de ninguna opinión por parte de la Secretaría de las Naciones Unidas sobre el estatus legal de ningún país, territorio, ciudad o área, o de sus autoridades, o sobre la delimitación de sus fronteras o límites.



Principios para la Infraestructura Resiliente

Prólogo



Mami Mizutori

Representante Especial del Secretario General para la reducción del riesgo de desastres

Con el rápido aumento de los riesgos del cambio climático y las amenazas sistémicas de gran alcance, como la pandemia mundial, hay muchos servicios de infraestructuras críticas que están desprotegidos y son cada vez más vulnerables. Las infraestructuras críticas sustentan nuestra calidad de vida y bienestar social debido a la prestación de servicios esenciales en una amplia gama de sectores, desde la sanidad y la atención social a la educación, el transporte, la energía, las telecomunicaciones, la seguridad pública y los servicios de emergencia.

Por este motivo, UNDRR ha organizado consultas en las que han participado más de 100 países, así como empresas, el mundo académico y la sociedad civil, con el fin de desarrollar los Principios para la Infraestructura Resiliente. El objetivo es apoyar a los países en un entendimiento común sobre la resiliencia de las infraestructuras, así como las medidas y acciones necesarias para lograrla.

Los Principios para la Infraestructura Resiliente ofrecen un enfoque holístico para garantizar que la resiliencia se integre en la planificación y ejecución de los proyectos de infraestructuras. Contribuyen a crear un entendimiento común sobre cómo mejorar la resiliencia de las infraestructuras en un contexto de riesgo con impactos de desastres en cascada cada vez más complejos que pueden producirse en todo el sistema de infraestructuras.

Los Principios para la Infraestructura Resiliente también presentan un nuevo e innovador concepto de «ganancia neta de resiliencia», que es un pilar importante para lograr el «neto cero» en emisiones de carbono. En el centro de este concepto está la promoción de un enfoque en el que nos aseguramos de que todo lo que hacemos sea resiliente, y que todas las inversiones en infraestructuras demuestren la mejora de la resiliencia sistémica de las mismas.

Al mismo tiempo, los «Principios para la Infraestructura Resiliente» contribuyen directamente a la aplicación del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 y del Objetivo 9 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Con la revisión de medio término de período del Marco de Sendai en marcha, ahora es el momento de hacer un balance de los avances y acelerar las acciones para garantizar la resiliencia de las infraestructuras críticas.

Las interrupciones frecuentes de las infraestructuras críticas socavan los medios de vida, reducen la productividad y perjudican a las empresas. Los Principios para la Infraestructura Resiliente ofrecen una oportunidad para superar estos retos, garantizando que la infraestructura resiliente esté en el centro de la toma de decisiones.

Invito a todos los países y actores a trabajar conjuntamente para poner en práctica los Principios para la Infraestructura Resiliente y las acciones clave expuestas en este informe, de modo que invirtamos en infraestructuras resilientes para salvar vidas.

水島直美

Índice

Resumen	8	5. Visión general de los Principios para la Infraestructura Resiliente	23
1. Introducción	10	6. Objetivos de Desarrollo Sostenible, alineación del Marco de Sendai y fases de resiliencia	24
1.1 La importancia de la resiliencia	10	7. Principios	25
1.2 Reconocer la brecha	11	Principio 1 (P1): Aprendizaje continuo	26
1.3 Cómo abordar la brecha	12	Principio 2 (P2): Protegido por el diseño	31
1.4 Principales aportaciones	13	Principio 3 (P3): Integración ambiental	38
1.5 Estructura del informe	13	Principio 4 (P4): Compromiso social	44
2. Definiciones	14	Principio 5 (P5): Responsabilidad compartida	49
2.1 Infraestructura nacional	14	Principio 6 (P6): Transformación adaptativa	55
2.2 Resiliencia sistémica	15	8. Conclusiones y próximos pasos	60
2.3 Resiliencia de las infraestructuras	16	Referencias	61
2.4 Ganancia neta de resiliencia	16	Apéndice A – Interdependencias	70
3. El caso económico de la resiliencia de las infraestructuras	18	Apéndice B – Asignación al MSRRD y al ODS9	
3.1 Etapas tempranas	18		
3.2 Operaciones	19		
3.3 Fin de la vida útil	20		
4. Gobernanza	21		

Resumen

Este informe describe una serie de principios, acciones clave y directrices para crear una ganancia neta de resiliencia a escala nacional y mejorar la continuidad de los servicios críticos proporcionados por los sistemas de infraestructuras económicas: energía, transporte, agua, aguas residuales, residuos y comunicaciones digitales; que sirven como eje central esencial para el funcionamiento eficaz de los servicios de infraestructuras socioeconómicas como la salud, la educación, las empresas, la industria alimentaria, etc.

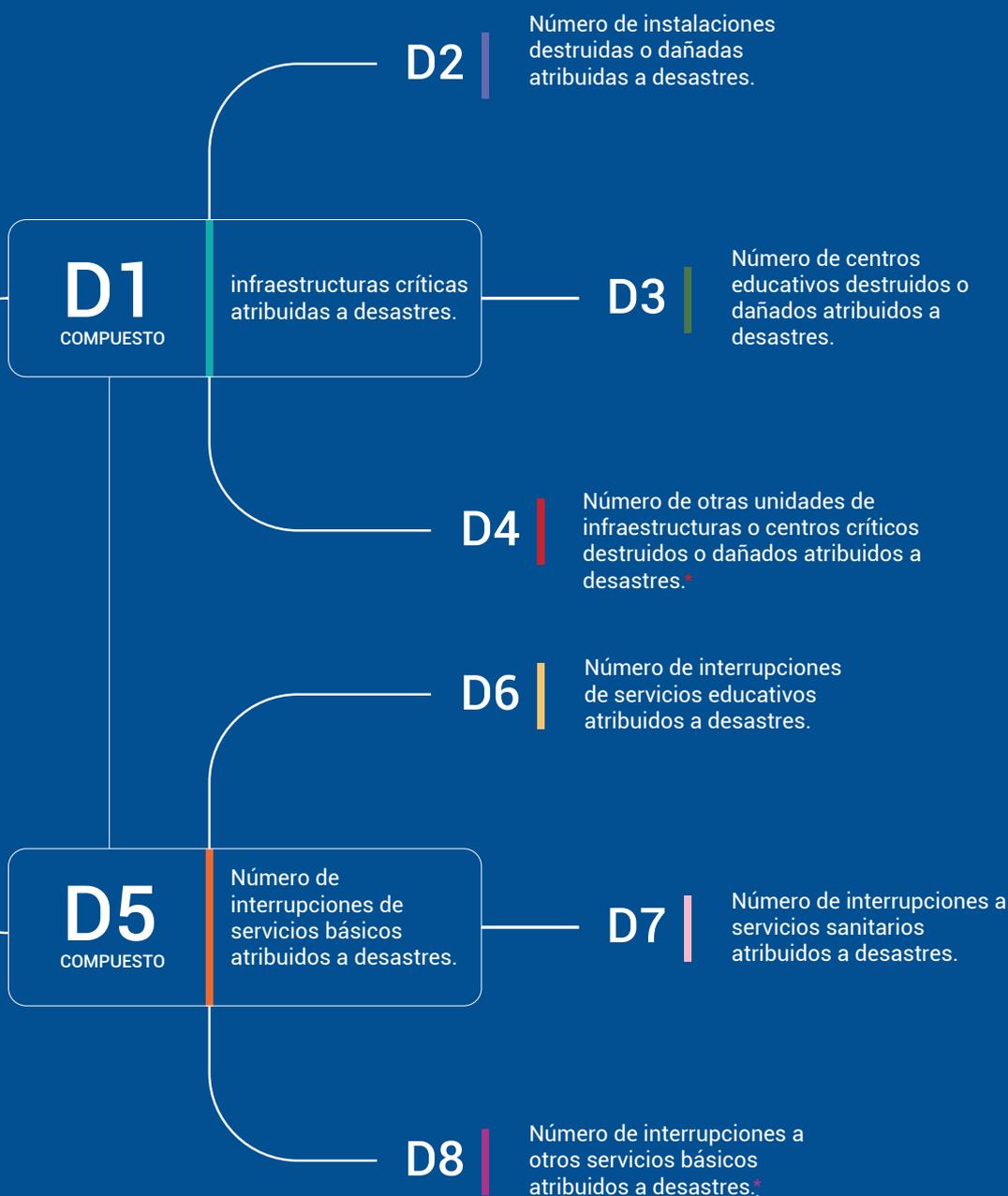
Los Principios para la Infraestructura Resiliente, que están interconectados entre sí, proporcionan objetivos normativos y resultados deseables para la resiliencia sistémica de las infraestructuras, con el fin de cumplir las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030). Las acciones clave y las directrices de gobernanza para las infraestructuras resilientes comunican las actividades de colaboración mediante las cuales las infraestructuras se

convertirán en más resilientes, junto con los mecanismos para la mejora y el seguimiento de las infraestructuras a escala nacional que permitan obtener una ganancia neta de resiliencia y mejorar la prestación de servicios críticos. Las acciones clave definen los objetivos normativos de lo que hay que hacer para aumentar la resiliencia de los servicios críticos, y no la forma de alcanzarlos ni de evaluarlos. La aplicación de los principios y la especificación de los indicadores para cada una de las acciones clave es el tema del próximo Manual para la resiliencia de las infraestructuras.

Estos Principios están destinados a cualquier nivel de gobierno, instituciones, donantes, inversores, propietarios, diseñadores y contratistas, proveedores de servicios y organizaciones internacionales que estén interesados en implementar un conjunto de acciones que mejoren la resiliencia de la infraestructura nacional y contribuyan a resultados económicos, sociales y medioambientales positivos.

Marco de Sendai Objetivo D

Reducir considerablemente los daños causados por los desastres en las infraestructuras vitales y la interrupción de los servicios básicos, como las instalaciones de salud y educativas, incluso desarrollando su resiliencia para 2030.¹



* La decisión relativa a estos elementos de infraestructuras críticas que se incluye en el cálculo se dejará a los Estados miembros y se describirá en los metadatos adjuntos. La infraestructura de protección y la infraestructura verdes deberán incluirse cuando sean relevantes.

* La decisión relativa a esos elementos de servicios básicos que se incluye en el cálculo se dejará a los Estados miembros y se describirá en los metadatos adjuntos.

¹ Para todos los objetivos del Marco de Sendai y sus indicadores, consulte: <https://www.preventionweb.net/sendai-framework/sendai-framework-monitor/indicators>

1. Introducción

1.1 La importancia de la resiliencia

Un informe de 2016 de New Climate Economy [1] calculó la necesidad de invertir aproximadamente 90 billones de dólares en infraestructuras durante un periodo de 15 años, más de lo que hay actualmente. En 2019, la Comisión Global sobre Adaptación puso de manifiesto los imperativos ambientales y económicos urgentes y globales para abordar la resiliencia y la adaptación de los sistemas de infraestructuras [2]. La COP26 [3], la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático celebrada en 2021, puso aún más de relieve la creciente urgencia de actuar.

Si se activan, las inversiones en infraestructuras no solo sustituirán a las infraestructuras anticuadas, sino que establecerán sistemas de infraestructuras nuevos y muy necesarios.

Sin embargo, el enfoque actual de la planificación, financiación, diseño, desarrollo, explotación y desmantelamiento de las infraestructuras no tiene plenamente en cuenta ni la naturaleza interdependiente de las infraestructuras y los servicios, ni la naturaleza cada vez más compleja de los riesgos y los impactos en cascada que puede tener un desastre en todo el sistema de infraestructuras. Un enfoque de «reflexión sobre la resiliencia» abordaría estas preocupaciones, y fomentaría una forma más completa de considerar los riesgos y las interrelaciones, adaptable a los riesgos nacionales específicos a la resiliencia, y la reducción del riesgo de las inversiones en infraestructuras y los cambios realizados mediante la aplicación de los Principios para la Infraestructura Resiliente. Se requiere un enfoque proactivo en el que la inversión sea necesaria por adelantado para

evitar costes posteriores potencialmente masivos relacionados con la recuperación, la reconstrucción y la sustitución. Los costes iniciales más elevados no deberían conducir al rechazo sistemático de las mejoras que promueven la resiliencia. La reducción y la prevención de riesgos es fundamental. Estos principios pueden ayudar a identificar y construir una línea de proyectos sobre lo que constituye un proyecto de resiliencia, es decir, proyectos que tengan beneficios directos e indirectos para las partes interesadas públicas y privadas. Los principios pueden establecer factores críticos para ayudar a priorizar los proyectos. Por ejemplo, tratar la cartera de proyectos con algún tipo de puntuación basada en los criterios establecidos de los principios puede ayudar a los gobiernos a reducir el riesgo de las inversiones.

Hoy en día, más personas que nunca dependen de los servicios prestados por los sistemas de infraestructuras críticas, que abarcan la energía, el transporte, el agua, las aguas residuales, los residuos y las comunicaciones digitales. Las infraestructuras sociales, como la sanidad y la asistencia social, la educación, la policía y las prisiones, los bomberos y los servicios de emergencia, dependen de los servicios críticos. El papel de las infraestructuras críticas es sostener el suministro de servicios críticos, protegiendo a la sociedad y al medio ambiente, actuando como amortiguador de los acontecimientos extremos. Nuestra sociedad depende en gran medida del funcionamiento eficaz y eficiente de los sistemas de infraestructuras críticas para prestar servicios públicos, enriquecer la vida y estimular el crecimiento económico. La

infraestructura nacional (véase la sección 2 de las definiciones) es el eje central de una economía moderna, y la resiliencia de las infraestructuras críticas es esencial para un desarrollo sostenible. Una infraestructura robusta y resiliente es un motor clave del crecimiento económico local y nacional. La fiabilidad, el rendimiento, el funcionamiento continuo, la seguridad, el mantenimiento y la protección de las infraestructuras críticas son prioridades nacionales y locales en todo el mundo.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [4], en especial el ODS 9, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (Marco de Sendai) [5], en particular la meta D («reducir considerablemente los daños causados por los desastres en las infraestructuras vitales y la interrupción de los servicios básicos») y el Acuerdo de París [6] han hecho un llamamiento inequívoco a favor de las infraestructuras sostenibles y resilientes para mitigar los efectos del cambio climático, y de la protección de los activos existentes en el futuro mientras se construyen otros nuevos. El cambio climático y otras tendencias mundiales [7] están provocando un aumento de la amplitud, el número, la frecuencia y la intensidad de las amenazas. Estas amenazas no solo causan daños directos (por ejemplo, las inundaciones), sino que agravan el reto de mantener la resiliencia sistémica de las infraestructuras. También está aumentando la posibilidad de tener múltiples amenazas, las cuales ocurren juntas o poco después unas de otras (como se detalla en el Marco de Sendai).

La pandemia de la COVID-19 y los fenómenos meteorológicos extremos han puesto de manifiesto las posibles vulnerabilidades y la exposición de nuestros sistemas de infraestructuras en todo el mundo. Los sistemas de infraestructuras existentes y los servicios que prestan se ven cada vez más afectados por los desastres de origen natural o de origen humano, y por las repercusiones del cambio climático. Los datos demuestran que las interrupciones de las infraestructuras suponen un coste de entre 391.000 millones de dólares y 647.000 millones de dólares al año en los países de renta baja y media [8]; y que la inversión de 1,6 billones de euros a escala mundial entre 2020 y 2030 en actividades de reducción de riesgos podría evitar hasta 6,4 billones de euros en pérdidas futuras [9].

1.2 Reconocer la brecha

Las políticas, las estrategias y los marcos normativos deben basarse en pruebas de los riesgos y en una clara comprensión de las vulnerabilidades de los sistemas nacionales de infraestructuras. Para mejorar la resiliencia de las infraestructuras mediante el fortalecimiento de la gobernanza es necesario comprender el rendimiento de las infraestructuras existentes, su exposición, el entorno normativo actual, los retos y las barreras, la coordinación entre las distintas partes interesadas y las opciones para integrar la resiliencia. Este proceso también requiere que se construya un entendimiento común de la «resiliencia de las infraestructuras críticas», basado en ciertos criterios que puedan servir de orientación para los gobiernos y el sector privado.

Una de las principales brechas es la falta de comprensión de lo que significa y supone realmente una «infraestructura resiliente» en términos de política, planificación y medidas prácticas, a las que los sectores público y privado pueden referirse cuando planifican y gestionan políticas y proyectos de infraestructuras. El trabajo de este informe se basa en una serie de conclusiones y recomendaciones: entre ellas, las de la Comisión Global sobre Adaptación [2], el Centro Global sobre Adaptación [10], los Principios del G20 para la Inversión en Infraestructuras de Calidad [35] y el Banco Mundial [8], [11].

A través del compromiso con los Estados miembros, la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) ha reconocido que una de las principales brechas en el ámbito de la resiliencia de las infraestructuras es una visión compartida de: qué infraestructuras se encuentran dentro del ámbito; el alcance de la resiliencia; la escala y la ambición de la resiliencia; la definición de resiliencia; y lo que se puede hacer para mejorar la resiliencia de las infraestructuras. Estos aspectos pueden variar mucho de un país a otro y de un sector a otro, por lo que los Principios para la Infraestructura Resiliente propuestos abarcan los matices de la resiliencia nacional en diferentes países y sectores, a la vez que ayudan a concienciar y a establecer un entendimiento básico común en lugar de un enfoque único de la resiliencia.

1.3 Cómo abordar la brecha

Este informe establece los Principios para la Infraestructura Resiliente, teniendo en cuenta la naturaleza única de las infraestructuras, los crecientes desafíos contextuales para la resiliencia y la naturaleza cada vez más interconectada de los sistemas de infraestructuras. Los principios se han desarrollado mediante una amplia revisión de la bibliografía y consultas a expertos. La revisión de la bibliografía identificó 14 principios que ahora se han consolidado en 6 principios basados en las aportaciones recibidas de las consultas de expertos. Los Principios para la Infraestructura Resiliente se han consultado ampliamente a través de consultas globales con los puntos focales nacionales del Marco de Sendai, reuniones de grupos de expertos, talleres, presentaciones en plataformas regionales, otros eventos internacionales y nacionales, incluyendo entrevistas individuales. Las valiosas aportaciones recibidas de estos compromisos significan que las revisiones, mejoras y aclaraciones implementadas en los principios y las acciones clave, que se basan en teorías científicas y en la evidencia de estudios de casos globales, son ahora factibles para su implementación en la práctica operativa. Se está elaborando un manual con indicadores clave de rendimiento (KPI) para apoyar la puesta en práctica de los principios.

Los principios son un sistema de objetivos con la variedad necesaria [12] para abordar los retos de resiliencia de la infraestructura nacional. Cada principio está definido por un conjunto de acciones clave. La aplicación de las acciones clave permitirá adoptar los principios y mejorar los resultados de la infraestructura nacional. Las acciones clave se basan en conocimientos anteriores, por lo que proporcionan una orientación sólida. Las acciones clave se basan en ejemplos globales. Aunque las acciones clave pretenden ser razonablemente distintas, existen algunas interdependencias. Véase en el Apéndice A las principales interdependencias entre las acciones clave.

Las acciones clave incluidas en este informe no pretenden limitar las intervenciones y las mejoras, sino fomentar una opinión innovadora que resuelva los retos de resiliencia de las infraestructuras que son exclusivos de las distintas naciones del mundo.

A medida que nuestras infraestructuras económicas se vuelven más variadas, interconectadas e innovadoras, y que nuestros entornos (por ejemplo, natural, social, construido) se vuelven más diversos, se esperan nuevas acciones clave que surjan con el tiempo. Además, como ocurre con todos los sistemas de innovación orientados a la mejora, existe el riesgo de que se produzcan consecuencias no deseadas. Esto exige una evaluación continua de la eficacia nacional de estos principios.

Los principios de las infraestructuras resilientes y las acciones clave en las que se basa cada principio se presentan en este informe como escépticos respecto a las amenazas. Cada uno de ellos deberá adaptarse a las necesidades de cada país y a sus circunstancias específicas en cuanto a amenazas y vulnerabilidades [12], por lo que se formulan de forma flexible y sin tener en cuenta amenazas específicas. Aunque si se hace todo lo posible por mitigar las consecuencias imprevistas de la aplicación de las acciones clave, el rendimiento de la resiliencia de las infraestructuras debe reevaluarse continuamente para garantizar que se reduzcan los resultados no deseados. Además, no indicamos la ponderación o prioridad de ninguna de las acciones clave: las prioridades de cada nación definirán la urgencia de adoptar acciones clave específicas.

1.4 Principales aportaciones

Este informe introduce seis principios y acciones clave para cada uno de ellos. También introduce un nuevo compromiso de «ganancia neta de resiliencia», similar a cero neto, según el cual todas las intervenciones en las infraestructuras, y no solo las dirigidas específicamente a mejorar la resiliencia de ese sistema, deben demostrar que mejoran la resiliencia sistémica de las infraestructuras y no afectan el contexto más amplio.

Los Principios para la Infraestructura Resiliente:

- I. Ayudarán a sensibilizar y establecer una comprensión básica común de lo que constituyen las «infraestructuras resilientes».
- II. Constituirán la base para la planificación y la ejecución de proyectos de infraestructuras que tengan como valor fundamental la resiliencia.
- III. Plantearán diseños de ingeniería basados en datos disponibles y fiables para que los parámetros de seguridad y mitigación del riesgo de desastres estén presentes en los proyectos nuevos y de readaptación.
- IV. Establecerán los resultados deseados de los sistemas nacionales de infraestructuras para establecer la resiliencia de los servicios críticos.
- V. Ayudarán a los sectores público y privado a tomar decisiones políticas y de inversión basadas en el riesgo..

1.5 Estructura del informe

El resto de este informe está estructurado de la siguiente manera: la sección 2 presenta las definiciones clave de infraestructura nacional, resiliencia sistémica y ganancia neta de resiliencia. En la sección 3 se describen los argumentos económicos a favor de la resiliencia de las infraestructuras, centrándose en los ahorros previstos a lo largo de todo su ciclo de vida. En la sección 4 se proponen los primeros pasos hacia la gobernanza de una infraestructura nacional resiliente, junto con una teoría del cambio que indica cómo los insumos, derivados de las acciones clave, producen productos, resultados e impacto. La sección 5 ofrece una visión general de los seis principios y muestra cómo se extraen ejemplos de todo el mundo para dar vida a las acciones clave. Las acciones clave están fuertemente alineadas con los ODS de la ONU y el Marco de Sendai, como se muestra en la sección 6. La siguiente sección 7 constituye el grueso del informe y contiene descripciones detalladas de cada principio, sus acciones clave y ejemplos globales. La sección 8 ofrece una conclusión, junto con la descripción de los próximos pasos.

2. Definiciones

2.1 Infraestructura nacional

La infraestructura nacional consiste no solo en los activos físicos que suministran productos y servicios esenciales, sino en el conjunto de sistemas, organizaciones, procesos, tecnologías, etc. que permiten prestar servicios críticos de forma inclusiva y justa a todos los usuarios de una nación, independientemente de su ubicación. La infraestructura nacional suele tener un valor histórico y cultural, con componentes icónicos que pueden limitar lo que se puede cambiar para mejorar la resiliencia.

Definición

La infraestructura nacional es un sistema abierto complejo e interdependiente compuesto por: a) las redes de infraestructuras, los edificios y los activos de construcción física; b) las estructuras de gobernanza; c) los marcos reguladores; d) los procesos de gestión asociados a los seis sectores de infraestructuras económicas que la componen (energía, transporte, agua, aguas residuales, residuos y comunicaciones digitales); e) las interdependencias dentro de cada uno de los elementos anteriores y entre ellos; f) las interdependencias entre cada uno de los elementos anteriores y el contexto externo dinámico en el que se inserta [14]; g) los sistemas y las tecnologías que controlan y entregan los resultados; h) los factores humanos, como las habilidades, los conocimientos; e i) los recursos y las características del entorno natural con el que se integra y que permite entregar los bienes que proporcionan a las personas y a las organizaciones servicios críticos.

Mediante la producción de un flujo predecible de productos (como energía y agua potable) y servicios (como calefacción y refrigeración, tratamiento de aguas residuales, movilidad, conectividad, comunicación y servicios digitales, gestión del riesgo de inundaciones), la infraestructura nacional hace posible la prestación de servicios de infraestructura social (como hospitales, escuelas, servicios de bomberos), y permite una actividad social y económica más amplia, al apoyar las cadenas de valor de las organizaciones y las ciudades. Por lo tanto, la infraestructura nacional cataliza los efectos multiplicadores sociales y económicos, y apoya la consecución de resultados socialmente beneficiosos que simplemente no podrían ocurrir sin ella [13].

Los Principios para la Infraestructura Resiliente están orientados a la escala nacional (o de grandes territorios/regiones) porque es a esta escala donde existe la responsabilidad política de los sistemas de infraestructuras. A escala nacional también es posible considerar la diversidad de formas en que la infraestructura como sistema completo puede mantener los servicios críticos, así como evaluar los resultados de la resiliencia a escala nacional como resultado de las intervenciones. No se pretende que estos principios se utilicen en lo referente a los activos, redes o sectores. Otros han escrito sobre los niveles de servicio de los sectores de infraestructuras en el contexto de la resiliencia, por ejemplo [14]. Los Principios para la Infraestructura Resiliente pretenden complementar los resultados del nivel de servicio y no sustituyen los acuerdos de nivel de servicio operativo.

2.2 Resiliencia sistémica

La resiliencia de la infraestructura nacional exige un enfoque sistémico que abarque todos los sectores y actividades dentro de su ámbito. La resiliencia sistémica proporciona un alcance transdisciplinario para la resiliencia de la infraestructura nacional y reconoce que un enfoque sectorial de la resiliencia es inadecuado. La resiliencia sistémica se crea cuando todo el sistema de sistemas que conforma la infraestructura nacional es resiliente a las amenazas que se encuentran fuera de los límites de la infraestructura nacional, así como a las amenazas creados por las formas en que está organizada la infraestructura nacional (sus componentes, su estructura, sus procesos, etc.).

Definición

La resiliencia sistémica es una propiedad de un sistema de infraestructuras que surge dinámicamente cuando la infraestructura nacional se organiza de forma que pueda proporcionar los servicios críticos acordados (energía, calor, canales de comunicación, servicios de movilidad, agua potable y eliminación de aguas residuales y residuos) a pesar de las amenazas endógenos y/o exógenos, y a pesar de la adición, modificación y eliminación de componentes de la infraestructura.

A lo largo de las últimas décadas, el número y los tipos de interdependencias entre los sistemas de infraestructuras y el contexto externo dinámico y global más amplio en el que están inmersas las infraestructuras han crecido considerablemente. Se desconocen las consecuencias de una interdependencia mayor y más diversa: un sistema nacional de infraestructuras puede responder de forma inesperada y emergente, especialmente cuando la infraestructura se ve sometida a tensiones o se interrumpe. En sistemas complejos e interdependientes como la infraestructura nacional, la incertidumbre sistémica (incertidumbres, ambigüedades e incógnitas [15] que no pueden clasificarse, gestionarse o gobernarse como riesgos) se ha convertido en una característica de las infraestructuras y los enfoques tradicionales

de la gestión de riesgos mucho menos pertinente. Se requieren enfoques sistémicos para lograr la resiliencia sistémica.

La resiliencia sistémica de la infraestructura nacional es un factor determinante de la frecuencia, la escala, la intensidad y la duración de las interrupciones del flujo de productos y servicios de las infraestructuras que produce; y los servicios de infraestructura social, la actividad económica y social, y los resultados socialmente beneficiosos que permiten [14]. Los sistemas de infraestructuras con baja resiliencia sistémica pueden iniciar una espiral descendente en el que las interrupciones más frecuentes socavan la calidad de vida, reducen la productividad y el PIB, perjudican a las empresas y a la confianza de los inversores, y canalizan los recursos hacia los gastos de respuesta y los apartan de otras prioridades estratégicas. Por el contrario, las infraestructuras con una alta resiliencia sistémica inician un ciclo virtuoso a largo plazo, que conduce a un lugar más atractivo y de menor riesgo para vivir, hacer negocios y realizar inversiones [16]. Los daños a los sistemas de infraestructura (incluidas las personas, las organizaciones y los activos físicos) y los daños creados por la pérdida de servicios críticos se pueden mitigar.

Sin embargo, el hecho de incorporar la resiliencia sistémica suele estar reñido con las filosofías de esbeltez, momento adecuado, eficiencia y optimización que impulsan la mayoría de los procesos de toma de decisiones. Siempre que un sistema complejo e interdependiente se gobierna y/o gestiona en aras de la eficiencia a corto plazo, la resiliencia a largo plazo de ese sistema se ve inevitablemente socavada y erosionada. El reto de la gobernanza es crear las condiciones sistémicas adecuadas para permitir la aparición y el crecimiento de la resiliencia sistémica. Esto requiere un compromiso a largo plazo con una cartera diversa, colaborativa, dinámica, polifacética, de varias escalas y sinérgica de intervenciones dirigidas sistémicamente y centradas en la transformación de los motores sistémicos más amplios de la baja resiliencia [14].

2.3 Resiliencia de las infraestructuras

La resiliencia de las infraestructuras se presenta generalmente describiendo las fases de la gestión de las interrupciones: prevenir, asumir, recuperar y adaptarse después de las interrupciones causadas por una amenaza, de manera oportuna y eficiente (véase la sección 6 para más detalles sobre las fases de la gestión de las interrupciones). La definición utilizada en este informe se basa en la definición de resiliencia de las Naciones Unidas [17] al reconocer que la creación de infraestructuras resilientes requiere la creación de capacidad para cada una de las fases de la gestión de las interrupciones, así como el reconocimiento de (1) la naturaleza cambiante de riesgos e incertidumbres; (2) la naturaleza cada vez más desafiante de las amenazas múltiples; (3) la necesidad de utilizar métodos transdisciplinarios y sistémicos que consideren tanto el ciclo de vida de la infraestructura nacional como su carácter interdependiente y multisectorial. La definición se centra en el ámbito nacional y se preocupa por conseguir un impacto a escala nacional.

Definición

La resiliencia de las infraestructuras es la prevención, asunción, recuperación y adaptación oportunas y eficaces y la transformación de las estructuras y funciones esenciales de la infraestructura nacional, que han sido expuestas a las amenazas actuales y potenciales del futuro. La implementación de la resiliencia en todas las fases de la interrupción debe hacerse mediante la gestión colaborativa del riesgo y la incertidumbre, la evaluación de múltiples peligros y los métodos que abarcan la naturaleza sistémica de la infraestructura nacional.

2.4 Ganancia neta de resiliencia

Para ayudar a avanzar hacia sistemas de infraestructura altamente resilientes, presentamos el compromiso de la ganancia neta de resiliencia, que requiere que todas las intervenciones en la infraestructura, no solo las destinadas

específicamente a mejorar la resiliencia de ese sistema, deben demostrar que mejoran la resiliencia sistémica de la infraestructura y que no dañan el contexto más amplio, que contribuye a más riesgos. Las intervenciones deben evitar reducir la resiliencia sistémica y aspirar a mejorarla. El nivel de resiliencia sistémica de la infraestructura de una nación individual reflejará sus ambiciones de servicios críticos ininterrumpidos.

Definición

La ganancia neta de resiliencia es un compromiso de colaboración a largo plazo para (a) abordar la pérdida de resiliencia sistémica, que reduce o elimina las acciones que erosionan, reducen o socavan la resiliencia sistémica; y (b) mejorar la resiliencia sistémica, que da prioridad a las acciones que crean sistemas intrínsecamente resistentes a posibles interrupciones.

«Neta» significa que es aceptable que una acción tenga un impacto negativo en la resiliencia del sistema en el que se introduce siempre que (a) también genere una ganancia de resiliencia (tenga un impacto positivo) de escala suficiente para compensar cualquier impacto negativo causado o (b) se realice simultáneamente como parte de una cartera más amplia de acciones, que colectivamente generan una ganancia neta de resiliencia para la infraestructura nacional. Por lo tanto, cualquier intervención en el sistema de infraestructuras que no dé lugar a una ganancia neta de resiliencia no debería considerarse. Deben identificarse las intervenciones alternativas. La ganancia neta de resiliencia no debe interpretarse como la posibilidad de adquirir compensaciones de resiliencia. Esto se debe a que la resiliencia es una cualidad específica del sistema, y una pérdida de resiliencia en un sistema no puede compensarse de forma significativa mejorando la resiliencia de otro sistema.

La ganancia neta de resiliencia permite aplicar un enfoque de «ganancia neta» y pretende ser complementaria y análoga a la más conocida y utilizada ganancia neta de biodiversidad [18], los Principios de Ganancia Neta Ambiental [19] y las ambiciones de cero neto [20]. La ganancia neta de biodiversidad se establece como una contribución

positiva a la biodiversidad. Recientemente se ha adoptado en el Informe Dasgupta sobre la Economía de la Biodiversidad, que exige una ganancia neta de biodiversidad, mientras que la compensación no busca una pérdida neta [18].

Helm, en su libro Net Zero [19] identifica el principio de beneficio medioambiental neto, el principio de que quien contamina paga y la disposición de bienes públicos como los tres principios clave para incitar a la acción sobre el medio ambiente natural y el cero neto. En su informe «Natural Capital and Environmental Net Gain» [21], la Comisión Nacional de Infraestructuras del Reino Unido adoptó el principio de Ganancia neta ambiental para dar forma a su opinión sobre la relación entre el Capital Natural y la Infraestructura Económica; y proporciona una explicación detallada de cómo piensan aplicar el concepto a su trabajo.

Hay muchas iniciativas mundiales que apoyan el objetivo de las emisiones de gases de efecto invernadero de cero neto, en la medida en que las emisiones netas de dióxido de carbono (CO₂) por las actividades humanas deben acercarse a cero para estabilizar la temperatura media global [20], pero no hay ninguna para la resiliencia, que es un pilar fundamental para apoyar el cero neto. La ganancia de resiliencia neta tiene que coincidir con la urgencia del cero neto. Es necesario un cambio de mentalidad fundamental y profundo hacia la resiliencia.

Un compromiso de ganancia neta de resiliencia para un sistema nacional de infraestructuras es un compromiso para garantizar que: a) todas las intervenciones en infraestructuras deben dejar los servicios críticos en un estado considerablemente más resiliente que las líneas de base anteriores a la intervención; b) los marcos y análisis de resiliencia se incorporen a todos los procesos de toma de decisiones en materia de infraestructuras; c) los inversores, promotores, proveedores y operadores de infraestructuras y los responsables políticos persigan la resiliencia para asegurar que

sus acciones produzcan una ganancia neta de resiliencia: i) dando prioridad a las acciones que mejoren la resiliencia sistémica general, ii) evitando las acciones que se espera que causen pérdidas de resiliencia (tengan impactos negativos); iii) asegurando que cualquier acción que se espera que conduzca a pérdidas de resiliencia solo sea emprendida como parte de una cartera de acciones más amplia, que genere simultáneamente una cantidad de ganancias de resiliencia superior o igual a las pérdidas de resiliencia previstas; y iv) en circunstancias excepcionales, cuando la escala de beneficios sea suficiente para justificar las pérdidas de resiliencia previstas, los beneficios no puedan lograrse de otra manera, y se hayan considerado todos los niveles superiores de la jerarquía de resiliencia, y sea posible hacerlo, aseguren los impactos sociales previstos de las pérdidas de resiliencia.

Para medir la ganancia neta de resiliencia, cada país debe evaluar su reserva de resiliencia de infraestructuras para crear una línea de base, de modo que siempre que la infraestructura o el contexto nacional cambie, se pueda determinar si se ha logrado una ganancia neta de resiliencia.

3. El caso económico de la Resiliencia de las Infraestructuras

Los argumentos económicos a favor de una mayor resiliencia nunca han sido tan fuertes y se tratan con más detalle a continuación. Las intervenciones económicas son fundamentales para apoyar y promover el diseño, la planificación, el desarrollo y el mantenimiento, entre otros, de sistemas de infraestructuras más resilientes. Cuando los recursos financieros son insuficientes, en cada etapa del ciclo de vida de la infraestructura, es probable que la resiliencia de la infraestructura se vea afectada y sufra. Incluso si el gasto total es adecuado, asignar recursos insuficientes para la planificación, la construcción, el mantenimiento y la recuperación, o la modernización conduciría a una escasa capacidad de recuperación y fiabilidad [8]. Así pues, los recursos deben distribuirse adecuadamente entre las distintas necesidades y aspectos esenciales de las infraestructuras a lo largo de su ciclo de vida, de modo que sea posible una activación eficaz de los recursos. Esto puede requerir incentivos en diferentes partes de la cadena de valor de la infraestructura, ya que el que paga puede no ser el que se beneficia de la inversión. La aplicación de estos principios conducirá a la resiliencia de los resultados globales del ciclo de vida de la infraestructura nacional, no a los beneficios de los costes individuales, que son más capaces de hacer frente a las incertidumbres de las amenazas futuras.

3.1 Etapas tempranas

Se requiere una financiación adecuada para el análisis de riesgos y de resiliencia en las primeras fases de diseño y planificación de los proyectos. En la fase inicial del ciclo de vida de los proyectos de infraestructuras, los presupuestos de preparación suelen ser reducidos, lo que dificulta la realización de los sofisticados estudios y análisis necesarios

para mejorar el diseño y la toma de decisiones, mientras que pueden generar enormes ahorros a lo largo de la vida útil de los sistemas de infraestructuras [8]. La evaluación y las valoraciones iniciales pueden aplicarse como prueba de una inversión de bajo riesgo y alta rentabilidad para atraer fondos de los sectores privados y apoyar los requisitos de las infraestructuras resilientes a lo largo de su ciclo de vida [22].

Por ejemplo, en Bangladesh, la justificación del cambio climático en el diseño de las infraestructuras aumentó las necesidades de capital en 560 millones de dólares para la protección adicional contra las inundaciones, pero permitiría ahorrar hasta 1.600 millones de dólares [23]. Otro ejemplo está relacionado con el proyecto piloto de autopistas federales en EE. UU., que evaluó la rentabilidad del diseño de puentes y alcantarillas en una ubicación diferente bajo una serie de escenarios de aumento del nivel del mar y mareas de tormenta, de forma acumulativa en el tiempo, para encontrar el diseño más eficiente y la ubicación más adecuada que permitiría ahorrar hasta 0,5 millones de libras [24].

Si se tienen en cuenta los costes iniciales adicionales, se construirán infraestructuras más fiables a largo plazo. Los costes iniciales adicionales de los activos más resilientes pueden evitar los daños de futuros peligros y generar beneficios significativos en términos de menores costes de reparación y necesidades de mantenimiento durante la vida útil de los sistemas de infraestructura [8]. También mejorará la mitigación en caso de compensación por el impacto ambiental y los costes para revertir los daños a la biodiversidad.

Las soluciones de puentes modulares pueden revestir la estructura del tablero de un puente con acero inoxidable. Este enfoque da lugar a una vida útil considerablemente más larga, de hasta 100 años, con menores costes de mantenimiento. Los costes de construcción también son menores porque un encofrado estandarizado puede entregarse en la obra en un contenedor, y el vaciado de la plataforma se realiza de una sola vez, a diferencia de los tiempos más largos y el complejo encofrado necesario para las estructuras tradicionales in situ [25]. El otro ejemplo está relacionado con un estudio que indica que los 6 millones de dólares gastados en el refuerzo sísmico de la infraestructura de transmisión y distribución dieron lugar a una reducción de entre 30 y 50 millones de dólares en los costes directos de sustitución de activos. Este trabajo de mitigación también fue muy eficaz para limitar los daños en los terremotos, ya que apenas se produjeron daños importantes o estructurales en ninguna de las 314 subestaciones de Orion, más tarde [26].

3.2 Operaciones

La asignación de recursos financieros suficientes para un funcionamiento y un mantenimiento aceptables es vital para aumentar la resiliencia de los activos de infraestructura y reducir los costes generales [8]. Ayuda a avanzar hacia un programa de funcionamiento preventivo y a alejarse de los enfoques reactivos de reparación. Sin embargo, es habitual que no se invierta lo suficiente en el funcionamiento y el mantenimiento porque, por lo general, es más fácil conseguir recursos para financiar nuevas inversiones o una rehabilitación importante que para cubrir los costes continuos de funcionamiento y mantenimiento. Además, el mantenimiento es menos visible que las nuevas inversiones y suele retrasarse, lo que lo convierte en un objetivo fácil para los recortes presupuestarios [27]. Pero para ser resilientes, los activos no solo necesitan ser fuertes; también necesitan un buen mantenimiento, lo que requiere un flujo constante de recursos, así como procesos y sistemas.

Según el análisis de los países de la OCDE en 2019, cada dólar adicional gastado en el mantenimiento de las infraestructuras es tan eficaz como 1,5 dólares de nueva inversión [28]. También existen pruebas sólidas de que un buen mantenimiento aumenta la vida útil de los activos. En Salzburgo, la mayoría de las tuberías de agua tienen más de 100 años, pero sufren muy pocas pérdidas de agua gracias a un plan de mantenimiento estratégico eficaz [29]. Además, el mantenimiento es fundamental para garantizar que los activos puedan soportar condiciones extremas. Por ejemplo, la mejora del mantenimiento de las carreteras frente al riesgo de desastres de origen natural podría reducir las pérdidas de activos en un 12 % en Belice y en un 18 % en Tonga [25].

Es esencial destinar fondos para reforzar la resiliencia de las infraestructuras ante incidentes de emergencia e imprevistos. Ningún activo o sistema de infraestructura puede diseñarse para hacer frente a todas las amenazas posibles porque existe una gran incertidumbre sobre la probabilidad y la intensidad de los acontecimientos más extremos. Debido a la incertidumbre, se requiere una preparación y un refuerzo adicionales para la respuesta y la recuperación. Para llevar a cabo esta preparación se necesitan fondos suficientes, incluida la aclaración de los planes para las funciones financieras de las partes interesadas tras la interrupción de las actividades de recuperación.

El incidente nuclear de Fukushima demostró que, aunque se supone que los grandes diques protegen una central nuclear contra todos los posibles tsunamis, algunos acontecimientos inesperados pueden superar el nivel de protección [30]. En estos casos, hay que reservar fondos para los imprevistos, o invertir de acuerdo con los Principios para la Infraestructura Resiliente para preparar, asumir, recuperar y adaptarse a los desastres que podemos esperar que serán más graves que los pasados.

3.3 Fin de la vida útil

Los bancos, los gobiernos y otros inversores desempeñan un papel en la asignación de presupuestos para las mejoras necesarias, el mantenimiento, la rehabilitación para prolongar la vida útil y mejorar la fiabilidad, y para las sustituciones al final de la vida útil. La falta de inversiones en mejoras técnicas también puede conducir a una falta de resiliencia a los choques y tensiones, y acortar la vida de los componentes de la infraestructura. Las nuevas tecnologías y los materiales pueden implantarse para mejorar la construcción, el funcionamiento, el mantenimiento y la recuperación a bajo coste [8]. Ya se están implantando sensores en el suministro de agua para controlar la presión y el caudal, minimizar las pérdidas y mejorar el mantenimiento del sistema.

El sistema ePulse se utilizó en Washington D. C. durante las obras de sustitución de tuberías. La evaluación del estado de las tuberías reveló que 32 kilómetros estaban en buen estado, mientras que se localizaron numerosas fugas y se ahorraron 14 millones de dólares en inversiones [8]. Esto permitió que el sistema localizara las fugas y enviara equipos a zonas específicas en lugar de explorar zonas más amplias para localizar los problemas. El huracán Sandy causó daños catastróficos en la ciudad de Nueva York, con kilómetros de cables de cobre inutilizados. Estimando las pérdidas en aproximadamente 1000 millones de dólares, Verizon no vio el valor de reparar la red existente. En su lugar, sustituyó las redes de cobre por cables de fibra óptica, que son más resilientes a los daños causados por el agua [31].

4. Gobernanza

La gobernanza es un componente esencial para lograr los resultados deseados de las infraestructuras resilientes. La OCDE [32] ha propuesto un conjunto de herramientas políticas sobre la gobernanza de la resiliencia de las infraestructuras críticas. Requiere que los gobiernos aborden siete retos de gobernanza interrelacionados: 1. Crear una estructura de gobernanza multisectorial; 2. Comprender las complejas interdependencias y vulnerabilidades de los sistemas de infraestructuras; 3. Establecer la confianza entre el gobierno y los operadores; 4. Crear asociaciones; 5. Definir la combinación de políticas para dar prioridad a las medidas de resiliencia rentables a lo largo del ciclo de vida de las infraestructuras; 6. Garantizar la rendición de cuentas y el control de la ejecución; y 7. Abordar la dimensión transfronteriza de los sistemas de infraestructura. Estos retos deben asumirse dentro de un método de gobernanza que apoye la aplicación de los principios y las acciones clave, y que demuestre que proporcionan los resultados previstos: beneficios, resultados e impactos. Se ha desarrollado una teoría del cambio para proporcionar un hilo conductor que conecte la aplicación de los principios y las acciones clave (insumos) con sus consecuencias (productos), como se muestra en la figura 1.

La aplicación de los principios y sus acciones requiere una decisión a escala nacional. Los países pueden aplicar los principios de forma voluntaria, a través de la legislación nacional, la regulación o los instrumentos políticos. Se propone que los principales ministerios y agencias gubernamentales implementen los principios en sus mecanismos de aprobación, señalando que esto forma parte de la política nacional.

Los gobiernos deben obligar a los inversores a aplicar estos principios, de lo contrario los gobiernos tienen que pagar por la falta de resiliencia y, en última instancia, lo pagarán los ciudadanos. Esto haría aceptable que los inversores cargaran con costes adicionales a efectos de resiliencia. Si los gobiernos

obligan a los inversores a hacerlo, los gobiernos deben introducir al menos estos principios en los reglamentos y normas.

A través de una evaluación de los resultados de las acciones clave, pueden utilizarse los principios para indicar el grado de resiliencia nacional de las infraestructuras operativas y futuras y poner de manifiesto los ámbitos de mejora. Los cambios pueden ponerse en práctica mediante la aplicación de los principios a lo largo de todo el ciclo de vida de la infraestructura nacional: nuevos proyectos de infraestructuras, prácticas operativas de mantenimiento, planes de emergencia y recuperación, normativas (para el control, la presentación de informes), decisiones de inversión (por ejemplo, inversiones público-privadas), desmantelamiento de infraestructuras, etc. Los principios también pueden sacar a la luz áreas que actualmente limitan la resiliencia, por ejemplo, los procesos de licitación y contratación que limitan la capacidad de una nación para tener una infraestructura más resiliente. Habrá tensiones y compensaciones a la hora de seleccionar los principios y las acciones clave que se aplicarán en primer lugar y que deberán resolverse a escala nacional.

Los reguladores de la infraestructura y las autoridades públicas pueden establecer mecanismos para obtener información sobre la eficacia de los principios mediante el seguimiento continuo de: las amenazas, el panorama cambiante de la demanda, la capacidad emergente del sistema nacional integrado de infraestructuras para mantener su resiliencia, las implicaciones sociales y económicas de las interrupciones de los servicios críticos, etc. La información de seguimiento y notificación proporcionará pruebas del progreso hacia la ganancia neta de resiliencia y de la consecución de los objetivos a escala nacional para la resiliencia de las infraestructuras, y permitirá objetivos cada vez más ambiciosos para lograr mejores resultados socioeconómicos y medioambientales. El seguimiento

y la presentación de informes también deberían tener en cuenta el incumplimiento y su efecto en la resiliencia de las infraestructuras.

Estos principios pueden incorporarse a los informes ambientales, sociales y de gobernanza (ASG) para la inversión de impacto [33]. El cumplimiento de estos principios sería una buena forma de reducir las primas de los seguros y podría haber oportunidades para que el sector de los seguros innove para ajustarse a estos principios. Por ejemplo, según la ubicación de la infraestructura, algunas aseguradoras pueden tomar una parte de la prima y reinvertirla en la gestión activa del riesgo de la empresa, lo que significa que pagarán como un fondo de efectivo para apoyar la desarticulación de los activos.

Los impactos positivos se producirán gracias a una mejor resistencia y asunción de las amenazas, a la minimización oportuna y eficiente de las interrupciones mediante la acomodación y la recuperación adecuada, y a la adaptación y transformación cuando la acción apropiada sea el rebote.

El país debería experimentar una reducción de los daños a las personas y a los bienes, un aumento de los negocios y confianza del inversor, una mejora del entorno natural y menos interrupciones e inconvenientes. Una comprensión global de la resiliencia de las infraestructuras debería incluir conocimientos sobre la capacidad de asunción antes de las perturbaciones, la capacidad de restauración durante dichas perturbaciones y la capacidad de adaptación después de ellas [34]. La retroalimentación de los países sobre la eficacia de los principios en su conjunto y de las acciones clave específicas, relacionadas con los contextos nacionales, permitirá revisar periódicamente los principios y las acciones clave en aras de un mayor bien global. La gobernanza y las prácticas descritas anteriormente se muestran visualmente en una representación estándar de la teoría del cambio que demuestra cómo los insumos conducen a los productos, a los resultados y al impacto. Véase la figura 1

Figura 1 Principios para la Infraestructura Resiliente: gobernanza y teoría del cambio

Dirección del cambio ↑	IMPACTO	Mayor continuidad de los servicios, y mejor salud pública y riqueza	Mayor confianza de los inversores	Menos daños al medio ambiente y menos recursos desperdiciados	Menos molestias	Comentarios ↓
	RESULTADOS	Menos fallos, pérdidas y cuasi accidentes al resistir y asumir mejor las amenazas	Aumento de la resiliencia nacional de servicios críticos mediante una mejor respuesta, adaptación, transformación y recuperación ante las amenazas		Mayor conocimiento	
	PRODUCTOS	Los proyectos y mejoras de infraestructuras se entregan «preparados para la resiliencia».			Informes del regulador	
	Práctica de INSUMOS	Los cambios en la infraestructura, los proyectos, las operaciones, los procesos, las inversiones, etc. demuestran cómo aplican los principios			Supervisión del regulador	
	Política de INSUMOS	Principios adoptados en los mecanismos nacionales de aprobación		Se establecen objetivos de resiliencia de la infraestructura nacional y de ganancia neta de resiliencia		

5. Visión general de los Principios para la Infraestructura Resiliente

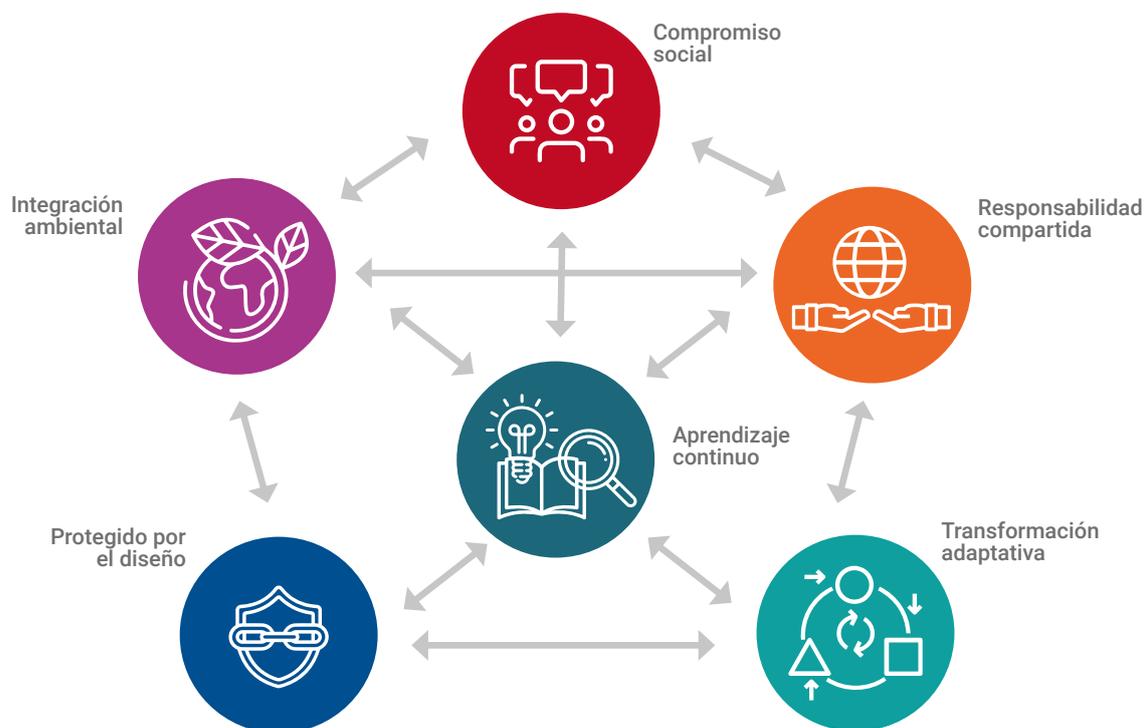
Un conjunto de seis principios interconectados para la infraestructura resiliente, como se muestra en la figura 2, se enumeran a continuación.

- Aprendizaje continuo
- Protegido por el diseño
- Integración ambiental
- Compromiso social
- Responsabilidad compartida
- Transformación adaptativa

Cada principio tiene un objetivo normativo, similar a

los objetivos de desarrollo sostenible [4] y al Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres [5], que permite la mejora continua de la resiliencia de la infraestructura nacional. En conjunto, los seis objetivos forman un sistema de objetivos que logran una ganancia neta de resiliencia en todas las etapas del ciclo de vida de la infraestructura (diseño, construcción, funcionamiento, retirada del servicio) que aseguran la continuidad de los servicios críticos a través de todas las fases de la gestión de la interrupción (preparación, asunción, recuperación y adaptación). Dado este enfoque en asegurar los servicios críticos, y por lo tanto centrado en la infraestructura, se queda fuera de los límites de este trabajo considerar, por ejemplo, cómo la sociedad podría ser resiliente sin servicios críticos, o cómo las comunidades pueden ser resilientes a los servicios críticos.

Figura 2 Principios para la Infraestructura Resiliente



6. Objetivos de Desarrollo Sostenible, alineación del Marco de Sendai y fases de resiliencia

Los Principios para la Infraestructura Resiliente hacen suyas las ambiciones de los Objetivos de Desarrollo Sostenible [4], especialmente el ODS 9.

Los principios Responsabilidad compartida y Aprendizaje continuo fomentan la expansión de la investigación y el desarrollo tecnológico (9.5, 9.b, 9.c). La integración medioambiental reduce el impacto medioambiental (9.4), mientras que el compromiso social apoya el compromiso y el avance de la sociedad (9.1, 9.c). La protección proactiva hace hincapié en proporcionar apoyos financieros, tecnológicos, técnicos y naturales (9.a, 9.4).

Los principios apoyan directamente el Marco de Sendai [5], en particular el objetivo global D de reducir sustancialmente los daños causados por los desastres a las infraestructuras críticas y la interrupción de los servicios básicos. Asimismo, crean una sinergia entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el Acuerdo de París y el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres.

Con respecto al apoyo a la definición de resiliencia de las Naciones Unidas [17], la responsabilidad compartida ayuda a la transición hacia enfoques basados en la información para prevenir fallos y mejorar el proceso de recuperación. La protección proactiva y la transformación adaptativa pueden aplicarse para prevenir, asimilar y resistir los fallos, así como para mejorar el proceso de recuperación. El aprendizaje continuo consiste en prevenir los riesgos. La integración medioambiental se centra en la integración con el entorno natural para prevenir, asimilar y resistir los desastres de origen natural (nótese que no es lo mismo que «desastres

naturales», lo que implica incorrectamente que los desastres ocurren de forma natural). El compromiso social fomenta el compromiso de la sociedad para prevenir, resistir y recuperarse de los fracasos. Véase el Apéndice B para consultar un esquema de las interrelaciones con los ODS, el Marco de Sendai y las capacidades en la definición de las Naciones Unidas para la resiliencia.

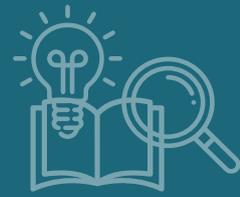
Los Principios para la Infraestructura Resiliente complementan, apoyan y se basan en otras directrices internacionales en materia de infraestructura, incluyendo, entre otros, los Principios del G20 para la Inversión en Infraestructura de Calidad [35].

Este informe también hace referencia a las fases de la gestión de las interrupciones. Las fases son preparación, absorción, recuperación y adaptación [36], [37] que están fuertemente conectadas con las capacidades de resiliencia. La preparación consiste en planificar y prevenir las interrupciones y es la fase previa a que se produzca cualquier evento de interrupción. La absorción es la fase durante la cual surge una interrupción y requiere que la infraestructura resista y asuma (o limite) los fallos para que los servicios críticos puedan seguir prestándose con la menor interrupción posible. La fase de recuperación comienza cuando el peligro ha cesado y se llevan a cabo las reparaciones y la reconstrucción. La fase de adaptación consiste en cambiar o transformar la provisión de infraestructuras para mejorar su resiliencia. El salto hacia adelante es una adaptación cuando se utiliza en la fase de recuperación.

7. Principios

Principio 1 (P1)

Aprendizaje continuo



El objetivo es desarrollar y actualizar la comprensión y el conocimiento de la resiliencia de las infraestructuras.

RESUMEN

Este principio pone de manifiesto los retos que plantea la comprensión de la resiliencia de las infraestructuras debido a la complejidad interna y la hiperconectividad externa de los sistemas y sectores relacionados. Su objetivo es desarrollar la comprensión y el conocimiento de la resiliencia de las infraestructuras a través de acciones clave que: expongan y validen los supuestos que puedan crear riesgos futuros a los servicios críticos;

supervisar e intervenir en el rendimiento en tiempo real de la infraestructura para mantenerla resiliente; identificar y validar las estrategias antes de ponerlas en práctica, asegurándose de que funcionan en múltiples escenarios futuros y teniendo en cuenta los registros históricos de desastres; y realizar pruebas de resistencia para identificar y solucionar las principales vulnerabilidades.

ANTECEDENTES

La complejidad interna y la hiperconectividad externa de las infraestructuras dificultan que las partes interesadas comprendan claramente el estado de la resiliencia de la infraestructura nacional, lo que socava la capacidad de los operadores de sistemas para prevenir, asumir y recuperarse de las interrupciones. Por lo tanto, además de comprender y resumir los riesgos de desastres pasados de acuerdo con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 [5], también es necesario que los planificadores se preparen activamente para la escala de amenazas potenciales que pueden sufrir las infraestructuras, que los operadores perciban los cambios dinámicos en el estado de funcionamiento de las infraestructuras para detectar rápidamente las anomalías, y que los responsables de la toma de decisiones aprendan e ideen continuamente estrategias para optimizar desastres y la recuperación rápida.

El P1, Aprendizaje continuo, tiene que ver con la mejora de los conocimientos sobre futuras vulnerabilidades y, por lo tanto, puede respaldar los argumentos empresariales para mejorar la resiliencia. Los mecanismos inteligentes integrados en el ciclo de vida de la planificación, la supervisión, la recuperación y el aprendizaje ofrecen a los interesados en las infraestructuras enfoques específicos para mejorar los conocimientos sobre resiliencia y la comprensión global de la resiliencia de las infraestructuras y sus capacidades. Los resultados del aprendizaje continuo servirán de retroalimentación para apoyar otros principios como el P2, Protegido por el diseño, y el P6, Transformación adaptativa. El P1, Aprendizaje continuo, es un principio que deben adoptar todas las partes interesadas en la infraestructura.

DEFINICIONES

- Los mecanismos inteligentes, habilitados por organizaciones y tecnologías inteligentes en las infraestructuras, permiten a los planificadores, a los operadores, a los responsables de la toma de decisiones, a las partes interesadas en general y, en última instancia, a los componentes autónomos de las infraestructuras, aprender de las interrupciones históricas y estar preparados para futuras situaciones peligrosas o inciertas. Incluyen: mecanismos de planificación inteligente para la preparación, mecanismos de detección inteligente para la supervisión y el ajuste flexible, y mecanismos de respuesta inteligente para estrategias de recuperación iterativas y óptimas; la industria 4.0 y las tecnologías emergentes están permitiendo cada vez más la materialización de mecanismos inteligentes.
- La alfabetización en materia de resiliencia es la capacidad de un pueblo para comprometerse con

los avances en materia de resiliencia y apoyar los planes de transición hacia la renovación, la modernización y la inteligencia. Una mayor concienciación puede respaldar el desarrollo y la integración de programas novedosos relacionados con la integración de recursos de propiedad privada en el funcionamiento de redes resilientes, como las tecnologías «vehicle-to-grid» (del vehículo a la red) y las centrales eléctricas virtuales [38].

- Los sistemas de alerta temprana son un sistema integrado de vigilancia, previsión y predicción de amenazas, evaluación del riesgo de desastres, sistemas y procesos de actividades de comunicación y preparación que permiten a los individuos, comunidades, gobiernos, empresas y otros tomar medidas oportunas para reducir los riesgos de desastre antes de los eventos peligrosos [39].

GANANCIA NETA DE RESILIENCIA

- La capacidad de absorción se mejora incorporando las conclusiones de los conocimientos descubiertos a través de la planificación y la detección inteligentes. Gracias a una mejor comprensión de los límites de resiliencia y de los márgenes de seguridad, se pueden desarrollar amortiguadores para superar posibles interrupciones futuras. Las infraestructuras resilientes con capacidad de absorción pueden asumir los impactos negativos de las interrupciones y minimizar las consecuencias con poco esfuerzo [40].
- La capacidad de restauración se incrementa mediante una mejor comprensión de las estrategias de recuperación exitosas y oportunas. Las infraestructuras resilientes con capacidad de restauración pueden recuperarse o reponerse de un evento perturbador y volver Los a tiempo

a condiciones de funcionamiento normales o mejoradas [41]. Los mecanismos de aprendizaje inteligente pueden hacer que los responsables de la toma de decisiones de la infraestructura aprendan acciones mejores y más oportunas para la respuesta del sistema, utilizando la retroalimentación acumulada, la experiencia y las lecciones de la experimentación.

- La capacidad de adaptación se crea mediante la supervisión del estado físico, el estado de funcionamiento y el rendimiento del nivel de servicio de las infraestructuras con mecanismos de detección inteligentes. Los operadores de infraestructuras crean capacidad de adaptación aprendiendo a ajustarse a situaciones no deseadas sufriendo algunos cambios en tiempo real [34].

ACCIONES CLAVE

P1.1 Exponer y validar las hipótesis

Exponer y validar las hipótesis sobre la resiliencia de las infraestructuras a las posibles amenazas para evaluar los riesgos futuros de los servicios críticos.

Utilizando pruebas e investigaciones científicas, los planificadores de infraestructuras, los responsables políticos y los analistas de escenarios deben exponer las hipótesis sobre la resiliencia de las infraestructuras y validarlas mediante el análisis de escenarios (computacionalmente, matemáticamente, utilizando análisis cualitativos, ingeniería profesional y otras herramientas de compromiso, etc.) para caracterizar las amenazas potenciales de origen antropogénico o natural, y evaluar los riesgos futuros para los servicios de infraestructuras críticas. Las inversiones para mejorar la resiliencia de las infraestructuras deben utilizar las pruebas y los conocimientos derivados de las pruebas y la validación para justificar la ganancia neta de resiliencia.

Modelización de las amenazas de Marruecos: El programa de gestión de riesgos de desastres del gobierno de Marruecos ha desarrollado una herramienta denominada «Análisis de riesgos probabilístico de amenazas naturales de Marruecos (MnhPRA)», que proporciona un inventario de los activos del país en riesgo que amenazan a estos activos e incorpora la población de Marruecos, todo el entorno construido de Marruecos, como todos los edificios, carreteras, puentes, ferrocarriles, puertos y aeropuertos, la generación y transmisión de electricidad y otras infraestructuras. La herramienta MnhPRA combina estas bases de datos de activos con bases de datos de amenazas (actualmente, terremotos, inundaciones, tsunamis y sequías) que amenazan estos activos, y luego los vincula con funciones de vulnerabilidad para estimar las muertes, las lesiones y los costes económicos directos debidos a toda la posible exposición a desastres [42]. Las hipótesis expuestas al utilizar esta herramienta (como la magnitud y la frecuencia de las amenazas, los activos y su estado) proporcionan las hipótesis realizadas en la evaluación, y pueden poner de manifiesto las brechas a medida que cambian los conocimientos y la experiencia.

P1.2 Supervisar e intervenir adecuadamente

Supervisar el rendimiento para detectar el rendimiento de la infraestructura en tiempo real e intervenir en una escala de tiempo adecuada.

Supervisar el rendimiento en tiempo real mediante enfoques cualitativos, cuantitativos e híbridos e intervenir a una escala temporal adecuada proporcionará información para la alerta temprana y la mitigación de desastres. Los operadores de infraestructuras que supervisen el estado de la infraestructura nacional para detectar el rendimiento del sistema e identificar las sensibilidades del sistema a diversas amenazas en tiempo real activarán las alertas tempranas, la evaluación rápida del riesgo y el apoyo de la toma de decisiones para las intervenciones en una escala de tiempo adecuada. En la medida de lo posible, la alineación con el Objetivo G del Marco de Sendai aumentará la disponibilidad y el acceso a los sistemas de alerta temprana de múltiples amenazas y a la información y evaluación del riesgo de desastres [5]. Los mecanismos de detección inteligente pueden aplicarse utilizando tecnologías, personas y el seguimiento de los niveles de servicio percibidos por los usuarios.

Proyecto de monitorización de la red de aguas residuales: La rotura de una red de aguas residuales y el impacto de su contaminación es un problema con importantes consecuencias para los entornos sociales, naturales y construidos, por lo que aumenta la resiliencia. El servicio de monitorización y análisis de tuberías de impulsión de Syrinix mejora el conocimiento de los problemas de los activos, como los atascos, la adhesión o el paso de las válvulas antirretorno, las bombas desgastadas y las tuberías reventadas. Este proyecto ha sido realmente pionero por su capacidad de ofrecer un valor temprano a una amplia gama de partes interesadas dentro de la empresa de servicios públicos. Los planificadores de activos pueden ahora examinar los efectos de los planes sobre el rendimiento de las tuberías de impulsión e informar sobre las normas futuras. En mayo de 2019, la detección temprana de la rotura de una tubería de impulsión en Anglian Water, en el este de Inglaterra, supuso una factura de reparación de 1.100 libras esterlinas,

frente a la factura de reparación de 24.000 libras esterlinas recibida 6 meses antes, previamente a la monitorización y la implementación de la alarma de rotura [43].

P1.3 Analizar, aprender y formular mejoras

Formular estrategias para la mejora de la resiliencia de las infraestructuras que se basen en el aprendizaje, la retroalimentación, la investigación científica y el análisis de las interrupciones anteriores, los datos y los modelos.

Los responsables de la toma de decisiones en materia de infraestructuras deben formular estrategias de resiliencia de las infraestructuras basadas en el aprendizaje de la retroalimentación histórica de estas tras las interrupciones, utilizando los registros de riesgo de desastres y la ayuda de las últimas investigaciones y tecnologías de campos como la gestión del conocimiento, la ciencia de los datos y la gestión de la información. Se pueden evaluar las interrupciones pasadas y realizar experimentos de pensamiento/modelo para determinar cómo se podría haber evitado la interrupción de los servicios críticos. El análisis de los datos mediante las herramientas y técnicas de la Industria 4.0 en la gestión de desastres [44] apoyará los mecanismos de aprendizaje inteligente hacia el conocimiento, el dominio de la evolución del riesgo, el desarrollo de teorías y la creación de estrategias para mejorar la resiliencia de los servicios críticos. Las mejoras en la evaluación de riesgos de los proyectos de infraestructuras deben centrarse en garantizar la vida útil de la infraestructura y la continuidad de los servicios a los que está orientada.

Resiliencia climática del sistema de transporte: Freetown es una de las ciudades más vulnerables del mundo a los impactos del cambio climático, con inundaciones y desprendimientos que afectan a su sistema de transporte, tan importante para su desarrollo económico. La falta de datos y la escasa comprensión de la vulnerabilidad del sistema de transporte a las amenazas relacionados con el clima impiden a los planificadores urbanos mejorar y desarrollar un sistema de transporte sólido y resiliente para satisfacer la creciente demanda. Para hacer frente a estos retos, el gobierno de Sierra Leona trabajó para comprender mejor la vulnerabilidad de las carreteras a las inundaciones y los desprendimientos de tierra y cómo el cambio climático afectaría a los patrones y las características de estos fenómenos. Recogieron datos sobre la movilidad pública en los sistemas de transporte formales e informales e identificaron intervenciones para mejorar la resiliencia de los sistemas de transporte. Se utilizaron aplicaciones móviles como el RoadLabPro para cartografiar 4.038 km de sistemas de transporte formales e informales. También se cartografiaron las zonas inundadas y la ubicación de infraestructuras viales críticas, como desagües y alcantarillas. Con esta información, junto con las previsiones del cambio climático sobre las precipitaciones y el aumento del nivel del mar, este trabajo dio como resultado el primer mapa de transporte exhaustivo informado en materia de riesgos climáticos de Freetown y apoyará la toma de decisiones en todos los ámbitos, desde las infraestructuras y las políticas hasta la planificación de viajes [45].

P1.4 Realizar pruebas de resistencia

Desarrollar estrategias para evaluar continuamente la resiliencia y exponer los puntos débiles del sistema mediante la colaboración con las partes interesadas y el público.

Para hacer frente a las posibles amenazas, hay que desarrollar estrategias para evaluar continuamente la capacidad de recuperación y exponer los puntos débiles del sistema. Los ejercicios regulares de pruebas de resistencia y de cumplimiento deben realizarse en colaboración con las partes interesadas y el público. Las pruebas deben normalizarse cuando sean apropiadas y una práctica común. Los ejercicios de preparación para desastres y los simulacros de emergencia establecerán las mejores prácticas en la gestión de riesgos y crisis y también mejorarán la resiliencia de la comunidad. Los ejercicios deben ir más allá de los límites sectoriales y geográficos para involucrar a todas las partes interesadas.

Se están realizando esfuerzos para desarrollar métodos cuantitativos y cualitativos para evaluar y medir la resiliencia en sistemas y subsistemas [46]. Entre ellos se encuentran los enfoques basados en métricas y en modelos. La normalización de estos métodos y su integración en la planificación y el funcionamiento de las

infraestructuras puede permitir una mayor solidez y coordinación de la estrategia de resiliencia. La UNDRR ha desarrollado una herramienta de prueba de resistencia para las infraestructuras críticas basada en una metodología de Linkov y Kott [47] que propone un enfoque de tres niveles para la modelización de la resiliencia, que crece en complejidad con cada nivel.

En el primer nivel, los modelos o índices de cribado pueden utilizarse para identificar mejoras fáciles y áreas que requieren un análisis más profundo, y en el segundo nivel se utiliza el análisis de decisiones para priorizar el rendimiento del sistema y las inversiones. Por último, los modelos complejos del tercer nivel consideran los sistemas y subsistemas interdependientes y se utiliza un sólido análisis de escenarios. La selección del nivel de modelización necesario depende del escenario que se modele, así como de los datos y recursos disponibles. The Great ShakeOut es una organización internacional que educa al público sobre la preparación ante los terremotos. Cada año organizan el Día Internacional del ShakeOut (terremoto), en el que millones de participantes realizan un simulacro de terremoto, y proporcionan recursos para particulares, escuelas y lugares de trabajo, como manuales de simulacro, guías de acción de seguridad y material educativo sobre la ciencia de los terremotos [48].

Principio 2 (P2)

Protegido por el diseño



El objetivo es planificar, diseñar, construir y explotar de forma proactiva infraestructuras que estén preparadas para las amenazas actuales y futuros.

RESUMEN

El objetivo Protegido por el diseño es estar preparado para las amenazas en el reconocimiento de que la infraestructura está expuesta a diversas amenazas, tanto conocidos como desconocidos, y la naturaleza de las amenazas cambia constantemente. Las acciones clave incluyen el aumento de la línea de base para la seguridad del

sistema, la protección de los componentes críticos y las interdependencias críticas de la infraestructura nacional, incorporando una planificación madura de la gestión de emergencias, garantizando que los sistemas puedan fallar de forma segura, creando resiliencia a múltiples escalas y comprometiéndose con el mantenimiento de las infraestructuras.

ANTECEDENTES

Las infraestructuras están expuestas a diversas amenazas, tanto conocidas como desconocidas. Y la naturaleza de las amenazas cambia constantemente. Esto incluye la amplitud y la frecuencia de las amenazas, las amenazas múltiples que ocurren simultáneamente o cerca una de la otra, e incluso las nuevas amenazas como el cambio climático, el aumento del nivel del mar y la contaminación nuclear. El mejor momento para invertir en la preparación para las amenazas es en las primeras fases del ciclo de vida de las infraestructuras para satisfacer los requisitos de rentabilidad del riesgo, que deben considerar y evaluar de forma proactiva los posibles impactos negativos de las perturbaciones y los desastres en todo el ciclo de vida de la provisión de infraestructuras.

Basándose en los resultados del aprendizaje continuo, el diseño resiliente proporciona la toma de decisiones: planificación sistemática de la red de infraestructuras (como la planificación de

la interdependencia), esquemas estructurales resilientes (como el diseño y la construcción resistentes a las amenazas), esquemas operativos (como el programa de mantenimiento regular) y planes de emergencia (como los planes de evacuación y rescate de emergencia). Su objetivo es aumentar de forma proactiva la seguridad básica del sistema para asimilar, acomodar, resistir, adaptarse, transformar y recuperarse mejor de los efectos negativos de las amenazas cada vez mayores en las fases de funcionamiento y mantenimiento, proporcionando a las infraestructuras soluciones previsoras y proactivas que tengan en cuenta su complejo comportamiento y las interacciones entre los subsistemas, el entorno construido y los seres humanos [49]. Tanto el prediseño (análisis de opciones/estrategias) como el postdiseño (construcción y operaciones) deben garantizar el cumplimiento con diseños para la resiliencia de las infraestructuras a través de la supervisión, la provisión de capacidad humana y habilidades, etc.

El diseño para la resiliencia está respaldado por teorías maduras y numerosas prácticas de ingeniería. Los diseños de ingeniería deben respaldar el compromiso con la resiliencia como valor fundamental y deben plantearse sobre la base de datos disponibles y fiables, de modo que los parámetros de seguridad y mitigación del riesgo de desastres estén presentes en los proyectos nuevos y de readaptación. La gestión integral del riesgo y las organizaciones y métodos informados por el riesgo se alinean con la priorización de los recursos de mantenimiento hacia los activos más críticos, considerando su rendimiento tanto en condiciones normales como de emergencia o resistencia, y respondiendo al riesgo dinámico, por ejemplo, los cambios en el riesgo climático debidos a la estacionalidad y al cambio climático a largo plazo.

Estos deben revisarse continuamente sobre la base del P1, Aprendizaje continuo, que crea una visión y evaluaciones de riesgo científicas basadas en pruebas de resistencia, pruebas de escenarios, seguimiento, examen de registros de desastres, etc. El P1 tiene en cuenta el pasado, el presente y el futuro, y el análisis de futuros tiene en cuenta las fluctuaciones del entorno construido, natural y social. Es necesario adoptar un enfoque proactivo para invertir por adelantado en el diseño, a fin de evitar posibles costes masivos relacionados con la recuperación, la reconstrucción y la sustitución. Esto implicará a las partes interesadas en todas las etapas del ciclo de vida de la infraestructura, incluidos los inversores privados y públicos. Véase el P5, Responsabilidad compartida, y, en particular, el P5.6, Compartir información sobre riesgos y rendimientos.

DEFINICIONES

- El diseño resiliente de las infraestructuras, incluidas la planificación y la ejecución previas y posteriores al diseño, es el diseño intencionado de la forma, la configuración, los esquemas de funcionamiento y los planes de emergencia de las infraestructuras que tiene en cuenta diversos impactos negativos de las amenazas, incluidos los desastres de origen natural y humano, así como los cambios a largo plazo derivados del cambio climático [50].
- La seguridad del sistema, como objetivo principal de la ingeniería de resiliencia, se centra en dotar a las infraestructuras de las capacidades necesarias para gestionar de forma proactiva diversas interrupciones inciertas [51]. Teniendo en cuenta que el grado de seguridad del sistema cambiará continuamente con el tiempo, la ingeniería de resiliencia aprovecha los conocimientos sobre los fallos en los sistemas complejos, los factores organizativos que contribuyen a las amenazas y los impulsores del rendimiento humano para elevar la línea de base de la seguridad por adelantado [52]. Safe-to-fail infrastructure remains safe in the event of a partial or complete failure that renders it unable to provide its usual services [53]; this is different from fail-safe infrastructure, which is designed to prevent failure from occurring. When fail-safe infrastructure does fail, the consequences can be severe [54].
- La infraestructura segura contra fallos sigue siendo segura en caso de un fallo parcial o total que la incapacite para prestar sus servicios habituales [53]; esto es diferente de la infraestructura a prueba de fallos, que está diseñada para evitar que se produzcan fallos. Cuando la infraestructura a prueba de fallos falla, las consecuencias pueden ser graves [54].

GANANCIAS NETAS DE RESILIENCIA

- Las infraestructuras resilientes con características de robustez pueden mejorar la absorción de las amenazas y la resistencia a ellos, y también mitigar la propagación de los daños.
- Las infraestructuras resilientes con características de exceso de recursos pueden prestar servicios continuos utilizando los recursos restantes disponibles en caso de interrupciones. La planificación de la interdependencia de la infraestructura puede realizar una transferencia interna eficiente de las funciones de la infraestructura para mejorar el exceso de recursos del sistema en la fase de resistencia y recuperación de las interrupciones [55].
- Las infraestructuras resilientes que están bien preparadas con una rápida entrada de recursos de emergencia pueden recuperarse rápidamente ante las interrupciones. Unos planes maduros de gestión de emergencias para diferentes interrupciones pueden mejorar eficazmente la rapidez del sistema en la fase de recuperación.
- Las infraestructuras resilientes con característica de ingenio pueden activar los recursos y servicios necesarios de forma más adecuada. Las soluciones medioambientales (véase el P3, Integración ambiental) con pleno uso de los recursos locales y renovables pueden hacer que las infraestructuras estén dotadas de más recursos sostenibles disponibles en la fase de recuperación y adaptación de las interrupciones.

ACCIONES CLAVE

P2.1 Elevar requisitos esenciales de seguridad

Planificar los sistemas de infraestructura para que tengan mayores requisitos de seguridad esenciales.

Raising essential safety requirements for iPlantear los requisitos esenciales de seguridad para los sistemas de infraestructuras en las fases de planificación y opciones garantizará que los diseños y las soluciones estén preparados para futuras amenazas (suponiendo que se cumpla la aplicación de las normas vigentes en función de los riesgos localizados y reconociendo que no siempre es así y que hay que tenerlo en cuenta). Los diseños de los nuevos sistemas de infraestructuras y sus actualizaciones deben ser pesimistas en cuanto al potencial de amenazas del ciclo de vida, dada la longevidad de la mayoría de los componentes de las infraestructuras y la mayor probabilidad de que surjan simultáneamente múltiples amenazas, como atentados, pandemias y cambio climático. Los diseños deben aplicar un enfoque holístico que combine los resultados de las pruebas de escenarios y pruebas de esfuerzo del P1, Aprendizaje continuo, con las necesidades nacionales y las circunstancias locales para aportar pruebas que garanticen la exhaustividad de los

requisitos de seguridad frente a las amenazas conocidos y potenciales. La adopción y la aplicación del cumplimiento de los códigos y normas de diseño específicos de cada lugar pueden servir para aumentar la seguridad de las infraestructuras frente a las amenazas pertinentes utilizando los materiales disponibles a escala local.

Pakistan Shelter Design es una guía para mejorar la resiliencia a las inundaciones. Desde 2010, las inundaciones extremas en el sur de Pakistán han afectado a 35 millones de personas, y han dañado o destruido 2,5 millones de hogares. En respuesta, la Organización Internacional para las Migraciones, como agencia nacional líder en materia de refugios en Pakistán, creó la guía de diseño de refugios basada en pruebas científicas, ensayos físicos, encuestas y análisis de expertos. La guía plantea los requisitos esenciales de seguridad de los diseños estructurales (como los cimientos, las paredes y los tejados) y proporciona herramientas de decisión para el diseño, incluidas las especificaciones de los materiales, las evaluaciones del riesgo y las directrices de asentamiento, cuyo objetivo es informar de las mejores prácticas en la planificación, el diseño y la construcción de refugios resilientes a las inundaciones en el sur de Pakistán [56].

P2.2 Superar los requisitos básicos de los componentes críticos

Aumentar las normas de diseño de los componentes críticos de la infraestructura nacional para superar los requisitos básicos de fiabilidad y durabilidad.

Es necesario diferenciar los componentes críticos dentro de los sistemas de infraestructura nacional y hacerlos más resilientes y preparados para futuras amenazas. Los componentes críticos desempeñan un papel vital en el funcionamiento de todo el sistema de infraestructuras. Elevar los estándares de diseño de los componentes críticos significa identificar un umbral más alto para los requisitos básicos de fiabilidad y durabilidad que el de los componentes estándar. No se trata de sobreconstrucción o sobrerregulación, sino de la preparación y del exceso de recursos ante futuros riesgos. La superación de los requisitos básicos de fiabilidad y durabilidad de los componentes críticos, en lugar de una mejora integral de las normas de todos los componentes, reconoce que se puede dar prioridad a los componentes críticos (y existen varios métodos para identificar los componentes críticos que tienen mayor efecto negativo en caso de su interrupción [57]). Esta inversión específica logrará una mayor fiabilidad y durabilidad del sistema, y ayudará a asumir las interrupciones y adaptarse a ellas, lo que puede retrasar eficazmente la degradación del rendimiento, reducir la probabilidad de fallos en cascada del sistema y mejorar la adaptabilidad a las amenazas a largo plazo utilizando el menor coste. También identificará los componentes críticos que deben mejorarse y modernizarse para mitigar los fallos críticos en la prestación de servicios o los fallos en cascada.

Compuestos para mejorar la fiabilidad y la durabilidad: La Asociación Americana de Constructores de Carreteras y Transportes descubrió que hay 46.000 puentes estructuralmente deficientes y otros 81.000 que deben sustituirse. Los materiales compuestos pueden desempeñar un papel fundamental en la rehabilitación de infraestructuras deterioradas para lograr un diseño resiliente. En 2020, se utilizaron tableros de polímero reforzado con fibra para rehabilitar dos pasos de peatones elevados

en Atlanta (Georgia, EE. UU.), y se sustituyó el pesado hormigón en mal estado. Los tableros compuestos, ligeros y sin mantenimiento, permitieron a los contratistas utilizar las cerchas de acero originales, y evitaron las grandes interrupciones y el tiempo de inactividad que habrían supuesto las mejoras de acero y hormigón. La vida útil de 100 años de los compuestos duraderos y resistentes a la corrosión es comparable a la vida útil de 25 años del hormigón reforzado con barras de acero [58].

P2.3 Considerar interdependencias complejas de las redes conectadas

Diseñar la infraestructura para evitar el riesgo de fallos en cascada y proporcionar un exceso de recursos utilizando interdependencias complejas.

Revisar las infraestructuras críticas y planificar de manera uniforme todas las infraestructuras para mitigar el riesgo de fallos en cascada derivados de interdependencias complejas. Cuando se disponga de redes alternativas, como la carretera y el ferrocarril, para suministrar los mismos servicios críticos o similares, proporcionan una resiliencia sistémica. Pero cuando diferentes redes, como las de energía y transporte están acopladas, la vulnerabilidad a los fallos puede aumentar. Las complejas interdependencias de las redes conectadas deben tenerse en cuenta en el (re)diseño de las nuevas inversiones en infraestructuras para reducir el riesgo de fallos en cascada y proporcionar exceso de recursos. Las interdependencias críticas, es decir, las que crean más interrupciones en caso de fallo, pueden ser foco de priorización e inversión.

Diseño mejorado de las infraestructuras teniendo en cuenta los efectos de las interdependencias: Durban (eThekweni), Sudáfrica, está llevando a cabo acciones de diseño de infraestructuras teniendo en cuenta las interdependencias de las infraestructuras para mitigar los riesgos de inundación del río de la ciudad. La ciudad está diseñando ahora sus infraestructuras de aguas pluviales y de drenaje como un sistema integrado y ha colaborado con la Universidad de KwaZulu-Natal, que ha proporcionado datos de modelos climáticos globales reducidos al nivel regional

y al de la cuenca hidrográfica de la ciudad. La universidad ha estimado un aumento del 15 % de las precipitaciones para 2065, un plazo que se está convirtiendo gradualmente en una norma de diseño para las infraestructuras. Cada vez que la ciudad recibe quejas de inundaciones o anegamientos, comprueba el mantenimiento y la capacidad de tiempo; allí donde encuentra carencias (generalmente en las zonas más antiguas de la ciudad), actualiza todos los sistemas interconectados y los diseña para el aumento de las precipitaciones [59].

P2.4 Incorporar la gestión de emergencias

Incorporar planes maduros de gestión de emergencias con suficiente apoyo financiero y una sólida gobernanza.

Los planes de gestión de emergencias deben diseñarse, probarse e implementarse con antelación para responder a las diferentes interrupciones y proporcionar el soporte y el envío de servicios críticos para satisfacer las necesidades humanas básicas. Esto incluye los desplazamientos a las zonas de desastres de los primeros intervinientes, así como el acceso a los datos y a los canales de comunicación. El diseño de los planes integrados de gestión de emergencias debe incluir pruebas periódicas y un proceso de actualización para lograr una optimización y adaptación continuas a las necesidades futuras.

Rediseño de los planes de gestión de emergencias teniendo en cuenta la pandemia: En medio del brote de COVID-19, la India experimentó dos grandes ciclones en mayo y junio de 2021. Teniendo en cuenta que el acoplamiento de los desastres de origen natural y las pandemias está mostrando una tendencia creciente en la India y la gestión de las demandas que compiten con un bloqueo con una evacuación es muy desafiante, los diseñadores de infraestructuras de transporte deben trabajar con los epidemiólogos para establecer más salidas y revisar los procedimientos operativos estándar de evacuación para realizar el traslado eficiente de las personas.

Mientras tanto, los diseñadores de infraestructuras alimentarias y de agua deberían rediseñar el acceso de los suministros de emergencia para mitigar el riesgo de infección cruzada en el contexto de las pandemias [60].

P2.5 Diseñar la infraestructura con seguridad ante los fallos

Diseñar la infraestructura de manera que, cuando falle, siga siendo segura.

El diseño de las infraestructuras para que sean seguras ante los fallos se centra en mantener las condiciones de seguridad durante los desastres y las interrupciones. La infraestructura segura ante los fallos acepta que puede haber circunstancias en las que la infraestructura ya no sea capaz de prestar los servicios para los que fue diseñada, pero garantiza que este fallo se produce de forma que la seguridad no se vea afectada. La continuación de los servicios básicos necesarios para mantener las condiciones de seguridad debe tener prioridad en caso de fallo. Un sistema que falle debe seguir ofreciendo un entorno de supervivencia. Para ello, se debe tener en cuenta el suministro de calor, agua y refugio, así como las rutas de evacuación y el acceso de los servicios de emergencia. Esta acción clave es un recordatorio de que los sistemas seguirán fallando a pesar de los esfuerzos proactivos, por lo que cuando fallen, deben hacerlo de forma segura.

Gestión de las inundaciones: En la década de 1960, la comunidad de Scottsdale (Arizona) y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército tenían opiniones divergentes sobre la mejor manera de gestionar las inundaciones en una zona en rápida urbanización a lo largo del Indian Bend Wash. El enfoque tradicional, defendido por el Cuerpo de Ejército, era convertir el arroyo en un canal revestido de hormigón. La comunidad de Scottsdale luchó con éxito contra el Cuerpo de Ejército para diseñar y construir un cinturón verde de 17,7 kilómetros de largo, compuesto por parques, estanques y campos de golf, que permite que el lavado se inunde sin dañar la propiedad circundante [61].

P2.6 Diseño para múltiples escalas

Diseñar para múltiples escalas para maximizar el valor de las inversiones en resiliencia.

Las soluciones de diseño preventivo y adaptativo para lograr la resiliencia deben abordarse a diferentes escalas de desastres, escalas geopolíticas (incluidas las infraestructuras individuales, las comunidades, las ciudades, los gobiernos locales y regionales y las escalas nacionales), y diferentes escalas temporales (desde la inmediata hasta la de largo plazo), para maximizar el valor de las inversiones en resiliencia.

Diseñar para la resiliencia a cualquier escala: El proyecto Resilient Houston tiene como objetivo vincular las infraestructuras existentes con otras nuevas a través de la integración de diferentes escalas del sistema y de tiempo, que trabajarán conjuntamente para proteger a Houston contra futuros desastres, desde huracanes hasta olas de calor extremas, y tensiones crónicas como el envejecimiento de las infraestructuras, la mala calidad del aire y las inundaciones. Resilient Houston está organizado a diferentes escalas, para animar a todos los habitantes de Houston a utilizar este marco para el diseño y la planificación de infraestructuras resilientes a todas las escalas. Este proyecto requiere que las nuevas infraestructuras diseñadas alcancen los siguientes objetivos a cinco escalas: habitantes de Houston preparados y prósperos, barrios seguros y equitativos, bahía sana y conectada, ciudad accesible y adaptable, y región innovadora e integrada [62].

P2.7 Compromiso de mantenimiento

Mejorar y comprometerse con el mantenimiento y las operaciones.

Desarrollar esquemas de gestión de activos de infraestructura a múltiples niveles, incluyendo un inventario de activos, condiciones de funcionamiento, así como todos los aspectos estratégicos, financieros y técnicos de la gestión a lo largo de su ciclo de vida, creará un compromiso con el mantenimiento. Combinar el mantenimiento rutinario (por ejemplo, de frecuencia anual) con el mantenimiento periódico (por ejemplo, cada 5 años) basado en la monitorización del estado mejorará la fiabilidad y prolongará la vida útil de las infraestructuras y proporcionará un mejor rendimiento a lo largo del tiempo.

Mantenimiento para reducir las fugas de agua: En 2005, la mayor ciudad de Vietnam, Ho Chi Minh, no tenía suficiente suministro de agua para satisfacer la demanda porque más del 40 % del agua producida se perdía en forma de fugas en las infraestructuras de agua. Para aumentar el suministro a los clientes, la empresa estatal de agua, Saigon Water Corporation, contrató a un contratista para el mantenimiento regular y la reparación de las fugas. Al cabo de seis años, se repararon más de 15.000 fugas y se ahorraron 122 millones de litros diarios de agua, lo que mejoró la fiabilidad del suministro y permitió la conexión de nuevos clientes al agua [63].

P2.8 Trazar inversiones a largo plazo

Planificar estratégicamente a largo plazo para que las inversiones estén protegidas de los desafíos a la resiliencia.

Para proteger las inversiones y poner a prueba la infraestructura frente a futuros desafíos de resiliencia, las partes interesadas deben concebir inversiones a largo plazo que incluyan estrategias para proteger las inversiones y evitar los impactos negativos de sus decisiones. Hoy en día es necesario pensar a largo plazo para proteger las inversiones durante la vida útil de los sistemas de infraestructuras [8]. Las estrategias y la formulación de opciones deben centrarse en las inversiones de bajo riesgo y en las posibilidades más seguras de obtener una alta rentabilidad, para atraer fondos del sector privado y apoyar los requisitos de las infraestructuras resilientes a lo largo de su ciclo de vida [22].

El Plan Nacional de Infraestructuras (PNI) garantizó que el Reino Unido dispusiera de una estrategia integrada para priorizar, financiar y ejecutar proyectos y programas críticos en los sectores clave de las infraestructuras económicas: transporte, energía, comunicaciones, defensa contra inundaciones, agua, residuos y ciencia. A través de las sucesivas actualizaciones que llevó a cabo el PNI, respondiendo a las opiniones de los inversores y de la cadena de suministro, se convirtió en un plan más maduro y eficaz para las infraestructuras del Reino Unido, sustentado en el National Infrastructure Pipeline. Además, el nuevo Plan Nacional de Suministro de Infraestructuras (NIDP) representa un nuevo hito que refleja un nuevo enfoque de la planificación de infraestructuras a largo plazo [64].

Principio 3 (P3)

Integración ambiental



El objetivo es trabajar de forma positivamente integrada con el entorno natural.

RESUMEN

El principio de integración ambiental destaca la importancia del entorno natural tanto para aportar soluciones a la resiliencia como para ser un riesgo para la prestación de servicios críticos. Las acciones clave tienen como objetivo minimizar el daño al entorno natural que ayuda a evitar los efectos

de rebote, para proporcionar la infraestructura verde y azul que trabaja con la infraestructura gris, para apoyar la toma de decisiones utilizando la información de los ecosistemas, y para reducir las amenazas que plantea el entorno natural, como la caída de árboles sobre las líneas eléctricas.

ANTECEDENTES

Este principio reconoce la importancia de trabajar de forma proactiva y positivamente integrada con el entorno natural: biológico (flora y fauna) y físico (tierra, aire, agua). El compromiso con el entorno social se aborda en el principio P4, al tiempo que se reconoce que algunos peligros del entorno natural son creados por la sociedad. El principio P3 reconoce las consecuencias de la degradación del medio ambiente, algunas de las cuales son causadas por la propia infraestructura crítica, en el aumento de la vulnerabilidad a las amenazas de origen natural, como los fenómenos meteorológicos extremos. Esto incluye el cambio climático, al que las infraestructuras críticas contribuyen e intentan reducir. Además, las consecuencias de tener una infraestructura gris pueden conducir a mayores necesidades de inversión en el entorno natural.

La integración ambiental también pretende identificar las oportunidades de trabajar con el entorno natural de forma positiva, como la plantación de árboles para reducir la velocidad de propagación del agua de las inundaciones y proteger las infraestructuras críticas. La integración con el entorno natural para emplear el capital natural en favor de la construcción de infraestructuras grises debe añadir valor a los ecosistemas naturales y no perjudicarlos. El entorno natural ofrece una forma de transformar la resiliencia de los servicios críticos.

DEFINICIONES

- El capital natural consiste en los valores y beneficios producidos por los entornos naturales [65]; el capital natural es la tierra, el aire, el agua, los organismos vivos y todas las formaciones de la biosfera que producen un flujo de bienes o servicios ecosistémicos valiosos [66].
- Los servicios de los ecosistemas son los beneficios de la naturaleza para los hogares, las comunidades y las economías [67]; implican las condiciones y los procesos a través de los cuales los sistemas ecológicos, y las especies que los componen, sostienen y realizan la vida humana [68].

GANANCIAS NETAS DE RESILIENCIA

- La fiabilidad se mejora mediante el uso de infraestructuras verdes y azules para proporcionar beneficios a los ecosistemas. Despreciar el capital natural puede aumentar el riesgo de daños ambientales irreversibles.
- Reducir el riesgo de daños medioambientales minimizando el efecto de los proyectos de infraestructuras en el ecosistema para reducir los efectos de rebote que repercuten en la prestación de servicios de infraestructuras.

ACCIONES CLAVE

P3.1 Reducir el impacto medioambiental

Reducir al mínimo los efectos nocivos de los proyectos y operaciones de infraestructura en los ecosistemas para reducir el impacto en el entorno natural.

Si se minimiza el efecto de los proyectos y operaciones de infraestructura sobre el ecosistema, se reducirá el riesgo de que se produzca un impacto perjudicial en el entorno natural. Los sistemas de infraestructuras pueden provocar cambios en el

entorno natural con impactos negativos a largo plazo de manera que se altere la probabilidad y la magnitud de los eventos de amenazas como la contaminación y el cambio climático. La alteración de las características del entorno construido y natural cambia los perfiles de riesgo futuros, la probabilidad y la magnitud de los eventos de peligro, y la vulnerabilidad de la sociedad a esas amenazas. La resiliencia de los sistemas de infraestructuras puede verse disminuida por los efectos acumulativos redirigidos de las amenazas que regresan a las infraestructuras.

Así, la minimización del impacto ambiental sirve también para proteger las infraestructuras de las amenazas del entorno natural.

Emissiones de gases de efecto invernadero: El informe *Infrastructure for Climate Action* (Infraestructura para la acción climática) analiza en detalle la influencia de las infraestructuras en la acción climática en los sectores de la energía, el transporte, el agua, los residuos sólidos, las comunicaciones digitales y los edificios. Las conclusiones destacan que las infraestructuras son responsables del 79 % de todas las emisiones de gases de efecto invernadero, así como del 88 % de todos los costes de adaptación [69]. Dado que las emisiones de gases de efecto invernadero pasadas, presentes y futuras influirán en el clima durante décadas, las infraestructuras deben actuar para garantizar que pueden hacer frente al aumento de las temperaturas, al cambio de los patrones de lluvia y la subida del nivel del mar, al posible aumento de los fenómenos meteorológicos extremos, como tormentas, inundaciones y sequías, y al posible cambio de los patrones de demanda [70]. En el invierno de 2011, el Reino Unido sufrió interrupciones por la nieve en las redes de transporte que costaron al país más de 600 millones de libras al día. Se necesitan cambios radicales en el modo de planificar, suministrar y gestionar las infraestructuras para adecuarlas a un futuro bajo en emisiones y resiliente, y frenar los peores efectos del cambio climático.

Inundaciones: La formación de caminos forestales puede aumentar las inundaciones al crear trayectorias preferenciales de flujo superficial. Además, los efectos de la deforestación para desarrollar más caminos forestales indirectos pueden incluir el aumento de la escorrentía superficial en los caminos forestales y el aumento de la erosión del suelo, y el desarrollo de cárcavas, lo que puede potenciar las inundaciones en terrenos escarpados y el aumento de la acumulación de nieve y, por tanto, del deshielo en las regiones deforestadas [71]. Sin embargo, la preservación de las cuencas hidrográficas aguas arriba puede mitigar el riesgo de inundación, así como reducir el riesgo de lavado de las carreteras, y garantizar una vegetación bien anclada por encima de las carreteras puede reducir los riesgos de desprendimiento [72]. Por ejemplo, el establecimiento de plantaciones de árboles

apropiados entre las carreteras y los ríos en torno a los grandes ríos camboyanos, o en cinturones en el lado del río de las carreteras, siempre que exista el peligro de que los ríos acaben por acercarse a las carreteras, es una estrategia lógica a largo plazo [73]. Otro ejemplo es la mala ubicación de una fábrica de fundición de aluminio entre dos ríos, el Takahashi y el Shimpon. Esta ubicación suponía un riesgo de inundación para la fábrica que se produjo en 2018, lo que provocó la explosión de la fábrica, de otra fábrica cercana y de las casas vecinas [74].

P3.2 Utilizar soluciones medioambientales

Incorporar soluciones medioambientales para proporcionar la mejor combinación de infraestructuras grises, verdes y azules.

Las soluciones de infraestructura que implican trabajar con el capital natural para abordar los retos de la sociedad proporcionan beneficios tanto para el bienestar humano como para la biodiversidad, así como para la resiliencia de los sistemas de infraestructura. La incorporación de mecanismos procedentes del medio ambiente, como los servicios de los ecosistemas y las soluciones basadas en la naturaleza para la reducción del riesgo de desastres [75] apoyará la resiliencia de los sistemas de infraestructura al aumentar su protección contra las amenazas y su sustituibilidad funcional [8]. Cualquier integración con el medio ambiente debe garantizar su protección y restaurar los ecosistemas naturales y modificados siempre que sea posible. La combinación de infraestructuras verde y azules, como los arrecifes de coral y los manglares, con infraestructuras grises puede proporcionar sistemas de infraestructuras de menor coste, más resilientes y más sostenibles [44].

Techos verdes y arrecifes de coral: La implantación de tejados verdes [76] no solo aumenta la longevidad del tejado porque la membrana está protegida de las condiciones meteorológicas por la capa de suelo, sino que también tiene un impacto directo en la mejora de la calidad del aire y el ahorro de energía [77]. La presencia de arrecifes de coral, que son uno de los ecosistemas más biodiversos de la Tierra, reduce a la mitad el riesgo de daños por inundaciones y divide por tres los costes derivados de las tormentas frecuentes [78]. Los ahorros previstos fueron mayores para Indonesia (639 millones de dólares); Filipinas (590 millones);

Malasia (452 millones); México (452 millones); Cuba (401 millones de dólares); y Estados Unidos (94 millones de dólares), un ahorro combinado de más de 2.600 millones de dólares para esos seis países [79].

Además de los beneficios económicos, medioambientales y técnicos, ofrecer soluciones basadas en la naturaleza en un paisaje más amplio puede impulsar importantes servicios de los ecosistemas para las sociedades, como el suministro de agua y aire limpios, la producción de alimentos y el turismo y el ocio basados en la naturaleza [72]. El gobierno de Seychelles se ha estado moviendo para mejorar la resiliencia a lo largo de sus costas y un paso significativo en esta dirección fue la aprobación del Plan Nacional de Gestión Costera (CMP) en 2019. El CMP propone la gestión y la rehabilitación de los arrecifes de coral en 5 de las 18 áreas prioritarias, junto con otras soluciones basadas en la naturaleza e infraestructuras grises (como presas, muros de contención, carreteras, tuberías o plantas de tratamiento de agua) para reducir la vulnerabilidad a las inundaciones y a la erosión, al tiempo que se mantiene la belleza del litoral. Y en la mayoría de los lugares, la restauración del coral se combina con estructuras artificiales para ofrecer una importante protección costera. Las barreras azules implican la construcción de una estructura sumergida con materiales naturales no tóxicos que pueden servir de sustrato estable y duro para la colonización de los corales, apoyando su recuperación y el desarrollo de comunidades bentónicas más biodiversas. Los enfoques basados en la naturaleza que combinan la ingeniería con la rehabilitación de los sistemas de arrecifes de coral representan una nueva marea de innovación para aumentar la resiliencia de las costas al tiempo que se protege el capital natural y se impulsa la economía, especialmente en los pequeños estados insulares en desarrollo, que se encuentran entre los más vulnerables a escala mundial a los desastres de origen natural y al cambio climático [80].

Diseño con espacios verdes para la resiliencia climática: El asentamiento informal de Mukuru, en Nairobi (Kenia), sufre el aumento de las temperaturas y las inundaciones debido a sus propiedades superficiales y su proximidad al río Ngong, propenso a las inundaciones. El diseño de refugios e infraestructuras más frescas con la provisión de espacios verdes (por ejemplo, la plantación de árboles) no solo reduce la exposición

a las altas temperaturas debido a los efectos refrescantes de la vegetación y la sombra, sino también la exposición a las inundaciones, ya que los espacios verdes permiten la infiltración y ralentizan la escorrentía, además de retener el exceso de agua [81].

P3.3 Integrar la información sobre ecosistemas

Integrar la información sobre los ecosistemas en los procesos de toma de decisiones para evitar las amenazas del entorno natural.

La integración de la información sobre los ecosistemas en los procesos de toma de decisiones es necesaria para mitigar los riesgos y conflictos entre los entornos naturales y los construidos en el lugar del proyecto y sus alrededores. La inclusión de información sobre los ecosistemas en la toma de decisiones ayuda a mitigar las pérdidas de desarrollo derivadas del desconocimiento de la funcionalidad de los ecosistemas, así como a reducir la probabilidad de que las inversiones en infraestructuras causen grandes pérdidas en los ecosistemas a cambio de pequeñas ganancias de desarrollo. Proporcionar información sobre los ecosistemas facilita la selección de proyectos con menos conflictos relacionados y más sinergias entre sectores [72].

Espacios verdes urbanos de Copenhague: La información sobre los ecosistemas, concretamente la información geográfica voluntaria (VGI) a través de las redes sociales, puede usarse para documentar las tendencias espaciales relativas a los usos y percepciones de la naturaleza urbana por parte de los ciudadanos, con relevancia para la gobernanza de los espacios verdes urbanos. El propósito de la información sobre ecosistemas es apoyar las situaciones accesibles, transparentes, democráticas, inclusivas y localmente basadas en la gobernanza de interés para planificadores, ciudadanos, políticos y científicos. En 2014, la ciudad de Copenhague recopiló datos consistentes en imágenes georreferenciadas de Instagram, clasificadas según su contenido y analizadas según sus patrones de distribución espacial. Los resultados apoyan la interacción científica y democrática, pero los datos de VGI se enfrentan a problemas prácticos, técnicos y éticos.

P3.4 Mantener el entorno natural

Mantener de forma proactiva el entorno natural alrededor de las ubicaciones de las infraestructuras para reducir la exposición a las vulnerabilidades.

La gestión proactiva del entorno natural (vegetación excesiva, riesgo de inundación, etc.) en los emplazamientos de las infraestructuras y sus alrededores reducirá la exposición a las vulnerabilidades [8] y acercará el entorno natural a su estado inicial. También puede ayudar a mejorar la biodiversidad y la ganancia medioambiental neta, lo que supone un enfoque en el que todos ganan para mitigar las consecuencias de la infraestructura gris, que podría dar lugar a mayores necesidades de inversión en el entorno natural. La gestión y el mantenimiento del entorno natural circundante es una opción que no tiene desperdicio para aumentar la resiliencia de los activos de infraestructura [8].

Vegetación natural: Un buen mantenimiento de la vegetación a cada lado de las líneas de transmisión eléctrica es fundamental para reducir la vulnerabilidad a los fuertes vientos, ya que la vegetación es la principal causa de los daños en los postes, no los fuertes vientos en sí. Por lo tanto, reforzar los postes es menos eficiente que podar los árboles. En septiembre de 2017, los huracanes Irma y María dañaron gravemente la red eléctrica de Puerto Rico, en gran parte debido a la caída de árboles sobre las líneas de transmisión. Como resultado, el 100 % de los clientes de la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico se quedaron sin electricidad durante más de una semana después de la tormenta, y el lento ritmo de recuperación dejó a muchos clientes a oscuras durante varios meses [82]. Además de la poda de árboles, algunas empresas de servicios públicos de Estados Unidos están fomentando la vegetación autóctona de bajo crecimiento.

Así, esta gestión de la vegetación supone un menor coste para las empresas de servicios públicos, una mayor resiliencia a los daños y puede crear una red de corredores de fauna bajo las líneas de transmisión [83].

Incendios forestales: Las líneas de transmisión y distribución de electricidad pueden desencadenar incendios forestales que lo dañan todo, incluidas las infraestructuras. En California, en 2007, San Diego Gas and Electric se declaró responsable de 2.000 millones de dólares por los daños causados por tres incendios que provocaron dos muertes y la destrucción de 1.300 viviendas [84]. Crear infraestructuras más seguras y realizar un buen mantenimiento del entorno natural, como el mantenimiento de los bosques, pueden prevenir este tipo de peligro [8]. El otro ejemplo es la rotura de una presa en Zimbabue en 2014. El distrito de Chivi, de donde proceden las comunidades de Tokwe-Mukosi, recibe una precipitación media anual de 400 mm normalmente, pero entre enero y marzo de 2014, recibió 850 mm de lluvia. Mientras se llevaban a cabo algunas labores de reasentamiento, las incesantes lluvias rompieron los muros de la presa en construcción, y provocaron la mayor liberación de agua por fallo en el mundo e inundaron a 5793 familias aguas arriba y aguas abajo [85], [86]. El fallo de los diques por inundación durante la construcción suele pasarse por alto, pero ha sido y sigue siendo un riesgo muy grave. Los fallos se han relacionado con retrasos en la construcción y han ocurrido cuando el embalse estaba bastante lleno [86].

P3.5 Utilizar recursos locales sostenibles

Utilizar recursos locales y sostenibles para evitar los riesgos de los recursos lejanos y no renovables.

La disponibilidad y sostenibilidad de los recursos necesarios para el funcionamiento de las infraestructuras se mejora mediante una estrategia de diseño resiliente que prefiere el uso de recursos locales y sostenibles. Los recursos, especialmente de origen único, no renovables y distantes, se ven fácilmente afectados por las perturbaciones. Deben elegirse recursos locales sostenibles y abundantes (como la energía solar, las aguas subterráneas que se reponen anualmente y los alimentos y materiales locales).

Energía sostenible y local: El proyecto Green Village Electricity es un plan de electrificación rural diseñado para suministrar energía limpia y fiable a escala local a las comunidades rurales sin red en Nigeria. Las minirredes solares fotovoltaicas autónomas ofrecen hoy en día una solución sostenible y resiliente como única fuente de generación o en configuración híbrida con otras fuentes de generación [87].

Principio 4 (P4)

Compromiso social



El objetivo es desarrollar el compromiso activo, la implicación y la participación en todos los niveles de la sociedad.

RESUMEN

El principio de compromiso social tiene como objetivo comprometerse activamente con las personas y las comunidades para que comprendan mejor cómo pueden ayudar a prevenir las interrupciones y responder a ellas. Las partes interesadas en las infraestructuras, en particular los gobiernos locales y regionales y las empresas privadas que mantienen estas relaciones, crearán una mejor

información sobre las interrupciones; aumentarán los conocimientos del público sobre la resiliencia; comunicarán los incentivos para reducir la demanda, especialmente en situaciones de interrupción; y fomentarán la participación de la comunidad y un sentido de la propiedad en la planificación y el desarrollo de la infraestructura y en evitar los daños intencionados y los robos.

ANTECEDENTES

El principio de compromiso social pretende apoyar de manera activa a las personas y comunidades para que contribuyan a la resiliencia de las infraestructuras. La resiliencia de la comunidad en el caso de las interrupciones (incluidas las interrupciones de los servicios críticos) queda fuera del ámbito de estos principios, ya que está cubierto por las contingencias civiles y otras orientaciones de resiliencia de la comunidad.

La responsabilidad social es cada vez más importante como mecanismo alternativo para prevenir y responder a los fallos del sistema [88]. Ser socialmente responsable depende de que los actores de la infraestructura aumenten su conciencia social, asuman un papel más activo y mejoren las habilidades de autogestión, lo que se traduce en una mayor conciencia de cómo nuestras decisiones y acciones pueden afectar a todo el sistema [89]. Los sistemas de infraestructuras son sistemas

sociotécnicos que se enfrentan a desafíos que pueden ser abordados mediante la mejora de la responsabilidad social para hacer sistemas más resilientes.

Esto incluye aspectos de concienciación, activismo e incentivación de las personas para todos los problemas [90]. Pero lo esencial para el compromiso de las partes interesadas es la confianza, que debe desarrollarse a lo largo del tiempo y reforzarse estableciendo y cumpliendo las expectativas de los usuarios de los servicios críticos.

Las partes interesadas en las infraestructuras (en particular la administración local y regional, las pequeñas y medianas empresas, las empresas de construcción) con responsabilidades para el compromiso con los usuarios de los servicios críticos y las comunidades deben desarrollar la confianza y trabajar para aumentar la conciencia, la comprensión,

la corresponsabilidad y la participación de la sociedad para mejorar la resiliencia de las infraestructuras.

Los usuarios de los servicios críticos y las comunidades pueden aportar la experiencia local y los conocimientos autóctonos a la planificación y el desarrollo de las infraestructuras; pueden responder más eficazmente a las solicitudes de reducción o aplazamiento de la demanda, y pueden ser un apoyo durante las interrupciones y los desastres. Las pruebas de los mecanismos de participación del sector privado con la comunidad en los proyectos de construcción de infraestructuras [91] son solo un ejemplo.

Se puede lograr una mayor comprensión a través del compromiso social de la necesidad de las comunidades de contar con alternativas más resilientes y una mayor disposición, según sea necesario, a pagar más (por ejemplo, a través de los impuestos, cuando sea pertinente) por una infraestructura resiliente. El apoyo de una comunidad a la resiliencia de sus servicios críticos puede dar lugar al florecimiento humano, que es el propósito fundamental de las infraestructuras [92].

DEFINICIONES

- La responsabilidad social es la noción ideológica de que los individuos y las organizaciones no deben comportarse de forma poco ética o funcionar de forma amoral, y deben aspirar a contribuir deliberadamente al bienestar de la sociedad o sociedades, compuestas por diversas comunidades y partes interesadas, en las que operan y con las que interactúan [93].
- Los sistemas sociotécnicos son un enfoque que tiene en cuenta los factores humanos, sociales y organizativos, así como los factores técnicos en el diseño de los sistemas organizativos [94]; aplican una comprensión de las estructuras sociales, los roles y los derechos de las ciencias sociales para informar el diseño de sistemas que implican a comunidades de personas y tecnología [95].
- Los usuarios de los servicios críticos son personas, empresas, industrias, gobiernos y organizaciones que se benefician de los productos y servicios proporcionados por la infraestructura nacional, normalmente a cambio de una cuota [96]. Evitamos el uso de la terminología del consumidor y la mercantilización de las infraestructuras porque los servicios de las infraestructuras críticas son una clase única de bienes que deben estar disponibles y ser accesibles para todos, incluidas las personas con discapacidades y deficiencias.

GANANCIAS NETAS DE RESILIENCIA

- Proporcionar apoyo público a la resiliencia de las infraestructuras a lo largo de todo su ciclo de vida..
- Garantizar el conocimiento y la aceptación por parte del público de los avances técnicos y los planes de transición.
- Difundir el sentido de pertenencia y la confianza entre las personas para que estén más dispuestas a participar en la respuesta a la demanda, especialmente durante las interrupciones y los desastres.
- Una comunidad sana y rica, apoyada por una infraestructura resiliente, exigirá mejoras continuas en la capacidad de recuperación para satisfacer sus necesidades cambiantes.

ACCIONES CLAVE

P4.1 Informar a las personas sobre las interrupciones

Informar a las personas sobre las interrupciones próximas o en curso para reducir la presión sobre la prestación de servicios críticos.

Es esencial informar a los usuarios de los servicios críticos sobre las interrupciones próximas o en curso para reducir la presión sobre los sistemas operativos. La mayoría de los usuarios de servicios críticos son poco conscientes de las consecuencias de su comportamiento de consumo de los servicios críticos. Esto es especialmente cierto durante las interrupciones y los desastres con desajustes de la demanda y la oferta, en los que los usuarios de los servicios críticos no saben si su comportamiento de consumo desafía el funcionamiento resiliente de los sistemas de infraestructura. Así pues, la responsabilidad activa de hacer coincidir la demanda y el suministro se asigna a los operadores y los usuarios de los servicios críticos no desempeñan ningún papel en el mantenimiento del funcionamiento resiliente de las infraestructuras [38]. En este sentido, tanto el gobierno local y regional como el sector privado deben estar informados e involucrarse para tomar las acciones necesarias para informar a los usuarios de los servicios críticos, gestionar las interrupciones y los desastres, proporcionar información sobre los cambios en los niveles de servicio (antes y después del desastre). Las decisiones conjuntas con la comunidad son importantes para entender los apetitos de riesgo y aplicar una gestión integral de este, de modo que los niveles de servicio base de las inversiones se basen en expectativas realistas.

Tras el paso del huracán Isaac por Luisiana en agosto de 2012, se produjo una demanda sin precedentes de interacción con los clientes, junto con el reto físico de restablecer el servicio. Por primera vez durante un acontecimiento importante, Entergy, la compañía eléctrica, interactuó con el público a través de las redes sociales, comunicándose con más de 32.000 clientes. Se registraron más de un millón de visitas en el sitio web de la empresa. Las comunicaciones tradicionales también fueron muy utilizadas, con más de un millón de llamadas de clientes y casi

1,4 millones de mensajes de texto a clientes durante la tormenta [97]. En caso de desastre, las redes sociales son «hábitats digitales» donde los usuarios se reúnen para obtener información y recursos [98]. Un estudio de caso sobre las inundaciones de Tailandia de 2011 descubrió que la gente tendía a utilizar las redes sociales porque otras fuentes de información, como los principales medios de comunicación y los periodistas, no proporcionaban información actualizada o necesaria [99].

P4.2 Aumentar la alfabetización en materia de resiliencia

Educar al público con la información necesaria sobre la resiliencia para crear personas bien informadas y comprometidas.

El desarrollo de la alfabetización en materia de resiliencia, mediante la educación del público, incluidos los futuros clientes de los servicios críticos, y el intercambio de información, mejorará el diálogo bidireccional entre el público y las partes interesadas en las infraestructuras y creará una mayor empatía con los planes y las intervenciones en torno a la resiliencia, así como con los motivos que los sustentan. Las personas bien informadas reconocen la necesidad de los avances técnicos y apoyan los planes de transición hacia la renovación, la modernización y la inteligencia. Además, la emoción pública de una comunidad consciente de la resiliencia puede crear una palanca para los cambios necesarios. La educación a través del desarrollo de la alfabetización y las habilidades técnicas de los ciudadanos es el factor más importante que influye en la resiliencia [100]. Esta acción clave implicará a los proveedores de educación, que deberán ser informados por las partes interesadas sobre la resiliencia de las infraestructuras.

Tecnologías de energía solar en América: La inclusión de los propietarios de viviendas es necesaria para que las redes solares distribuidas basadas en cadenas de bloques y el almacenamiento de baterías sean viables en Puerto Rico como respaldo para los cortes

de energía después de los huracanes [101]. Sin embargo, esto requiere una mayor comprensión y aceptación cultural de las nuevas tecnologías entre la población local. Un estudio similar realizado en Santiago de Chile [102] hizo hincapié en aumentar el conocimiento de los clientes sobre las tecnologías y los servicios como uno de los factores críticos que afectan a la adopción por parte de la sociedad de las tecnologías solares fotovoltaicas domésticas.

Sin código, no hay confianza: la Alianza Federal para la Seguridad de las Viviendas (FLASH) ha creado una herramienta para facilitar la comprensión de los códigos de construcción. La iniciativa «Sin código no hay confianza» de la alianza sin ánimo de lucro facilita la búsqueda del estado del código residencial local a cualquiera que desee más información [103]. FLASH descubrió que dos tercios de los participantes declararon que estarían muy o extremadamente preocupados si supieran que no tenían ningún código, y utilizaron palabras como «aterrorizado» para describir la situación. La nueva concienciación sobre este tema ha llevado a los líderes estatales a proponer la adopción en todo el estado del Código Residencial Internacional (IRC) [104].

P4.3 Incentivar el comportamiento de la demanda

Incentivar a las personas para que reduzcan la demanda con el fin de reducir la presión sobre la prestación de servicios críticos.

Incentivar los comportamientos de los usuarios de los servicios críticos proporciona la capacidad de realizar ajustes en el comportamiento de consumo para reducir la demanda y proporcionar una respuesta a esta. La forma más habitual de motivar a las personas para que participen en las medidas destinadas a mejorar la resiliencia de las infraestructuras se basa en los beneficios monetarios. Los ejemplos más destacados de este tipo de enfoques son la tarificación en tiempo real, las tarifas por tiempo de uso y la tarificación de picos críticos, en la que los usuarios de servicios críticos pueden ahorrar dinero ajustando los puntos de uso en horas no pico cuando consumen energía o servicios de transporte [38]. La idea del transporte responsable reconoce la importancia

del comportamiento individual y la responsabilidad colectiva de proteger la salud personal y pública durante la crisis de la covid a la hora de elaborar políticas de infraestructuras de transporte [105]. También existen enfoques de recompensa social que actúan sobre la base de valores morales e intrínsecos, el sentido del logro y el sentido de la comparación. El sector privado, como las empresas de servicios públicos, así como las autoridades públicas, pueden implicarse para llevar a cabo las acciones necesarias, pero necesitarán información de las partes interesadas en la infraestructura. Los reguladores de los servicios críticos también tienen un papel que desempeñar para equilibrar la demanda de servicios críticos por parte de la comunidad con la resiliencia de las infraestructuras.

Los planes de precios dinámicos tienen el poder de ajustar el comportamiento del consumo de energía en los hogares. Requieren notificaciones oportunas de los cambios de precios, pero a menudo el éxito del sistema de precios depende también de otros factores, como que los usuarios finales se comprometan con ellos [106]. Proporcionar datos e información a los usuarios de la red eléctrica de forma comprensible para ellos puede derivar en acciones que apoyen tanto sus propios intereses como la resiliencia general de la red [38]. En Chile, las subvenciones son un pilar importante para el éxito de la adaptación de los hogares, financiando la instalación inicial de paneles solares fotovoltaicos [102].

La comprensión pública de la importancia de la seguridad energética ayudó a evitar los cortes de electricidad tras un terremoto en Japón en marzo de 2022. Los usuarios de energía japoneses apagaron los carteles de neón, atenuaron las luces y bajaron los termostatos después de que el gobierno hiciera un llamamiento urgente para ahorrar energía y evitar apagones tras los terremotos que provocaron una grave escasez de electricidad [107].

En África, con la reciente reducción sustancial de los costes, la energía solar fotovoltaica (FV) ofrece una forma rápida y rentable de suministrar electricidad a escala de red y servicios energéticos modernos a los aproximadamente 600 millones de africanos que carecen de acceso a la electricidad. Con la caída de los costes de la energía solar

fotovoltaica, las minirredes fotovoltaicas ofrecen importantes oportunidades económicas hoy en día, ya sea como única fuente de generación o en configuración híbrida con otras fuentes de generación. Las minirredes solares fotovoltaicas independientes o las minirredes solares híbridas tienen unos costes de instalación en África que oscilan entre los 1,9 y los 5,9 USD/W para los sistemas de más de 200 kW, que tenían unos costes más elevados en 2012 y anteriormente [108].

P4.4 Fomentar la participación de la comunidad

Fomentar la participación de la comunidad para crear una responsabilidad compartida en materia de infraestructuras.

La toma de decisiones inclusiva con las comunidades y la participación monetaria y no monetaria de las personas puede aumentar el sentido de pertenencia, propiedad y confianza. La participación temprana de las personas y el trabajo hacia la corresponsabilidad a lo largo del ciclo de vida de la infraestructura —desde el diseño y la selección de opciones hasta la puesta fuera de servicio y las acciones y expectativas posteriores al desastre— pueden ofrecer oportunidades para abordar la confianza a través del compromiso basado en el lugar y las medidas específicas para mejorar la inclusión y la accesibilidad y mejorar la resiliencia de los sistemas de infraestructura. La participación de la comunidad también puede mitigar el vandalismo, los daños [109] y los robos [110] [111], así como otros comportamientos indeseables que ponen en peligro la resiliencia de las infraestructuras.

Las relaciones con la población y la comunidad suelen ser a menudo gestionadas por la administración local y regional y el sector privado (por ejemplo, retirada de residuos, facturación de servicios públicos), que deben colaborar con los operadores de infraestructuras, los contratistas y el gobierno nacional para lograr una buena intermediación con las comunidades. Obsérvese que en el apartado P5.5 se considera la necesidad de permanecer atentos a la sensibilidad y

confidencialidad de la información que se comparte con el público. Por el contrario, el público puede desear sus datos sobre la infraestructura nacional y sus datos pueden incluso recopilarse sin el consentimiento explícito (por ejemplo, mediante un circuito cerrado de televisión o sensores urbanos). Cualquier dato personal o sensible debe protegerse de acuerdo con la legislación nacional.

El Programa de Caminos Rurales de Perú (conocido como PCR) es un ejemplo de cómo la participación comunitaria en un programa de caminos rurales a gran escala puede contribuir al transporte rural, al desarrollo económico local y a la gobernanza local. El PCR se inició en 1995 bajo una agencia central del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Provias Descentralizado) para apoyar la descentralización de la gestión de los caminos rurales a los gobiernos locales. La primera fase se centró en la rehabilitación y el mantenimiento de caminos rurales en los 12 departamentos más pobres del país, que representan alrededor del 70 % de la población rural de Perú. En 2008, el programa se amplió para cubrir todo el país. Las comunidades y sus representantes locales identifican y priorizan las carreteras que deben rehabilitarse y mantenerse, y proporcionan información precisa sobre qué rutas de transporte son importantes para las comunidades; entonces, las comunidades, organizadas en microempresas, llevan a cabo el mantenimiento de los caminos rurales. La participación comunitaria genera apropiación y garantiza el mantenimiento sostenible (y, por consiguiente, el acceso) de los caminos rurales, ya que las comunidades que utilizan y viven cerca de los caminos tienen un interés directo en su mantenimiento [112].

En Zambia, en la empresa Nkana Water and Sewerage Company, se ha diseñado un enfoque integrado para reducir el vandalismo en comunidades de bajos ingresos. Aumentaron el sentido de propiedad de la comunidad al introducir una contribución financiera justa a los costes de construcción, lo que provocó el cambio de comportamiento deseado [113].

Principio 5 (P5)

Responsabilidad compartida



El objetivo es compartir información y conocimientos especializados para obtener beneficios coordinados.

RESUMEN

La responsabilidad compartida consiste en que las partes interesadas en las infraestructuras asuman la responsabilidad compartida de la resiliencia de estas, compartiendo información y conocimientos especializados para obtener beneficios coordinados. Esto incluye la participación de las partes interesadas en la infraestructura social. Las acciones clave crearán transparencia y conocimientos para las organizaciones con interdependencias comunes a través de: el uso compartido de información utilizando normas y prácticas comunes; la cultivación de la colaboración, incluso con organizaciones

técnicas y financieras, a través de mecanismos de gobernanza apropiados; el establecimiento de responsabilidades compartidas mediante la claridad de las funciones y las responsabilidades; la aplicación de mecanismos y plataformas para compartir; la garantía de que los datos compartidos sobre resiliencia son seguros y fiables; y la colaboración en la información sobre riesgos y rendimientos.

ANTECEDENTES

Para abandonar el tradicional enfoque sectorial de la gestión, hay que fomentar la colaboración para compartir datos, conocimientos y experiencia.

Las organizaciones con interdependencias comunes deben ser capaces de compartir datos de manera estandarizada y generar conocimientos compartidos sobre cómo gestionar las amenazas comunes. El conocimiento compartido a través de los límites del sector también puede ser en forma de habilidades y experiencia humana. Para facilitar el intercambio de información sobre resiliencia, es importante establecer un alto nivel de conocimientos sobre resiliencia entre todas las partes interesadas

(no solo para el P4.2). Un enfoque cooperativo de la gestión y la planificación, incluida la cooperación técnica y la financiación, genera de diversos conocimientos y experiencias, y aporta tanto confianza como conocimiento. La designación clara de funciones y responsabilidades permite un enfoque claro y coordinado de la gestión de la resiliencia de las infraestructuras, al tiempo que garantiza la transparencia y la responsabilidad.

El intercambio de información facilita el aprendizaje de los errores y la preparación de una respuesta coordinada ante las amenazas o vulnerabilidades compartidos.

Un enfoque compartido de la resiliencia debe implicar esfuerzos internacionales e intersectoriales, teniendo en cuenta las complejas interdependencias entre los sistemas que mitigarán los riesgos para la prestación de servicios críticos. El P5 está alineado con la visión del ODS17 [114] para «revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible», y su ambición de un comercio mejor

y más equitativo, así como iniciativas de inversión coordinadas, dadas las interdependencias globales de las infraestructuras. Esto significa aprovechar las sólidas relaciones y las consecuencias para la resiliencia de la infraestructura social (salud, educación, servicio de bomberos, sector financiero, industria de suministro de alimentos, etc.) y la resiliencia de la comunidad.

GANANCIAS NETAS DE RESILIENCIA

- El intercambio de información desarrolla modelos de resiliencia más precisos y permite reducir la frecuencia, la duración y el impacto de las interrupciones [115].
- Un enfoque de colaboración con responsabilidades y rendiciones de cuentas definidas permite la identificación temprana de posibles amenazas y facilita una respuesta oportuna a las interrupciones.
- El compromiso aumentará la diversidad en la planificación de la resiliencia, desarrollando soluciones más sólidas.

DEFINICIONES

- La gobernanza de varios niveles describe un sistema de negociación continua entre gobiernos anidados en varios niveles territoriales (local, regional, nacional, internacional, etc.) [116], [117].
- La gobernanza policéntrica es un sistema en el que múltiples órganos de gobierno trabajan juntos para crear y hacer cumplir las normas dentro de un sector o lugar específico [118]; esto contrasta con la gobernanza de varios niveles que ha sido eficaz en el diálogo de varios niveles para definir las prioridades de inversión para el desarrollo regional [119]. La gobernanza policéntrica es menos jerárquica que la gobernanza de varios niveles, con muchos centros independientes de toma de decisiones que interactúan dentro de los niveles jurisdiccionales y entre ellos [120]. Los gobiernos locales y regionales, más que los organismos nacionales, pueden asumir un papel más importante en el desarrollo y la aplicación de las políticas de resiliencia en virtud de este enfoque.
- La administración de datos es el proceso mediante el cual una organización independiente facilita el acceso seguro a los datos sensibles; estas instituciones de datos controlan quién puede acceder a los datos que administran, a qué datos pueden acceder esas personas, cómo pueden acceder o interactuar con esos datos y para qué pueden utilizarlos [121].

ACCIONES CLAVE

P5.1 Armonizar las normas abiertas

Desarrollar y seguir normas y prácticas comunes para compartir directamente la información.

Las normas abiertas armonizadas facilitarán el intercambio de datos entre sectores [115]. Deben existir medidas que garanticen el cumplimiento de las normas y reglamentos necesarios, y que fomenten la adopción de iniciativas de normalización opcionales pero beneficiosas, así como la adhesión continua a estas. La información debe diseñarse y utilizarse por las partes interesadas en las infraestructuras. La alfabetización en materia de resiliencia mejorará mediante la armonización y el acuerdo sobre la terminología de las normas abiertas.

Protocolo estandarizado de intercambio de información (ISP): El Wider Eastern Information Stakeholder Forum (WEISF) del Reino Unido es una red de asociación de profesionales de la gobernanza de la información que apoya la buena gobernanza de la información y las mejores prácticas. Ayuda a los socios en el cumplimiento del RGPD (Reglamento General de Protección de Datos) y en la transparencia del intercambio de datos. Los socios colaboran en la elaboración de un modelo de ISP estandarizado y publican los ISP en el Portal WEISF en aras de la transparencia. El protocolo detalla cómo y qué datos comparten los socios. También explica la base legal para compartirlos [122].

P5.2 Cultivar la gestión colaborativa

Cultivar la gestión colaborativa y fomentar el intercambio de conocimientos a través de las fronteras.

Fomentar la comunicación abierta dentro de los sectores y entre ellos y permitir el intercambio intersectorial (por ejemplo, entre el sector energético y las organizaciones de transporte público) ofrecerá oportunidades de aprendizaje y experimentación.

Fomentar y desarrollar la gobernanza policéntrica dará lugar a niveles más amplios de participación, y creará una modularidad y un exceso de recursos que minimizará y corregirá los errores de gobernanza [118]. Desarrollar la cooperación técnica, incluida la financiación, entre las partes interesadas en las infraestructuras fomentará una comprensión compartida de la gobernanza y las inversiones. Trabajar con las partes interesadas en la infraestructura social para entender sus necesidades de sistemas de infraestructura críticos desarrollará un mejor compromiso y empatía. Los proyectos de infraestructura tradicionalmente financiados y operados que utilicen recursos procedentes de impuestos y gravámenes y dirigidos por el sector público pueden causar problemas conocidos como fracaso gubernamental, entre los que se incluyen: lentitud e ineficacia en la toma de decisiones, aumento ineficaz de la organización y las instituciones, y falta de competencia e ineficacia, mientras que el enfoque puramente privado puede causar problemas como el fracaso del mercado a través de las desigualdades en la distribución de los servicios de infraestructura. Para superar tanto los fallos del gobierno como los del mercado, y realizar con éxito proyectos de infraestructuras sostenibles, se aboga por una estrategia de colaboración público-privada que incorpore los puntos fuertes de ambas posturas polarizadas [123].

Sector de la arquitectura, ingeniería y construcción: El túnel del Eastern Harbour Crossing de Hong Kong se contrató mediante un acuerdo CET (construcción-explotación-traspaso) de 30 años. Un CET surge cuando una entidad pública, normalmente un gobierno, otorga una concesión a una empresa privada para financiar, construir y explotar un proyecto durante un largo periodo de tiempo con el objetivo de recuperar su inversión, y luego transfiere el control del proyecto al gobierno. En el caso del túnel Eastern Harbour Crossing, la construcción comenzó en septiembre de 1986 y se completó medio año antes de lo previsto y dentro del presupuesto. El éxito del proyecto se atribuyó a un sistema legal y reglamentario establecido y equitativo [123].

P5.3 Establecer responsabilidades compartidas

Establecer proactivamente un entendimiento compartido de los objetivos de resiliencia, considerando explícitamente los resultados aceptables, los umbrales y los plazos.

Identificar las responsabilidades de las diferentes partes interesadas y organizaciones en cuanto a sus objetivos, operaciones y activos, y poner estas responsabilidades en el centro de la comunicación y los esfuerzos de compromiso creará vías transparentes y explícitas para garantizar la responsabilidad. La delimitación de la responsabilidad pone de manifiesto los fallos en los procesos y comportamientos de los actores (como los propietarios u operadores de activos, o los planificadores del uso del suelo) y ayuda a reajustar los incentivos para que estas partes cambien sus prácticas y comportamientos para mejorar la resiliencia. El establecimiento de un compromiso de colaboración permitirá compartir las responsabilidades unificadas de las partes interesadas. Involucrar a un grupo diverso e intersectorial de partes interesadas, incluyendo a todas las escalas de gobierno, el sector privado, grupos académicos y de expertos, y organizaciones comunitarias, y la revisión en colaboración de las responsabilidades y los objetivos con el apoyo de los reguladores de las infraestructuras permitirá establecer resultados, plazos, etc. Las asociaciones internacionales también pueden ser apropiadas para proyectos de infraestructura en los que los países se enfrentan a amenazas compartidas o similares, o cuando una metodología adoptada por un país puede ser aplicable en las naciones asociadas. Siempre que sea posible, la alineación con el Objetivo F del Marco de Sendai mejorará la cooperación internacional con los países en desarrollo para apoyar su aplicación del Marco de Sendai y mejorar la resiliencia global de las infraestructuras [5].

Gobernanza policéntrica del riego en Kenia: Los agricultores kenianos se ven regularmente afectados por la sequía, y los agricultores de aguas arriba y aguas abajo compiten por unos recursos limitados. Antes de la década de 1990, los recursos hídricos en Kenia se regían por normas formales que limitaban la capacidad de los agricultores locales para compartir sus

preocupaciones. La pobreza persistente entre los arrendatarios de los grandes planes de regadío socavó los medios de vida, y los agricultores comenzaron a aplicar sus propios sistemas de gestión del agua que, en algunos casos, fueron violentos. Como respuesta, Kenia ha reformado sus leyes sobre el agua y el riego para facilitar la participación de los usuarios locales del agua en el proceso de asignación de recursos. Kenia ha adoptado un enfoque policéntrico, dando a las comunidades locales la autonomía necesaria para aplicar enfoques localmente apropiados para la gestión del agua, y creando instituciones para fomentar la comunicación y la coordinación entre las comunidades, y promover la toma de decisiones compartida entre las autoridades locales, regionales y nacionales. Este enfoque, en el que el gobierno fomenta activamente las soluciones de iniciativas locales, ha sido capaz de mitigar las deficiencias en la gestión del agua y promover el aprendizaje y la adaptación a lo largo del tiempo [124].

P5.4 Mejorar la conectividad para compartir la información

Mejorar la conectividad para permitir el intercambio de información valiosa, incluyendo datos, conocimientos y prácticas operativas.

Proporcionar plataformas adecuadas a las que las partes interesadas en las infraestructuras puedan acceder y comprender es importante para compartir la información sobre la reducción del riesgo de desastres. Si bien la conectividad digital es crucial para el intercambio de datos, también es importante establecer un entorno en el que se puedan desarrollar relaciones para el intercambio de conocimientos sobre la resiliencia más allá de las fronteras, incluidos los conocimientos técnicos y especializados. La información debe compartirse a través de canales accesibles, de forma clara y comprensible. La conectividad debe extenderse más allá de los operadores para incluir a las autoridades e institutos pertinentes, a los usuarios de los sistemas de infraestructuras y a las redes de resiliencia, como los grupos de miembros. Quienes utilicen esta información para tomar decisiones deben ser explícitamente conscientes de cómo interpretar cualquier información para sus necesidades específicas.

Centros de Análisis e Intercambio de Información: En Estados Unidos se han creado Centros de Análisis e Intercambio de Información (ISAC) para ayudar a los propietarios y operadores de infraestructuras críticas a proteger sus instalaciones, empleados y clientes de las amenazas a la seguridad física y cibernética y otros peligros. Los ISAC recogen, analizan y difunden entre sus miembros información procesable sobre las amenazas y les proporcionan herramientas para mitigar los riesgos y mejorar la resiliencia. El Consejo Nacional de los ISAC (NCI) supervisa el trabajo de los ISAC para facilitar la coordinación intersectorial, especialmente durante los incidentes de seguridad y los desastres de origen natural [125].

P5.5 Garantizar la seguridad de los datos para desarrollar la confianza

Garantizar la seguridad de los datos para desarrollar la confianza entre las organizaciones y el público.

Las prácticas de seguridad de datos fomentan el intercambio de datos entre organizaciones y mejoran la resiliencia a los ataques maliciosos. Si bien el intercambio de datos aporta muchos beneficios, solo puede lograrse si las partes interesadas en la infraestructura y los usuarios de los servicios críticos confían en que sus datos estén seguros. La aplicación de la gobernanza de los datos, la responsabilidad, la privacidad, la seguridad, etc., son esenciales para crear confianza, lo que es fundamental durante las interrupciones y los desastres. Las organizaciones de administración de datos, la regulación gubernamental y las tecnologías como las pasarelas seguras son algunas de las formas de mejorar la seguridad de los datos [115].

El Open Data Institute trabaja con empresas y gobiernos para construir un ecosistema de datos abierto y fiable. Ha publicado una guía de gestión de datos fiables que proporciona una forma sistemática de examinar cómo una organización recopila, gestiona, utiliza o comparte los datos. La guía describe la importancia de documentar las prácticas de datos y demostrar su fiabilidad[126].

P5.6 Compartir información sobre riesgos y rendimientos

Compartir información sobre riesgos y rendimientos para evaluar los riesgos e invertir en resiliencia.

Asegurar las inversiones en resiliencia será más fácil si se comparte la información sobre riesgos y rendimientos y si se hace con base en la cooperación técnica establecida en el P5.2. La divulgación de información de alta calidad relacionada con la evaluación de riesgos, los informes financieros, los registros reglamentarios, la información contable, etc., es fundamental para que los inversores y otras partes interesadas tomen decisiones eficaces. La demanda de mayor transparencia por parte de los inversores también incluye el aumento de las solicitudes de divulgación de información no financiera, como datos gubernamentales, sociales y medioambientales y sobre el cambio climático, que permitan evaluar con mayor precisión la resiliencia de las infraestructuras. Para ello es necesario incorporar las consideraciones sobre el riesgo climático y de desastres (en evolución) a las metodologías de cálculo de las tasas internas de rendimiento y garantizar una financiación previsible y sostenible a múltiples niveles: nacional, regional, local, comunitario y organizativo.

Debe promoverse y reforzarse la colaboración entre los sectores público y privado mediante el intercambio transparente de la información necesaria sobre los riesgos. Las estrategias eficaces deben alinear las inversiones públicas y privadas, como las iniciativas de asociación entre el sector público y el privado. El argumento central de esta demanda es que la divulgación de estos datos mejora la capacidad de los inversores para evaluar y comprender los riesgos a largo plazo de una empresa y que, por tanto, es relevante para la toma de decisiones relacionadas con la inversión. No solo es vital para el funcionamiento de unos mercados de capitales eficientes, sino que también proporciona a un público más amplio que los inversores, como los gobiernos, los empleados y otras partes interesadas, información útil para evaluar la gestión y tomar decisiones económicas y políticas [127].

En 2019, el Centro de Política e Investigación de Seguros (CIPR) de la NAIC y la Oficina de Mercados de Capitales colaboraron en un estudio sobre infraestructuras para el sector de los seguros. El propósito del estudio era desarrollar una mejor comprensión de las inversiones en infraestructuras y la dinámica de ese mercado en relación con el sector de los seguros de Estados Unidos como inversor institucional [128].

P5.7 Mitigar las pérdidas en materia de resiliencia evitables

Evitar las pérdidas en materia de resiliencia y mitigar el impacto del riesgo.

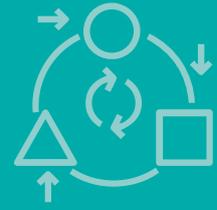
Las estrategias y planes de prediseño para proyectos de infraestructura que toman la resiliencia como un valor fundamental deben tener en cuenta las consecuencias de los fallos. Evitar las pérdidas por falta de resiliencia requiere una transformación que se centre en la resiliencia sistémica. Algunas pérdidas pueden ser aceptables si pueden compensarse con las ganancias de resiliencia específicas del sistema. La mitigación del impacto del riesgo mediante el seguimiento de la jerarquía de mitigación y la minimización de la compensación de las pérdidas proporcionará un enfoque para la inversión en resiliencia y los seguros relacionados. La jerarquía de mitigación [21] establece normas para evitar pérdidas. En primer lugar, los inversores,

promotores, proveedores y operadores de infraestructuras deben trabajar para determinar su impacto sobre los bienes naturales y tomar las medidas adecuadas para evitar, mitigar o compensar cualquier impacto negativo restaurando y mejorando el estado de los activos de capital natural circundantes. A continuación, deben evitar los impactos negativos en la medida de lo posible, minimizando los impactos inevitables. Como último recurso, pueden compensar las pérdidas inevitables siempre que se puedan obtener los mayores beneficios, ya sea a escala local o nacional, considerando primero la compensación de las pérdidas dentro del impacto del desarrollo.

Mitigación en la fase de opciones: Un proyecto piloto de carreteras federales en el estado de Maine (EE. UU.) evaluó la rentabilidad del diseño de puentes y alcantarillas en un lugar diferente en una serie de escenarios de aumento del nivel del mar y de las mareas de tormenta, de forma acumulativa en el tiempo, para encontrar el diseño más eficiente y la ubicación más adecuada que permitiría ahorrar hasta 0,5 millones de libras [129].

Principio 6 (P6)

Transformación adaptativa



El objetivo de adaptarse y transformarse a las necesidades cambiantes.

RESUMEN

El principio de transformación adaptativa permite que los sistemas implicados en la planificación, el diseño, la construcción y la prestación de servicios críticos se adapten y transformen. El aprendizaje continuo proporciona las pruebas sobre qué y dónde construir la capacidad de resiliencia de las infraestructuras.

Las acciones clave contribuyen a la ganancia neta de resiliencia mediante: la creación de capacidad de adaptación para reducir los fallos; responder a los imprevistos; ir más allá de los límites regulares del sistema cuando sea necesario; y permitir que los sistemas de infraestructura avancen cuando sea necesario.

ANTECEDENTES

La transformación adaptativa es la capacidad de cambiar las formas de funcionamiento de los sistemas de infraestructura, o cambiar los resultados deseados de estos sistemas, en respuesta a los cambios en el contexto más amplio en el que operan. Este principio reconoce que, en un mundo que se enfrenta al peligro cambiante del cambio climático, los requisitos que se imponen a nuestros sistemas de infraestructuras en el futuro pueden ser diferentes de los que se imponen hoy. Crear la capacidad de operar fuera de las condiciones normales mejora la resiliencia de las infraestructuras al asumir los imprevistos y cambiar cuando sea necesario para mantener la continuidad y la flexibilidad del funcionamiento/servicio. Lo ideal es que los sistemas de infraestructuras se desarrollen teniendo esto en cuenta, animando a las partes interesadas a incorporar la flexibilidad en las cadenas de suministro, los métodos de entrega, las

estructuras organizativas y los métodos operativos, incluyendo la alerta temprana, la evacuación, etc.

Sin embargo, la adaptabilidad debe ir más allá de la fase de diseño, y formar parte de un ciclo continuo en el que los resultados del aprendizaje continuo se apliquen como cambios en la infraestructura, la gestión y los sistemas de información pertinentes. Siempre que sea posible, se prefiere un enfoque proactivo, anticipando las posibles amenazas a los sistemas de infraestructura mediante la supervisión y la modelización adecuadas. El principio de aprendizaje continuo permite anticiparse a los futuros retos, cambios, amenazas e interrupciones, y crea una conciencia de cambio. Sin embargo, algunos de estos retos futuros pueden ser inesperados y requerir que las infraestructuras se adapten más allá de los límites previstos para asumir la interrupción. Es posible que estas

adaptaciones necesarias se convierten en la «nueva normalidad», transformando el sistema en uno más capaz de responder a las amenazas potenciales.

La transformación adaptativa proporciona las capacidades no solo para recuperarse o reponerse, sino para adaptarse y transformarse cuando los desafíos o cambios (inesperados) ya están ocurriendo. Las transformaciones deben ser relevantes para las necesidades de los países, por ejemplo, los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (PEID) pueden preferir infraestructuras reemplazables en función de la frecuencia de las

amenazas. Las transformaciones pueden implicar un cambio socioinstitucional [130].

Es posible que las transformaciones deban ser radicales, como el abandono de las infraestructuras que ya no son adecuadas para su finalidad. Sin embargo, no se puede asumir que todos los intentos de transformación adaptativa tengan éxito. Esto pone de manifiesto la importancia del principio P1, Aprendizaje continuo, y de aprender de las experiencias de los fracasos y evitar la mala adaptación.

DEFINICIONES

- La capacidad de adaptación es la aptitud (o capacidad) de un sistema para modificar o cambiar sus características o su comportamiento con el fin de afrontar mejor las tensiones externas existentes o previstas [131].
- La transformación adaptativa es el resultado de la aplicación de la capacidad de adaptación que lleva a una infraestructura transformada que tenga una mayor resiliencia sistémica.
- La extensibilidad es la capacidad de un sistema para ampliar su capacidad de adaptación cuando los acontecimientos por sorpresa desafían sus límites [132].

GANANCIAS NETAS DE RESILIENCIA

- La consideración de la capacidad de adaptación permite que las infraestructuras se adapten a los cambios provocados por factores de estrés como el cambio climático y el crecimiento de la población. Esto aumenta la capacidad de la infraestructura para asumir las perturbaciones y, según los métodos utilizados, puede aumentar el exceso de recursos del sistema.
- Los sistemas de infraestructura con soluciones manejables, capacidad de anulación manual y estructuras de gestión flexibles son capaces de responder a tiempo a las amenazas y perturbaciones.
- Una infraestructura flexible y extensible puede mitigar las interrupciones y evolucionar más allá de los límites del sistema para garantizar la capacidad de recursos frente a perturbaciones inesperadas.

ACCIONES CLAVE

P6.1 Elegir soluciones manejables

Seleccionar las soluciones en función de las competencias y los recursos disponibles, y de la adecuación de la solución al entorno cambiante.

Las soluciones para proporcionar servicios críticos deben adaptarse a los contextos locales y contar con su participación. Las soluciones viables deben ser capaces de manejar la variabilidad de un entorno cambiante [133]. Las interdependencias hacen que todos los sistemas de infraestructuras críticas sean inherentemente complejos, por lo que se necesitan soluciones adecuadas que utilicen las habilidades operativas y de mantenimiento disponibles. Esta acción clave reconoce los límites de controlabilidad de los sistemas sociotécnicos [134]. Un enfoque simple o modular puede ser más adecuado para la reestructuración o la adaptación más adelante en la vida de los activos, y también tiene beneficios para el mantenimiento y la reparación. Hay que tener en cuenta la capacidad de gestión y la viabilidad de las soluciones, lo que ayuda a establecer la participación por parte de la comunidad a la que se presta la infraestructura. Puede ser conveniente ajustar la complejidad de las soluciones en respuesta a cualquier cambio inesperado en las condiciones de explotación, transformando la infraestructura a medida que evoluciona la disponibilidad de los recursos y las necesidades de los usuarios.

TLa Sand Bag House (casa con sacos de arena) fue la primera solución calificada en la Iniciativa de Vivienda 10 x 10 de la organización de diseño sudafricana Design Indaba. Desarrollaron el proyecto de vivienda para construir 10 casas piloto en una zona de ocupantes ilegales en las afueras de Ciudad del Cabo, en un intento de abordar la escasez de viviendas de la zona para poder conservar el dinero y los recursos. La casa utiliza materiales locales baratos, lo que reduce el transporte, mano de obra comunitaria de un «futuro residente» local y un método de construcción que sustituye el tradicional ladrillo y mortero por sacos de arena (desarrollado por ecobeams) para crear una forma fuerte, segura y barata de ofrecer viviendas asequibles. El sistema es tan resistente como el de ladrillo y utiliza menos madera que la construcción

tradicional. Con una estructura de madera de dos plantas y rellena de sacos de arena, la casa es energéticamente eficiente y no requiere electricidad ni mano de obra especializada para su construcción. Es un prototipo muy escalable que puede alojar a familias más numerosas y crecer hasta convertirse en estructuras multifamiliares. La arena proporciona una muy buena calidad térmica y evita que se cuele la humedad. Además de ser impermeables, los sacos de arena también crean espacios insonorizados e ignífugos y permiten un rápido ritmo de construcción, por lo que ahorran tiempo y dinero. Se tardó unas 12 semanas para construir 8 de las 10 viviendas. Los planos y los diseños se recopilaron en un manual y se donaron a los gobiernos africanos para que los utilizaran libremente en el desarrollo de proyectos similares como solución a la escasez de viviendas [135].

P6.2 Crear capacidad de adaptación

Crear capacidad de adaptación en los sistemas de infraestructura en todas las etapas del ciclo de vida para permitir la flexibilidad en la toma de decisiones, la transición y la resolución de problemas.

La flexibilidad en el diseño y el funcionamiento de los sistemas son fundamentales, ya que los riesgos de desastres y climáticos no pueden eliminarse y, por tanto, las acciones para reducir los impactos socioeconómicos y la pérdida de vidas son primordiales. La capacidad de adaptación debe supervisarse y revisarse durante las fases de diseño y funcionamiento, así como en los ciclos de planificación plurianuales. La capacidad de adaptación debe crearse mediante la selección de proyectos y acciones basados en los últimos avances científicos y en previsión de cualquier cambio previsto en la oferta o la demanda. La capacidad de adaptación debe abordarse en la planificación de la continuidad de las actividades y la gestión de las operaciones, incluidos los sistemas de alerta temprana y evacuación. Un ejemplo sencillo de esto sería utilizar la computación en la nube, en lugar de los bancos de datos in situ, para mitigar los riesgos de fallo del almacenamiento de datos y de la entrega de la infraestructura en el mismo lugar.

En Indonesia, la capacidad de adaptación se ha creado buscando oportunidades en el nexo agua-alimentación-energía. Centrándose en el aumento de la seguridad del agua, se ha adoptado un enfoque flexible del uso de la tierra, utilizando herramientas de planificación integradoras como LUMENS (uso de la tierra para múltiples servicios ambientales) para promover soluciones agroforestales resilientes [136].

P6.3 Desarrollar una gestión flexible

Desarrollar estructuras de gestión/organización dinámicas y flexibles que permitan a los trabajadores adaptarse en caso de perturbación.

Se necesita una gestión flexible para que la plantilla pueda adaptarse dinámicamente a las necesidades cambiantes de las perturbaciones. Los equipos deben desarrollarse con un énfasis en la transparencia, estableciendo un entorno en el que haya espacio para un debate constructivo y desafiante. Este enfoque puede ir más allá de los límites de la organización para incluir una relación dinámica y evolutiva con los usuarios de los servicios críticos, los reguladores, las autoridades civiles y otros operadores del sistema. Hay que garantizar que los equipos de toma de decisiones sean diversos y representativos y proporcionar canales de retroalimentación para garantizar un compromiso activo con la gestión.

Tucson Water es una empresa municipal de suministro de agua que abastece de agua potable la zona metropolitana de Tucson, en Arizona, Estados Unidos. A principios de los años 70, Tucson era una ciudad «oasis». En 1976, para financiar la tan necesaria nueva infraestructura, Tucson Water aumentó las tarifas. Se creó el Comité Consultivo Ciudadano del Agua de Tucson (CWAC) para aumentar la transparencia, y se consiguió finalmente que los residentes apoyaran un aumento de las tarifas y mejoraran la

educación pública y la reducción de los caudales máximos, con lo que Tucson adoptó los valores de conservación y se transformó de «oasis» a «ciudad del desierto» con vegetación nativa de bajo consumo de agua. En 1992, cuando los residentes bloquearon un plan de Tucson Water para cambiar de agua subterránea al agua del río Colorado, el CWAC fue crucial para la aceptación pública de la solución final. Tucson es ahora capaz de almacenar seis meses de su suministro de agua al año, por lo que reduce el riesgo de escasez en el futuro. Las tasas de consumo siguen disminuyendo y se encuentran entre las más bajas de Estados Unidos. Tucson no solo ha mejorado su capacidad de oferta y demanda, sino que ha fomentado la capacidad de transformación, la capacidad de aprendizaje, el cambio y la acción colaborativa [137].

P6.4 Habilitar la capacidad de transformación

Permitir la desviación más allá de las prácticas operativas estándar, reconociendo que la legislación y la reglamentación nacionales pueden necesitar mejorarse para ser adecuadas a su propósito.

La capacidad de transformación permite que la infraestructura se adapte más allá de su propósito principal, y reconoce que la capacidad de adaptación de cualquier unidad a escala es finita. La ampliación más allá de los límites del sistema, lo que se conoce como extensibilidad, requiere estructuras organizativas que apoyen la adopción decisiva y oportuna de un nuevo enfoque y se resistan a volver al «statu quo» en circunstancias excepcionales. Los fracasos o casi fracasos a pequeña escala deben analizarse como oportunidades de aprendizaje y utilizarse para revisar las estrategias de gestión. Las organizaciones deben esperar que las mejores prácticas operativas cambien con las nuevas pruebas, y prever que se produzcan eventos que

saturnen la capacidad de adaptación [138], lo que requiere alineación y coordinación a través de múltiples unidades interdependientes en una red. Aunque la transformación proactiva es ideal, también es importante que, en caso de que se produzca un fallo del sistema, la transformación resultante de las lecciones aprendidas sea una parte clave del proceso de recuperación. Los sistemas no deben limitarse a reconstruirse, sino que deben reconstruirse mejor, habiendo abordado las vulnerabilidades que permitieron que se produjera el fallo. Esto permite la flexibilidad en el uso futuro y puede prevenir o mitigar posibles escenarios de fracaso. La capacidad de transformación se centra en conocer los límites de los sistemas de infraestructura existentes y cómo los sistemas de infraestructuras pueden ser viables más allá de los límites. Es un recordatorio de que la prevención de los fallos del sistema requiere pensar más allá de los límites tradicionales del sistema de infraestructuras.

Dique del río Assiniboine: En 2011, durante un período de clima extremo en Winnipeg, Canadá, los funcionarios rompieron una sección del dique del río Assiniboine para facilitar la salida controlada de las aguas de la crecida. El dique estaba rodeado de grandes rocas de piedra caliza, o escollera, para absorber el impacto del agua y reducir la velocidad del flujo. La brecha consistía en un corte de menos de un metro de profundidad. El objetivo de la brecha era permitir que el agua se dispersara lentamente por los campos, se llenara detrás de las carreteras y se derramara en los puntos bajos a lo largo de estas, antes de verterse finalmente en el río La Salle. Esto se hizo para evitar una brecha incontrolada aguas abajo, que podría afectar a 850 viviendas y a una zona de 500 kilómetros cuadrados [139]. Aunque originalmente se diseñó para proteger la red de carreteras de la zona y los terrenos cercanos, las autoridades pudieron utilizar el dique para otro fin, con el fin de mitigar el riesgo de que se produjeran trastornos más graves aguas abajo.

P6.5 Tener en cuenta el criterio humano

Incorporar la anulación manual y la disposición de la persona en bucle para tener en cuenta el criterio humano.

Hay que hacer hincapié en el desarrollo de las competencias del personal operativo a todos los niveles, con una formación y unas pruebas adecuadas que les permitan tener autoridad para intervenir de forma autónoma. Los procesos que contienen sistemas humanos y digitales deben garantizar las salvaguardias operativas. Hay que evitar un colapso o fallo repentino cuando los acontecimientos empujan al sistema hasta sus límites y más allá de ellos para manejar las perturbaciones y variaciones cambiantes. Aunque la automatización puede ser más eficaz en las operaciones cotidianas, la incorporación de la capacidad de control manual permite a los humanos responder a las sorpresas abriendo y cerrando vías para el flujo de servicios, permitiendo que la infraestructura funcione más allá de los umbrales diseñados, y encendiendo y apagando recursos de reserva [132]. Esto puede permitir intervenciones rápidas en respuesta a perturbaciones inesperadas.

El vuelo 140 de China Airlines se estrelló debido a problemas con las anulaciones manuales del piloto automático. Un sistema automatizado estaba programado para ignorar los controles manuales en una situación de aterrizaje abortado, pero los pilotos humanos intentaron continuar el aterrizaje. Las señales contradictorias hicieron que el avión entrara en pérdida y se estrellara. El piloto automático de este tipo de avión se reprogramó para que nunca ignorara una anulación manual [140].

8. Conclusiones y próximos pasos

La resiliencia de los servicios críticos que proporcionan la infraestructura nacional nunca ha sido tan importante. Hay pruebas fehacientes de que la inversión en la resiliencia de las infraestructuras está económicamente justificada.

Este informe presenta un conjunto de seis Principios para la Infraestructura Resiliente que apoyará la ganancia neta de resiliencia a escala nacional. Se definen acciones clave para cada principio, lo que hace que la aplicación de los principios sea factible. Se ofrecen ejemplos globales de las acciones clave que demuestran su relevancia para los países emergentes, en desarrollo y desarrollados.

Los principios se recomiendan a los Estados nacionales y serían adecuados para los grandes territorios o administraciones descentralizadas en los que las infraestructuras son en gran medida independientes. Los principios pueden utilizarse para determinar la resiliencia de la infraestructura nacional. No están pensados para la evaluación de activos individuales ni de componentes de la infraestructura. En la figura 1 se describe una visión general de la gobernanza para la aplicación de los principios.

Cada uno de los seis Principios para la Infraestructura Resiliente contribuye de forma específica a la obtención de una Ganancia neta de resiliencia. Se propone la aplicación de los principios y las acciones clave en los países dispuestos a mejorar los resultados de la resiliencia. La aplicación de los principios en los países emergentes, en desarrollo y desarrollados apoyaría la recopilación de datos y la mejora de las acciones clave con el tiempo. También se recomienda trabajar con las organizaciones mundiales de infraestructuras para buscar su aprobación y

crear oportunidades locales para traducirlas en orientaciones sobre las mejores prácticas.

Otros pasos para desarrollar y evaluar la utilidad de los principios podrían consistir en la creación de una plataforma mundial de intercambio de conocimientos para captar las prácticas, incluidas las experiencias de aplicación de los principios, el desarrollo de normas internacionales, los gemelos digitales nacionales y los modelos computacionales. Una plataforma de conocimiento puede informar a los países de los éxitos y fracasos mientras que los gemelos digitales pueden vigilar continuamente la infraestructura nacional, proporcionando una alerta temprana de posibles vulnerabilidades, especialmente cuando están vinculados a sistemas meteorológicos y otros sistemas geofísicos. Los modelos podrían utilizarse para determinar la ganancia neta de resiliencia que se espera que surja a medida que las acciones clave se integren en la infraestructura nacional. Todos los pasos posteriores pueden ayudar a la evaluación continua de la eficacia nacional de estos principios y detectar las consecuencias imprevistas antes de que se salgan de control. Los planes/proyectos existentes de inversión en la infraestructura nacional deben evaluarse antes de su puesta en marcha para garantizar el cumplimiento de la Ganancia neta de resiliencia.

La aplicación de los principios requiere la creación de capacidades y conocimientos de las distintas partes interesadas que participan en todas las fases de desarrollo, explotación y mantenimiento de las infraestructuras.

Referencias

- [1] New Climate Economy, "The Sustainable Infrastructure Imperative: Financing for Better Growth and Development", 2016.
- [2] Comisión Global de Adaptación, "Adapt Now: Un llamamiento mundial al liderazgo en materia de resiliencia climática", 2019.
- [3] Naciones Unidas, "COP26 Climate Change Conference", 2021. [En línea]. Disponible: <https://ukcop26.org/>. [Consultado: 13-Feb-2022].
- [4] Naciones Unidas, "Objetivos de Desarrollo Sostenible", 2015. [En línea]. Disponible: <https://sdgs.un.org/es/goals>. [Consultado: 13-Feb-2022].
- [5] UNDRR, "Sendai Framework Indicators", 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.preventionweb.net/sendai-framework/sendai-framework-indicators>. [Consultado: 13-Feb-2022].
- [6] Naciones Unidas, "The Paris Agreement", 2015. [En línea]. Disponible: <https://sdgs.un.org/frameworks/parisagreement>. [Consultado: 13-Feb-2022].
- [7] B. Collins, J. Beckford, T. Dolan y L. Varga, "Strategic issues: a discussion paper", 2020.
- [8] S. Hallegatte, J. Rentschler y J. Rozenberg, Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity: Sustainable Infrastructure Series. Washington, DC: Banco Mundial, 2019.
- [9] Oficina de la UNDRR para Europa, "Europe's Opportunity to Manage Risk And Build Resilience", 2020.
- [10] D. Cançado y M. Mullan, "Working Paper: Stocktake of Infrastructure", 2020.
- [11] Banco Mundial, "Resilience Rating System", 2021.
- [12] R. Freeman y L. Varga, "Analysis of Resilience Situations for Complex Engineered Systems – the Resilience Holon", IEEE Syst. J., pp. 1-12, 2021.
- [13] T. Dolan, "Systemic Perspectives on National Infrastructure for a Sustainable, Resilient Net Zero Future", Front. Built Environ., vol. 7, n.º noviembre, pp. 1-12, 2021.
- [14] ARUP, "National Infrastructure Commission UK Infrastructure Levels of Service Review", 2019. [En línea]. Disponible: <https://nic.org.uk/app/uploads/Review-of-UK-levels-of-infrastructure-service.pdf>. [Consultado: 24-Mar-2022].
- [15] A. Stirling y D. Gee, "Science, precaution, and practice", Public Health Rep., vol. 117, n.º 6, pp. 521-533, 2002.
- [16] T. Dolan, "Successful cities rely on resilient infrastructure", 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.ukcric.com/insights/successful-cities-rely-on-resilient-infrastructure/#:~:text=Infrastructure Enables City Life&text=It supports the movement of,not occur in its absence> [Consultado: 13-Feb-2022].
- [17] UNDRR, "UNDRR terminology: resilience", 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.undrr.org/terminology/resilience>. [Consultado: 13-Feb-2022].

- [18] P. Dasgupta, *The economics of biodiversity: the Dasgupta review*. Londres: HM Treasury, 2021.
- [19] D. Helm, *Net Zero: How We Stop Causing Climate Change*. William Collins, 2020.
- [20] S. J. Davis et al., "Net-zero emissions energy systems", *Science* (80-.), vol. 360, n.º eaas9793, 2018.
- [21] Comisión Nacional de Infraestructuras, "Natural Capital and Environmental Net Gain", 2021. [En línea]. Disponible: <https://nic.org.uk/app/uploads/Updated-Natural-Capital-Paper-Web-Version-Feb-2021.pdf>. [Consultado: 05-mayo-2022].
- [22] Marsh, "Infrastructure Development", 2015.
- [23] S. Oguah y S. Khosla, "Disaster Preparedness Offers Big Payoffs for Utilities", 2017.
- [24] S. Merrill y J. Gates, "Lifecycle Design and Cumulative Benefit-Cost Analysis for Transportation Resiliency", 2016.
- [25] Banco Mundial, "Climate and Disaster Resilient Transport in Small Island Developing States: A Call for Action", 2017.
- [26] T. Fenwick y K. Hoskin, "Resilience Lessons: Orion's 2010 and 2011 Earthquake Experience Independent Report", 2011.
- [27] C. Briceño-Garmendia, A. Estache y N. T. Shafik, "Infrastructure Services in Developing Countries: Access, Quality, Costs, and Policy Reform", *Policy Res. Work. Pap.*, vol. 4, n.º 21, p. 33, 2004.
- [28] M. Kornejew, J. Rentschler y S. Hallegatte, "Well Spent How Governance Determines the Effectiveness of Infrastructure Investments Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity Background Paper", 2019.
- [29] Unión Europea, *EU Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM*. 2015.
- [30] A. Suppasri et al., "Cascading disasters triggered by tsunami hazards: A perspective for critical infrastructure resilience and disaster risk reduction", *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 66, p. 102597, 2021.
- [31] P. Adams, J. Steeves, B. Ashe, J. Firth y B. Rabb, "Climate Risks Study for Telecommunications and Data Center Services", 2014.
- [32] OCDE, *Good Governance for Critical Infrastructure Resilience*. OCDE, 2019.
- [33] Principles for Responsible Investment (PRI), "Infrastructure (ESG incorporation)", 2022. [Online]. Disponible: <https://www.unpri.org/investment-tools/private-markets/infrastructure-and-other-real-assets/infrastructure>. [Consultado: 27-abr-2022].
- [34] R. Francis y B. Bekera, "A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems", *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 121, pp. 90-103, 2014.
- [35] G-20, "G20 Principles for Quality Infrastructure Investment", 2019. [En línea]. Disponible: <https://oecd-development-matters.org/2021/04/29/quality-infrastructure-putting-principles-into-practice-the-viewpoint-of-a-development-agency/>. [Consultado: 25-abr-2022].
- [36] National Academy of Sciences (NAS) Committee on Science Engineering and Public Policy, *Disaster Resilience: A National Imperative*. The National Academies Press, 2012.
- [37] I. Linkov, B. D. Trump, y W. Hynes, "Resilience-based Strategies and Policies to Address Systemic Risks", en *Centro de Conferencias de la OCDE*, 2019, n.º septiembre, pp. 1-36.

- [38] R. Egert, J. Daubert, S. Marsh y M. Mühlhäuser, "Exploring energy grid resilience: The impact of data, prosumer awareness, and action", *Patterns*, vol. 2, n° 6, 2021.
- [39] UNDRR, "Early warning system", 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.undrr.org/terminology/early-warning-system>. [Consultado: 23-abr-2022].
- [40] E. D. Vugrin, D. E. Warren, M. A. Ehlen y R. C. Camphouse, "A Framework for Assessing the Resilience of Infrastructure and Economic Systems", en *Sustainable and Resilient Critical Infrastructure Systems*, 2010, pp. 77-116.
- [41] A. Wong, S. Tan, K. R. Chandramouleeswaran y H. T. Tran, "Data-driven analysis of resilience in airline networks", *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 143, 2020.
- [42] Banco Mundial, "Building Morocco's Resilience: Inputs for an Integrated Risk Management", 2013.
- [43] Syrinix, "Actionable Data Outcomes From A Rising Main Monitoring Programme", 2019.
- [44] M. Habibi Rad, M. Mojtahedi y M. J. Ostwald, "Industry 4.0, disaster risk management and infrastructure resilience: a systematic review and bibliometric analysis", *Buildings*, vol. 11, n° 9, 2021.
- [45] GFDRR, "Making transportation climate resilient in Freetown", *Resilience Series*, 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.gfdr.org/en/feature-story/results-resilience-making-transportation-climate-resilient-freetown>. [Consultado: 17-Feb-2022].
- [46] B. D. Trump et al., "Social resilience and critical infrastructure systems", en *Resilience and Risk*, I. Linkov y J. M. Palma-Oliveira, Eds. 2017, pp. 289-299.
- [47] I. Linkov y A. Kott, "Fundamental Concepts of Cyber Resilience: Introduction and Overview", en *Cyber Resilience of Systems and Networks: Introduction and Overview*, A. Kott and I. Linkov, Eds. Springer, 2019, pp. 1-25.
- [48] ShakeOut, "Great ShakeOut Earthquake Drills", 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.shakeout.org/>. [Consultado: 17-Feb-2022].
- [49] Resilience Design Institute, "The Resilient Design Principles", 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.resilientdesign.org/the-resilient-design-principles/>. [Consultado: 17-Feb-2022].
- [50] L. Allen, P. Allan, M. Bryant, J. Becker, D. Johnston y W. Saunders, "Design for Resilience", en *NZSEE Conference*, 2016.
- [51] R. Patriarca, J. Bergström, G. Di Gravio y F. Costantino, "Resilience engineering: Current status of the research and future challenges", *Saf. Sci.*, vol. 102, pp. 79-100, 2018.
- [52] A. M. Madni y S. Jackson, "Towards a Conceptual Framework for Resilience Engineering", *IEEE Syst. J.*, vol. 3, n° 2, pp. 181-191, 2009.
- [53] N. Möller y S. O. Hansson, "Principles of engineering safety: Risk and uncertainty reduction", *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 93, n° 6, pp. 798-805, 2008.
- [54] Y. Kim, M. V. Chester, D. A. Eisenberg y C. L. Redman, "The Infrastructure Trolley Problem: Positioning Safe-to-fail Infrastructure for Climate Change Adaptation", *Earth's Futur.*, vol. 7, n° 7, pp. 704-717, 2019.
- [55] M. Bruneau et al., "A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities", *Earthq. Spectra*, vol. 19, n° 4, pp. 733-752, 2003.

- [56] ARUP Organización Internacional para las Migraciones, "Pakistan Shelter Guide: Design for improved flood resilience in Sindh", 2018.
- [57] M. Ouyang, "Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems TL - 121", *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 121 VN-, p. 4360, 2014.
- [58] G. Gardiner, "Composites end markets: Infraestructura civil (2022)", 2021.
- [59] N. Farhad, S. Garg, R. Huxley y K. Pillay, "Understanding infrastructure interdependencies in cities", 2019.
- [60] K. Kishore, "Managing tropical storms during COVID-19: Early lessons learned and reflections from India", 2020. [En línea]. Disponible: <https://blogs.worldbank.org/climatechange/managing-tropical-storms-during-covid-19-early-lessons-learned-and-reflections-india>. [Consultado: 17-Feb-2022].
- [61] M. Chester, T. R. Miller y T. A. Muñoz. Erickson, "Rethinking Infrastructure in an Era of Unprecedented Weather Events", *Issues Sci. Technol*, vol. 34, n.º 2 (invierno), pp. 1-13, 2018.
- [62] S. Turner, M. Aho y S. Sarkozy-Banoczy, "Resilient Houston", 2020.
- [63] S. Hallegatte et al., "Well Maintained: Economic Benefits from More Reliable and Resilient Infrastructure", 2021.
- [64] HM Infrastructure and Projects Authority, "National Infrastructure Delivery Plan 2016-2021", 2016. [En línea]. Disponible: <https://www.gov.uk/government/publications/national-infrastructure-delivery-plan-2016-to-2021>. [Consultado: 05-mayo-2022].
- [65] Comité de Capital Natural, "The State of Natural Capital: Towards a framework for measurement and valuation", 2013.
- [66] Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (IISD), "IISD says Natural Capital Declaration demonstrates global commitment of financial institutions", 2012. [En línea]. Disponible: <https://www.iisd.org/articles/iisd-says-natural-capital-declaration-demonstrates-global-commitment-financial>. [Consultado: 13-Feb-2022].
- [67] J. Boyd y S. Banzhaf, "What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units", *Ecol. Econ.*, vol. 63, n.º 2-3, pp. 616-626, 2007.
- [68] G. C. Daily, "Introduction: What Are Ecosystem Services?", en *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, G. Daily, Ed. Island Press, Washington DC, 1997, pp. 1-10.
- [69] S. Thacker et al., "Infrastructure for Climate Action", 2021.
- [70] HM Government, *Climate Resilient Infrastructure: Preparing for a Changing Climate*. HM Government, 2011.
- [71] M. Rogger et al., "Land use change impacts on floods at the catchment scale: Challenges and opportunities for future research", *Water Resour. Res.*, vol. 53, n.º 7, pp. 5209-5219, 2016.
- [72] L. Mandle, B. P. Bryant, M. Ruckelshaus, D. Geneletti, J. M. Kiesecker y A. Pfaff, "Entry Points for Considering Ecosystem Services within Infrastructure Planning: How to Integrate Conservation with Development in Order to Aid Them Both", *Conserv. Lett.*, vol. 9, n.º 3, pp. 221-227, 2016.
- [73] J. Howell, "Study of Road Embankment Erosion and Protection", 2008.
- [74] M. Kumasaki y M. King, "Three cases in Japan occurred by natural hazards and lessons for Natech disaster management", *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 51, n.º agosto, p. 101855, 2020.

- [75] Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), "Nature-based Solutions", 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.iucn.org/theme/nature-based-solutions>. [Consultado: 23-abr-2022].
- [76] G. Browder, S. Ozment, I. Rehberger Bescos, T. Gartner, y G.-M. Lange, *Integrating Green and Gray: Creating Next Generation Infrastructure*. Washington, DC: Banco Mundial e Instituto de Recursos Mundiales, 2019.
- [77] A. I. Alves Beloqui, *Combining Green-Blue-Grey Infrastructure for Flood Mitigation and Enhancement of Co-Benefits*. CRC Press / Balkema - Taylor & Francis Group, 2020.
- [78] M. W. Beck, I. J. Losada, P. Menéndez, B. G. Reguero, P. Díaz-Simal y F. Fernández, "The global flood protection savings provided by coral reefs", *Nat. Commun.*, vol. 9, n.º 1, 2018.
- [79] P. Glynn, "Coral Reefs Prevent \$4.3 Billion in Flood Damage Annually", 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/articles/2018/06/20/coral-reefs-prevent-4-3-billion-in-flood-damage-annually> [Consultado: 13-Feb-2022].
- [80] G. Jongman, Brenden; Goizueta, Gonzalo, Gutiérrez; Van Zanten, Boris; Reguero, Borja, "Blue barriers: A nature-based solution to build resilience", 2021. [En línea]. Disponible: <https://blogs.worldbank.org/climatechange/blue-barriers-nature-based-solution-build-resilience>. [Consultado: 14-Feb-2022].
- [81] A. Sverdlik, D. Mitlin y D. Dodman, "Realising the Multiple Benefits of Climate Resilience and Inclusive Development in Informal Settlements", 2019.
- [82] Departamento de Energía de los Estados Unidos, "Energy Resilience Solutions for the Puerto Rico Grid", 2018.
- [83] R. Conniff, "Electric Power Rights of Way: A New Frontier for Conservation", *Yale Environment* 360, 2014. [En línea]. Disponible: https://e360.yale.edu/features/electric_power_rights_of_way_a_new_frontier_for_conservation. [Consultado: 13-Feb-2022].
- [84] J. Daniels, "California utilities shut off power in 'extremely' windy weather to prevent wildfires", 2017. [En línea]. Disponible: <https://www.cnbc.com/2017/12/13/southern-california-utilities-shut-off-power-to-prevent-wildfires.html>. [Consultado: 13-Feb-2022].
- [85] B. Mucherera y S. Spiegel, "Forced displacement: critical lessons in the protracted aftermath of a flood disaster", *GeoJournal*, 2021.
- [86] F. Lempérière, "Dams and Floods", *Engineering*, vol. 3, n.º 1, pp. 144-149, 2017.
- [87] REPP (Renewable Energy Performance Platform), "GVE (Green Village Electricity) Nigeria", 2020. [En línea]. Disponible: <https://repp.energy/project/gve-nigeria/>. [Consultado: 06-mayo-2022].
- [88] R. Benabou y J. Tirole, "Individual and corporate social responsibility", *Economica*, vol. 77, n.º 305, pp. 1-19, 2010.
- [89] A. Schmitz, "Be Ethical at Work", *Human Relations* v. 1.0. [En línea]. Disponible: https://saylordotorg.github.io/text_human-relations/s09-be-ethical-at-work.html. [Consultado: 13-Feb-2022].
- [90] S. López Davis, L. Marín Rives, y S. Ruiz de Maya, "Introducing Personal Social Responsibility as a key element to upgrade CSR", *Spanish J. Mark. - ESIC*, vol. 21, n.º 2, pp. 146-163, 2017.
- [91] S. Bice, K. Neely y C. Einfeld, "Next generation engagement: Setting a research agenda for community engagement in Australia's infrastructure sector", *Aust. J. Public Adm.*, vol. 78, n.º 2, pp. 290-310, 2019.

- [92] G. Burgess, M. Enzer y J. Schooling, "Flourishing systems", 2020.
- [93] S. O. Idowu, N. Capaldi, L. Zu y A. Das Gupta (editores), *Encyclopedia of Corporate Social Responsibility*. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [94] G. Baxter e I. Sommerville, "Socio-technical systems: From design methods to systems engineering", *Interact. Comput.*, vol. 23, n.º 1, pp. 4-17, 2011.
- [95] Fundación de Diseño Interactivo, "Socio-Technical Systems", 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.interaction-design.org/literature/topics/socio-technical-systems>. [Consultado: 13-Feb-2022].
- [96] G. Ridley, "National Security as a Corporate Social Responsibility: Critical Infrastructure Resilience", *J. Bus. Ethics*, vol. 103, n.º 1, pp. 111-125, 2011.
- [97] R. Brown, G. Prudent-Richard y K. O'Mara, "Emerging Practices to Manage Weather and Geological Risks. Enhancing power sector resilience", 2016.
- [98] R. Subba y T. Bui, "Online convergence behavior, social media communications and crisis response: An empirical study of the 2015 nepal earthquake police twitter project", en *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2017, pp. 284-293.
- [99] C. E. Young y E. D. Kuligowski, "NIST Technical Note 2086 A Review of Social Media Use During Disaster Response and Recovery Phases NIST Technical Note 2086 A Review of Social Media Use During Disaster Response and Recovery Phases", 2020.
- [100] C. O. Aigbavboa, A. E. Oke, D. O. Aghimien y O. I. Akinradewo, "Improving resilience of cities through smart city drivers", *Constr. Econ. Build.*, vol. 20, n.º 2, pp. 45-64, 2020.
- [101] P. Bronder, "Renewable Energy Access and Resilience in Urban Developing Area : Distributed Solar Networks and Peer-to-Peer Energy Trading in Puerto Rico," *Yale Univ. Eli Sch.*, n.º Julio, 2019.
- [102] J. Walters, J. Kaminsky y L. Gottschamer, "A systems analysis of factors influencing household solar PV adoption in Santiago, Chile", *Sustain*, vol. 10, n.º 4, pp. 1-17, 2018.
- [103] L. Chapman-Henderson y J. Ingargiola, "No Code. No Confidence: A Campaign to Strengthen National Building Code Awareness", 2020. [En línea]. Disponible: <https://hazards.colorado.edu/training/webinars/no-code-no-confidence>. [Consultado: 13-Feb-2022].
- [104] L. Chapman-Henderson y A. K. Rierson, "Why Americans Aren't Concerned About Building Codes (even though they should be)", 2019.
- [105] L. Budd y S. Ison, "Responsible Transport: A post-COVID agenda for transport policy and practice", *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.*, vol. 6, p. 100151, 2020.
- [106] K. Kessels, C. Kraan, L. Karg, S. Maggiore, P. Valkering, y E. Laes, "Fostering residential demand response through dynamic pricing schemes: A behavioural review of smart grid pilots in Europe", *Sustain*, vol. 8, n.º 9, 2016.
- [107] Y. Obayashi y K. Komiya, "Japan turns down the heat and dims the lights to avoid power cut after quake", *Reuters*, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.reuters.com/world/asia-pacific/japan-sees-partial-blackout-after-first-ever-power-supply-warning-2022-03-22/>. [Consultado: 23-Abr-2022].
- [108] M. Taylor y E. Young So, *Solar PV in Africa: Costs and market*, n.º septiembre. Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), 2016.

- [109] edinburghlive, "Several Edinburgh buses damaged and services disrupted as disorder increases", 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.edinburghlive.co.uk/news/edinburgh-news/several-edinburgh-buses-damaged-services-19952011>. [Consultado: 13-Feb-2022].
- [110] BBC News from Elsewhere, "South Africa: Metal thieves 'steal 10km of railway", 2014. [En línea]. Disponible: <https://www.bbc.co.uk/news/blogs-news-from-elsewhere-28311240>. [Consultado: 13-Feb-2022].
- [111] M. Jackson, "Copper Cable Thieves Strike Openreach AGAIN in Cambridgeshire UK", ISPreview, 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.ispreview.co.uk/index.php/2019/09/copper-cable-thieves-strike-openreach-again-in-cambridgeshire-uk.html>. [Consultado: 13-Feb-2022].
- [112] C. McSweeney y M. Remy, Building Roads to Democracy? The Contribution of the Peru Rural Roads Program to Participation and Civic Engagement in Rural Peru", 2008.
- [113] A. Peal, K. Chense y R. Mulumba, "Reducing vandalism of water and sanitation infrastructure: experience from Zambia's Copperbelt", 2014.
- [114] Naciones Unidas, "Objetivo de Desarrollo Sostenible 17", 2015. [En línea]. Disponible: <https://sdgs.un.org/es/goals/goal17>. [Consultado: 26-abr-2022].
- [115] Deloitte, "New Technologies Case Study: Data Sharing in Infrastructure", 2017.
- [116] G. Marks, "Structural Policy and Multilevel Governance in the EC", en The State of the European Community, A. Cafruny y G. Rosenthal, Eds. CO: Lynne Rienner, 1993, pp. 391-411.
- [117] L. Hooghe, Cohesion Policy and European Integration: Building Multi-Level Governance. Oxford: Oxford University Press, 1996.
- [118] R. Biggs, M. Schlüter, y M. L. Schoon, (eds) Principles for Building Resilience: Sustaining Ecosystem Services in Social-Ecological Systems. Cambridge University Press, 2015.
- [119] OCDE, Rethinking Regional Development Policy-making OECD Multi-level Governance Studies. Publicaciones de la OCDE, París, 2018.
- [120] K. Carlisle y R. L. Gruby, "Polycentric Systems of Governance: A Theoretical Model for the Commons", Policy Stud. J., vol. 47, n.º 4, pp. 921-946, 2019.
- [121] J. Keller, "How do data institutions facilitate safe access to sensitive data?" 2021. [En línea]. Disponible: <https://theodi.org/article/how-do-data-institutions-facilitate-safe-access-to-sensitive-data/>. [Consultado: 17-Feb-2022].
- [122] Asociación WEISF, "Information Sharing Protocols", 2021. [En línea]. Disponible: <https://weisf.essex.gov.uk/information-sharing-protocols/>. [Consultado: 17-Feb-2022].
- [123] A. Adetola, J. Goulding y C. Liyanage, "Collaborative engagement approaches for delivering sustainable infrastructure projects in the AEC sector: A review", Int. J. Constr. Supply Chain Manag., vol. 1, n.º 1, pp. 1-24, 2011.
- [124] E. Baldwin, C. Washington-Ottombre, J. Dell'Angelo, D. Cole y T. Evans, "Polycentric Governance and Irrigation Reform in Kenya", Governance, vol. 29, n.º 2, pp. 207-225, 2016.
- [125] Consejo Nacional de ISAC, "Information Sharing and Analysis Centers and Their Role in Critical Infrastructure Protection", 2016.
- [126] Open Data Institute (ODI), "Trustworthy Data Stewardship Guidelines", 2021. [En línea]. Disponible: <https://open-data-institute.gitbook.io/p22-trustworthy-data-stewardship-guidebook/-MW92wuAXMrYPE7sgA-M/demonstrate/how-to-publish>. [Consultado: 05-May-2022AD].

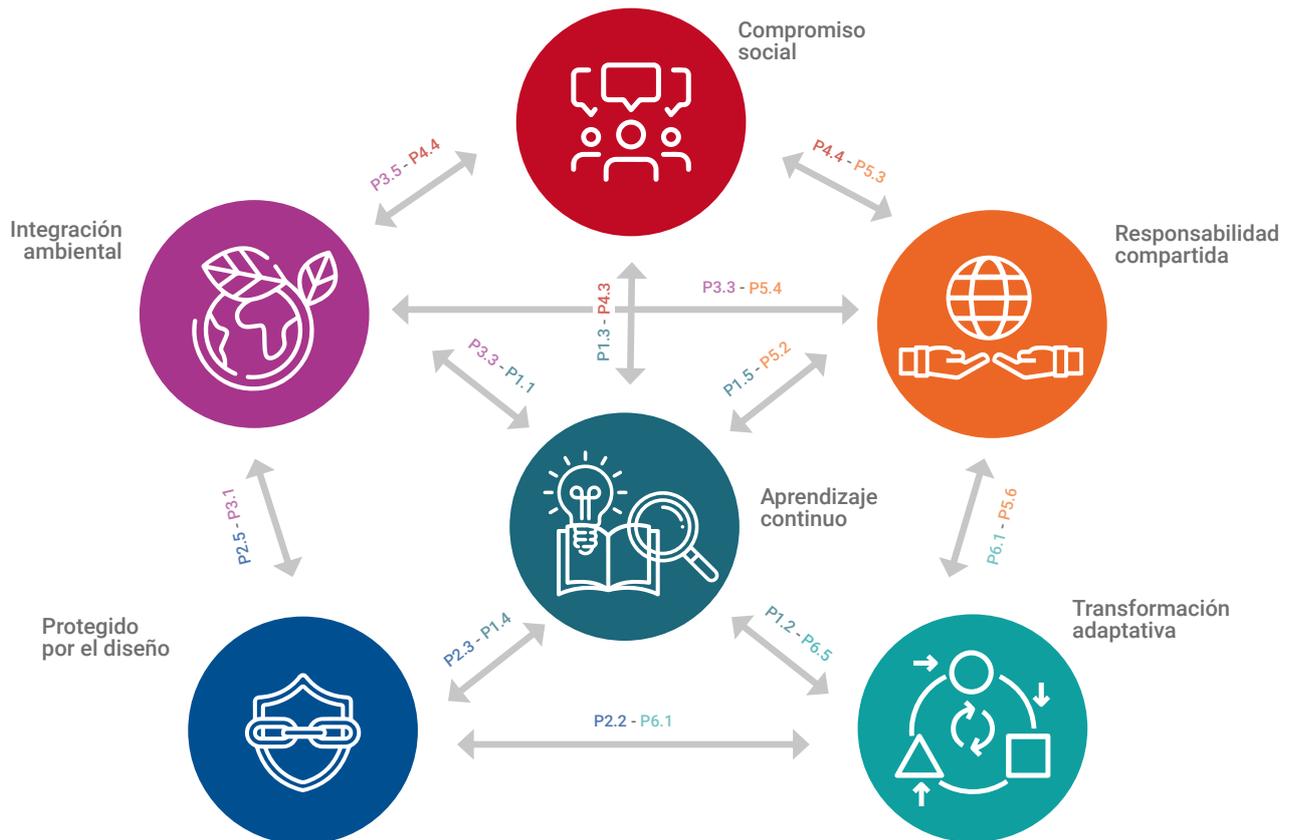
- [127] UNCTAD, "The role of disclosure in risk assessment and enhancing the usefulness of corporate reporting in decision-making", en Secretaría de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, 2017.
- [128] Asociación Nacional de Comisionados de Seguros (NAIC), "Infrastructure Investments", 2021. [En línea]. Disponible: https://content.naic.org/cipr_topics/topic_infrastructure_investments.htm. [Consultado: 13-Feb-2022].
- [129] S. Merrill, "Lifecycle Design and Cumulative Benefit-Cost Analysis for Transportation Resiliency", Center for Infrastructure Protection and Homeland Security, 2016. [En línea]. Disponible: <https://cip.gmu.edu/2016/12/07/lifecycle-design-cumulative-benefit-cost-analysis-transportation-resiliency/>. [Consultado: 05-mayo-2022].
- [130] T. Devisscher et al., "Understanding the socio-institutional context to support adaptation for future water security in forest landscapes", *Ecol. Soc.*, vol. 21, n.º 4, 2016.
- [131] N. Brooks, "Vulnerabilidad, riesgo y adaptación: Un marco conceptual. Tyndall Centre for Climate Change Research and Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE)", 2003.
- [132] D. D. Woods, "The theory of graceful extensibility: basic rules that govern adaptive systems", *Environ. Syst. Decis.*, vol. 38, n.º 4, pp. 433-457, 2018.
- [133] W. R. Ashby, "Requisite Variety and Its Implications for the Control of Complex Systems", en *Facets of Systems Science. International for Systems Research International Series on Systems Science and Engineering, Vol 7.*, Springer, Boston, MA, 1991, pp. 405-417.
- [134] S. E. van der Merwe, R. Biggs y R. Preiser, "A framework for conceptualizing and assessing the resilience of essential services produced by socio-technical systems", *Ecol. Soc.*, vol. 23, n.º 2, 2018.
- [135] LivinSpaces, "Standing on Sand: The Sand Bag House by MMA Architects in Freedom Park, South Africa", 2014. [En línea]. Disponible: <https://livinspace.net/projects/architecture/standing-on-sand-the-sand-bag-house-by-mma-architects-in-freedom-park-south-africa/>. [Consultado: 13-Feb- 2022].
- [136] M. van Noordwijk, Y. S. Kim, B. Leimona, K. Hairiah y L. A. Fisher, "Metrics of water security, adaptive capacity, and agroforestry in Indonesia", *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, vol. 21, pp. 1-8, 2016.
- [137] C. J. Kirchhoff, F. Lara-Valencia, J. Brugger, Federation P. Mussetta, y N. Pineda-Pablos, "Towards joint consideration of adaptive capacity and water security: lessons from the arid Americas", *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, vol. 21, pp. 22-28, 2016.
- [138] D. D. Woods, "Resilience as Graceful Extensibility to Overcome Brittleness", en *Resource Guide on Resilience*, IRGC, Ed. Lausana: EPFL International Risk Governance Center, 2016, pp. 1-6.
- [139] CTV news, "Water from Assiniboine River flowing through deliberate dike breach", 2011. [En línea]. Disponible: <https://winnipeg.ctvnews.ca/water-from-assiniboine-river-flowing-through-deliberate-dike-breach-1.643246>. [Consultado: 13-Feb- 2022].
- [140] A. Degani, *Taming HAL: Designing Interfaces Beyond 2001*. Palgrave Macmillan, 2004.

Apéndice A

Interdependencias

Los principios son un sistema de objetivos. Las acciones clave que sustentan cada principio son inevitablemente interdependientes. La figura 3 destaca las principales interdependencias entre las acciones clave. Por ejemplo, el P3.3, Integrar la información sobre ecosistemas, es interdependiente del P5.4, Mejorar la conectividad para compartir la información.

Figura 3: Principios interdependientes para la infraestructura resiliente



Apéndice B

Asignación al MSRRD y al ODS9

Actividades clave que se corresponden con la meta D del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (MSRRD), el Objetivo 9 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las capacidades de resiliencia

	Actividad clave	Objetivo del MSRRD	Objetivo 9 de los ODS	Capacidad de resiliencia	
Aprendizaje continuo	P1.1 Exponer y validar las hipótesis	D4, D8	9.5. La adopción de estas medidas puede aumentar la investigación científica, mejorar la capacidad tecnológica, fomentar la innovación y aumentar sustancialmente el número de personas que trabajan en investigación y desarrollo por millón de habitantes y los gastos de los sectores públicos y privados en investigación y desarrollo.	Prevenir todos los riesgos	
	P1.2 Supervisar e intervenir adecuadamente				
	P1.3 Analizar, aprender y formular mejoras				
	P1.4 Realizar pruebas de resistencia				
Protegido por el diseño	P2.1 Elevar los requisitos esenciales de seguridad	D4, D8	9.1 Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad	Prevenir todos los desastres	
	P2.2 Superar los requisitos básicos de los componentes críticos	-		Prevenir todos los desastres	
	P2.3 Considerar las interdependencias complejas de las redes conectadas	D4, D8		Asumir los fallos	
	P2.4 Incorporar la gestión de emergencias	D8		Resistir y asumir los fracasos	
	P2.5 Diseñar la infraestructura para que falle con seguridad	-		Asumir los fallos	
	P2.6 Diseñar para múltiples escalas	D8		Mejorar el proceso de recuperación	
	P2.7 Compromiso de mantenimiento	D4, D8		9.1 Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad	Adaptarse a todos los desastres
	P2.8 Trazar inversiones a largo plazo				Prevenir todos los desastres

	Actividad clave	Objetivo del MSRRD	Objetivo 9 de los ODS	Capacidad de resiliencia
Integración ambiental	P3.1 Reducir el impacto ambiental	D4, D8	9.4. La adopción de medidas respetuosas con el medio ambiente y la mayor adaptación al entorno natural favorecen tanto la sostenibilidad del medio ambiente como la resiliencia de los sistemas de infraestructuras y la reducción de las emisiones de CO2.	Prevenir el riesgo de desastres de origen natural
	P3.2 Utilizar soluciones medioambientales	D4, D8	9.4. Mayor adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y respetuosos con el medio ambiente.	Resistir ante el riesgo de desastres de origen natural; asumir los efectos de los desastres con un origen de peligro natural; acomodar el entorno natural
	P3.3 Integrar la información sobre ecosistemas	D8	9.4. La adopción de medidas respetuosas con el medio ambiente y la mayor adaptación al entorno natural pueden favorecer tanto la sostenibilidad del medio ambiente como la resiliencia de los sistemas de infraestructuras y la reducción de las emisiones de CO2.	Prevenir el riesgo de desastres de origen natural; adaptarse a las condiciones del entorno natural
	P3.4 Mantener el entorno natural	D4, D8		Prevenir las interrupciones causadas por los desastres de origen natural
	P3.5 Utilizar recursos locales sostenibles	D8	9.4. Eficiencia en el uso de los recursos.	Resistir a los fallos
Compromiso social	P4.1 Informar a la gente sobre las interrupciones		9.1. Al proporcionar los requisitos necesarios para tener personas más informadas, educadas, activas y comprometidas, no solo se aumenta la resiliencia de las infraestructuras, sino que se puede mejorar el bienestar y el desarrollo humanos.	Evitar cargas de uso inmanejables; resistir en situaciones de emergencia con un nivel de suministro más bajo
	P4.2 Aumentar la alfabetización en materia de resiliencia			Apoyar la transformación para aplicar más avances técnicos necesarios para ser más resilientes
	P4.3 Incentivar el comportamiento de la demanda		9.c. La familiarización de las personas con los avances técnicos y la accesibilidad de las tecnologías de la comunicación favorecen la resiliencia tanto de las infraestructuras como de las sociedades humanas.	Evitar altas cargas de uso inasumibles; resistir fallos bruscos mediante un nivel de uso manejable
	P4.4 Fomentar la participación de la comunidad			Prevenir las interrupciones provocadas por el hombre; mejorar el proceso de recuperación mediante la participación del público

	Actividad clave	Objetivo del MSRRD	Objetivo 9 de los ODS	Capacidad de resiliencia
Responsabilidad compartida	P5.1 Armonizar las normas abiertas	D4, D8	<p>9.5. La adopción de estas medidas puede mejorar las capacidades tecnológicas y fomentar la innovación.</p> <p>9.b. Apoyar el desarrollo de la tecnología nacional, la investigación y la innovación en los países en desarrollo, incluso garantizando un entorno político propicio para, entre otras cosas, la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos.</p> <p>9.c. Aumentar significativamente el acceso a la tecnología de la información y las comunicaciones y esforzarse por proporcionar acceso universal y asequible a Internet.</p>	Resiliencia para todo el ciclo de vida
	P5.2 Cultivar la gestión colaborativa			Prevenir el fracaso; mejorar el proceso de recuperación
	P5.3 Establecer responsabilidades compartidas			
	P5.4 Mejorar la conectividad para compartir la información	-		Apoyar la transformación hacia enfoques basados en datos para ser más resilientes; prevenir el fracaso; mejorar el proceso de recuperación
	P5.5 Garantizar la seguridad de los datos para desarrollar la confianza			Apoyar la transformación hacia enfoques basados en datos para ser más resilientes
	P5.6 Compartir información sobre riesgos y rendimientos	D8		Prevenir el fracaso
	P5.7 Mitigar las pérdidas en materia de resiliencia evitables			
Transformación adaptativa	P6.1 Elegir soluciones manejables	-	<p>9.1: Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas las regionales y transfronterizas.</p>	Adaptarse, transformarse y recuperarse más fácilmente
	P6.2 Crear capacidad de adaptación	D4		Resistir y asumir los fallos; adaptarse a los fallos; mejorar el proceso de recuperación
	P6.3 Desarrollar una gestión flexible			Adaptarse a los fallos; mejorar el proceso de recuperación
	P6.4 Habilitar la capacidad de transformación			Adaptarse a los fracasos; asumir los fracasos
	P6.5 Tener en cuenta el criterio humano			Resistir a los fallos; adaptarse a los fallos; mejorar el proceso de recuperación



Oficina de Naciones Unidas para la
Reducción del Riesgo de Desastres

7bis Avenue de la Paix, CH1211
Ginebra 2, Suiza

www.undrr.org

www.preventionweb.net