

Transformando la construcción en América Latina y el Caribe

Digitalización e innovación como claves para la sostenibilidad

Belén Baptista

Nayib Tala

Sandra López

Pauline Henriquez

Wilhelm Dalaison

Camilo Saldías

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Competitividad, Tecnología e Innovación
Sector de Instituciones para el Desarrollo
Sector de Infraestructura y Energía

Noviembre 2024

Transformando la construcción en América Latina y el Caribe

Digitalización e innovación como claves para la sostenibilidad

Belén Baptista
Nayib Tala
Sandra López
Pauline Henriquez
Wilhelm Dalaison
Camilo Saldías

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Competitividad, Tecnología e Innovación
Sector de Instituciones para el Desarrollo
Sector de Infraestructura y Energía

Noviembre 2024



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

Transformando la construcción en América Latina y el Caribe: digitalización e innovación como claves para la sostenibilidad/ Belén Baptista, Nayib Tala, Sandra López, Pauline Henriquez, Wilhelm Dalaison, Camilo Saldías.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 3025)
Incluye referencias bibliográficas.

1. Sustainable construction-Latin America. 2. Sustainable construction-Caribbean Area. 3. Construction industry-Technological innovations-Latin America. 4. Construction industry-Technological innovations-Caribbean Area. 5. Technological literacy-Latin America. 6. Technological literacy-Caribbean Area. I. Baptista, Belén. II. Tala, Nayib. III. López Tovar, Sandra. IV. Henriquez, Pauline. V. Dalaison, Wilhelm. VI. Saldías, Camilo. VII. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Competitividad, Tecnología e Innovación. VIII. Banco Interamericano de Desarrollo. Sector de Infraestructura y Energía. IX. Serie. IDB-TN-3025

Códigos JEL: L74, L78, O14, O32, O33, O38, Q5, Q56, Q58

Palabras clave: construcción, desarrollo económico, innovación, cambio tecnológico y crecimiento, elección de la tecnología, gestión de la innovación tecnológica y la investigación y desarrollo, sostenibilidad, adaptación al cambio climático, políticas públicas, economía ambiental

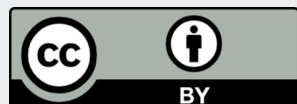
<http://www.iadb.org>

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

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

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

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



TRANSFORMANDO LA CONSTRUCCIÓN EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: Digitalización e innovación como claves para la sostenibilidad

Belén Baptista, Nayib Tala, Sandra López, Pauline Henriquez, Wilhelm Dalaison y Camilo Saldías



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	5	ANEXO I. LISTADO DE PERSONAS ENTREVISTADAS	46
RESUMEN EJECUTIVO	6	ANEXO II. PAUTAS DE LAS ENTREVISTAS	47
1. INTRODUCCIÓN	8	ANEXO III. INICIATIVAS IDENTIFICADAS POR PAÍS	53
2. SOLUCIONES HABILITANTES PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE	11	ANEXO IV. TIPOS DE SOLUCIONES PROMOVIDAS POR PAÍS	60
2.1. TECNOLOGÍAS DIGITALES AVANZADAS	12	ANEXO V. GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO SOBRE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE	64
2.2. DISEÑO CON ENFOQUE SOSTENIBLE	16		
2.3. MATERIALES SOSTENIBLES	17		
2.4. SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA	20		
2.5. MEDICIÓN Y VERIFICACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	24		
2.6. ENFOQUES DE GESTIÓN EFICIENTES	26		
2.7. INTERRELACIÓN DE SOLUCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE	28		
2.8. GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO SOBRE TIPOS DE SOLUCIONES	31		
3. EXPERIENCIAS, RETOS Y OPORTUNIDADES PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	32		
3.1. INICIATIVAS QUE CONTRIBUYEN A LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE	33		
3.2. TIPOS DE SOLUCIONES PROMOVIDAS	34		
3.3. OBSTÁCULOS Y DESAFÍOS	36		
3.4. FACTORES QUE PROMUEVEN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE	38		
3.5. IDENTIFICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS	39		
4. CLAVES DEL FUTURO PARA TRANSFORMAR EL SECTOR	41		

ÍNDICE RECUADROS

Recuadro 1. Construcción sostenible	9
Recuadro 2. Metodología del estudio “Mapeo de herramientas digitales y métodos constructivos innovadores para un sector de la construcción sostenible”	10
Recuadro 3. Ejemplo de integración de soluciones <i>Building Information Modeling</i> y <i>LEAN Construction</i> : evaluación de impactos del Proyecto CAIF Aeroparque en Uruguay	14
Recuadro 4. Los métodos modernos de construcción en Reino Unido	22
Recuadro 5. Normativa de constructibilidad y construcción volumétrica prefabricada y preacabada en Singapur	23
Recuadro 6. Metodologías de cálculo de huella de carbono	25

ÍNDICE GRÁFICOS

Gráfico 1. Categorías de soluciones para la construcción sostenible	12
Gráfico 2. Ejemplos de interrelación entre tipos de soluciones para la construcción sostenible	28
Gráfico 3. Ejemplos de interrelación entre tipos de soluciones para la construcción sostenible y la resiliencia climática, y ante desastres naturales	30
Gráfico 4. Publicaciones científico-tecnológicas en Scopus y según el tipo de solución para la construcción sostenible, período 2004-23	31
Gráfico 5. Número de iniciativas identificadas que contribuyen a la construcción sostenible	33
Gráfico 6. Iniciativas identificadas según el tipo de solución	34
Gráfico A5.1. Publicaciones científico-tecnológicas sobre construcción sostenible a nivel global, período 2003-22	64
Gráfico A5.2. Publicaciones científico-tecnológicas sobre construcción sostenible. Países con mayor producción a nivel global. Producción total, período 2017-22	65
Gráfico A5.3. Publicaciones científico-tecnológicas sobre construcción sostenible en América Latina y el Caribe, período 2003-22	66
Gráfico A5.4. Publicaciones científico-tecnológicas sobre construcción sostenible en países de América Latina y el Caribe. Producción total, período 2018-22	66

ÍNDICE CUADROS

Cuadro 1. Distribución de las organizaciones relevadas según tipo y país	32
Cuadro 2. Interrelación entre los diferentes tipos de soluciones y las iniciativas identificadas en Brasil, Chile, Costa Rica y Uruguay	35
Cuadro A1.1. Listado de personas entrevistadas	46
Cuadro A3.1. Brasil: iniciativas que contribuyen a la construcción sostenible	54
Cuadro A3.2. Chile: iniciativas que contribuyen a la construcción sostenible	56
Cuadro A3.3. Costa Rica: iniciativas que contribuyen a la construcción sostenible	57
Cuadro A3.4. Uruguay: iniciativas que contribuyen a la construcción sostenible	58
Cuadro A4.1. Brasil: iniciativas identificadas según el tipo de solución	60
Cuadro A4.2. Chile: iniciativas identificadas según el tipo de solución	61
Cuadro A4.3. Costa Rica: iniciativas identificadas según el tipo de solución	62
Cuadro A4.4. Uruguay: iniciativas identificadas según el tipo de solución	63



AGRADECIMIENTOS

La presente Nota Técnica recoge los hallazgos del estudio “Mapeo de herramientas digitales y métodos constructivos innovadores para un sector de la construcción sostenible”,¹ encargado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y financiado por la Cooperación Técnica Regional: Creación de la Red *Building Information Modeling* (BIM) de Gobiernos Latinoamericanos (RG-T3547). La estrategia metodológica desarrollada por el estudio combinó actividades de identificación, sistematización, procesamiento y análisis de diversas fuentes de información secundaria, y el diseño, ejecución y análisis de un relevamiento cualitativo de información primaria. Se agradece la valiosa contribución de las personas que se entrevistaron durante dicho estudio, que participaron y realizaron aportes en los talleres de presentación y validación de los avances del estudio, realizados en marzo de 2024. Para el desarrollo de esta Nota Técnica, se agradece la contribución, participación, comentarios constructivos y retroalimentación a Alexandra Alvear, Juan del Barrio, Carlos Díaz, Ana Avendaño, Livia Minoja, Adriana Salazar, Matteo Grazzi, Philip Keefer, Federico Brusa, Felipe Vera y Paula Cruz.

Palabras clave: sostenibilidad, digitalización, construcción sostenible, materiales sostenibles, industrialización, tecnologías digitales avanzadas, *building information modeling*, cambio climático, resiliencia.

¹ Desarrollado por Belén Baptista (2024).

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ALC	América Latina y el Caribe
ANDE	Agencia Nacional de Desarrollo (Uruguay)
ANII	Agencia Nacional de Investigación e Innovación (Uruguay)
ASCC	Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (Chile)
BANHVI	Banco Hipotecario de la Vivienda (Costa Rica)
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
BIM Gob Latam	Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos
BAECS	Bandera Azul Ecológica de Construcción Sostenible
CAIF	Centro de Atención a la Infancia y a la Familia (Uruguay)
CBCS	Consejo Brasileño de Construcción Sustentable (Brasil)
CBIC	Cámara Brasileña de la Industria de la Construcción (Brasil)
CCI	Consejo de Construcción Industrializada (Chile)
CCC	Cámara de la Construcción de Costa Rica (Costa Rica)
CDT	Corporación de Desarrollo Tecnológico (Chile)
CII-BIM	Comisión Interinstitucional para la Implementación BIM (Costa Rica)
CIPYCS	Centro Interdisciplinario de Productividad y Construcción Sustentable (Chile)
CND	Corporación Nacional para el Desarrollo (Uruguay)
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción (Chile)
CChC	Cámara Chilena de la Construcción (Chile)
CCU	Cámara de la Construcción del Uruguay (Uruguay)
CFIA	Colegio Federado Ingenieros y Arquitectos (Costa Rica)
CTEC	Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción (Chile)
DEO	Desempeño Energético Operacional de Edificios
FIIC	Federación Interamericana de la Industria de la Construcción

GEI	gases de efecto invernadero
IC	Instituto de la Construcción (Chile)
INA	Instituto Nacional de Aprendizaje (Costa Rica)
INAU	Instituto del Niño y Adolescente del Uruguay (Uruguay)
INVU	Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (Costa Rica)
MA	Ministerio de Ambiente (Uruguay)
MDICS	Ministerio de Desarrollo, Industria, Comercio y Servicios (Brasil)
MDR	Ministerio de Desarrollo Regional (Brasil)
MIDEPLAN	Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (Costa Rica)
MIEM	Ministerio de Industrias, Energía y Minería (Uruguay)
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía (Costa Rica)
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Chile)
MIVAH	Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (Costa Rica)
MMA	Ministerio de Medio Ambiente (Chile)
MME	Ministerio de Minas y Energía (Brasil)
MOP	Ministerio de Obras Públicas (Chile)
MVOT	Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial (Uruguay)
NDC	contribuciones determinadas a nivel nacional (por sus siglas en inglés)
RCD	residuos de construcción y demolición
RECEPETI	Red Catarinense de Innovación (Brasil)
RESET	Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico
RELAMAD	Red Latinoamericana de Madera Estructural
SC	Secretaría de Ciudades (Brasil)
SIDAC	Sistema de Información de Desempeño Ambiental de la Construcción
VUIS	Modelo de Vivienda Urbana Inclusiva y Sostenible

RESUMEN EJECUTIVO

América Latina y el Caribe (ALC) ha avanzado significativamente en la incorporación de medidas de sostenibilidad en los proyectos de infraestructura. Existen ejemplos notables en algunos países que demuestran que el sector de la construcción, así como el sector público y el académico, tienen el potencial y el interés de avanzar hacia una construcción más sostenible. Sin embargo, las iniciativas aún son incipientes y requieren de un impulso mayor para lograr escalabilidad y la transformación del sector. La digitalización de la industria de la construcción es una herramienta clave para potenciar esta transformación. Si bien existen iniciativas, y la industria también avanza hacia la incorporación de más herramientas digitales, se requiere un mayor empuje desde el sector público. En la medida que estas iniciativas se prolonguen de forma coordinada y complementaria, la región podrá encaminarse hacia una construcción sostenible de manera más amplia con el impulso de las herramientas digitales. Esta Nota Técnica se centra en

establecer cómo la digitalización y los métodos constructivos innovadores son una oportunidad para fomentar la construcción sostenible en ALC.

El documento se organiza en cuatro secciones principales. Seguido a una introducción, la segunda sección categoriza diferentes tipos de soluciones actuales que permiten facilitar y promover la construcción sostenible. La tercera sección analiza las iniciativas, los desafíos, obstáculos y factores que promueven buenas prácticas en la construcción sostenible en Brasil, Chile, Costa Rica y Uruguay, sobre la base de entrevistas a actores clave del sector. Por último, la cuarta sección presenta una serie de conclusiones y recomendaciones para que estas oportunidades habiliten y faciliten la transformación del sector de la construcción de ALC hacia un sector sostenible, digitalizado y resiliente.

I. Tipos de soluciones habilitantes² para la construcción sostenible

Las diferentes iniciativas se clasifican en seis categorías:

- ◆ **Tecnologías digitales avanzadas:** Metodologías y tecnologías tales como *Building Information Modeling* (BIM), inteligencia artificial, analítica de datos, realidad extendida, internet de las cosas y *blockchain*, que optimizan la eficiencia de recursos, minimizan los residuos y facilitan la toma de decisiones informadas. El BIM es un ejemplo clave y la puerta de entrada a otras oportunidades de digitalización.
- ◆ **Diseño con enfoque sostenible:** También conocido como ecodiseño, se enfoca en desarrollar proyectos eficientes en el uso de recursos y energía, adaptados a las condiciones climáticas, con bajo impacto ambiental y saludables para los usuarios. Incide a lo largo de toda la vida útil de la infraestructura.

² En este contexto, las soluciones habilitantes o habilitadoras se entenderán como metodologías, sistemas, productos o servicios que aceleran, facilitan, promueven y/o entregan la capacidad, la habilidad o los medios para lograr un fin específico; en este caso, facilitar la construcción sostenible.

- ◆ **Materiales sostenibles:** Son aquellos que generan menor impacto ambiental durante todo su ciclo de vida. Incluyen materiales con bajas emisiones de carbono, reciclables y reutilizables, y materiales locales para minimizar emisiones de transporte, entre otros.
- ◆ **Sistemas de construcción industrializada:** Alternativas a los sistemas tradicionales que incluyen prefabricación, construcción ligera, construcción modular y sistemas de impresión 3D, entre otras, y permiten reducir el tiempo de construcción, los escombros y el impacto ambiental, y facilitan la circularidad.
- ◆ **Medición y verificación del impacto ambiental:** Involucra la cuantificación y la certificación del impacto ambiental de los activos de construcción mediante herramientas como la medición de la huella de carbono y certificaciones sostenibles, por ejemplo, *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)*, *Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE)* y *Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)*, entre otras.

- ◆ **Enfoques de gestión eficientes:** Métodos de gestión que mejoran la eficiencia en la construcción, reducen los retrasos y minimizan el impacto ambiental, incluyendo la gestión de residuos y la adopción de enfoques como *LEAN Construction* o *Advance Work Packaging*.

II. Experiencias, retos y oportunidades para la construcción sostenible en América Latina y el Caribe

A través de entrevistas a actores clave en Brasil, Chile, Costa Rica y Uruguay, se identificaron 44 iniciativas en desarrollo orientadas a la construcción sostenible, dos tercios de ellas lideradas por el sector gubernamental. Estas iniciativas han surgido de manera sostenida desde 2015, año que coincide con la firma del Acuerdo de París.

Entre las similitudes que se destacan, está el impulso gubernamental para poner en marcha políticas de vivienda sostenible y la adopción de tecnologías digitales avanzadas, como BIM. Sin embargo, se observa una baja integración de estas soluciones con miras a la construcción sostenible, lo que sugiere importantes oportunidades de mejora.

- ◆ **Obstáculos y desafíos:** Se señalaron brechas cognitivas y barreras significativas, como también las debilidades institucionales y la percepción de incompatibilidad entre sostenibilidad ambiental y económica. Además, se identificaron desafíos en la articulación y la sinergia de iniciativas, la demanda limitada de infraestructuras sostenibles y la informalidad en el sector de la construcción.

- ◆ **Factores que promueven:** Se destacó el impacto positivo de la pandemia de la COVID-19 y el cambio climático en la visibilidad de la relevancia de la construcción sostenible. Los compromisos climáticos nacionales y el apoyo técnico y financiero de organizaciones internacionales también fueron mencionados.

- ◆ **Buenas prácticas:** Se identificaron buenas prácticas, como el desarrollo de estrategias de *benchmarking* internacional, la cooperación técnica, la creación de comunidades de práctica, la capacitación de equipos técnicos y la formalización de mecanismos de articulación interinstitucional. Además, se destacaron mecanismos de fomento, como la compra pública innovadora y el diseño de incentivos financieros y no financieros.

III. Claves del futuro para transformar el sector

Esta Nota Técnica identifica los aspectos clave para promover la digitalización y el uso de sistemas constructivos y materiales innovadores para avanzar hacia la construcción sostenible en el contexto social, económico y climático de ALC.

Se considera crucial el liderazgo del sector público a largo plazo para impulsar la digitalización y la productividad, acoplando y fomentando la construcción sostenible en ALC. Para tal fin, es indispensable involucrar a todas las partes interesadas mediante una estrategia consensuada y una hoja de ruta detallada con objetivos claros y mecanismos de medición del progreso para lograr la transformación del sector. Una comunicación efectiva y amplia de la estrategia y la hoja de ruta es esencial para generar conciencia y apoyo a largo plazo.

Además, es fundamental fortalecer la colaboración entre los sectores público, privado y académico, estableciendo marcos de trabajo colaborativos que faciliten la implementación de la digitalización y soluciones innovadoras para la construcción sostenible.

Es necesario establecer incentivos financieros y no financieros para que las empresas del sector adopten prácticas sostenibles e inviertan en digitalización y en métodos de construcción eficientes e innovadores. La compra pública estratégica, incluyendo la compra pública de innovación y la compra pública verde, es un catalizador importante para impulsar la demanda de tecnologías y materiales sostenibles para transformar el sector.

Impulsar la digitalización es un factor clave, ya que optimiza e integra los procesos a lo largo de todo el ciclo de vida de la construcción, mejorando la transparencia, la eficiencia y la productividad del sector. Asimismo, implementar métodos de construcción eficientes y sostenibles, y garantizar su adopción generalizada, debe ser una prioridad.

Estas acciones permiten acelerar los procesos para avanzar hacia una industria de la construcción sostenible, resiliente y competitiva, capaz de responder a los desafíos ambientales y sociales de la región.

1

INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción a nivel global es el responsable del 13% del producto interno bruto (PIB) (McKinsey & Company, 2020) y del 7,7% de los empleos (250 millones),³ y en América Latina y el Caribe (ALC)⁴ tiene un rol crucial en la economía: representa el 6% del PIB regional, equivalente a US\$ 300.000 millones, y genera más de 20 millones de puestos de trabajo.

Sin embargo, enfrenta brechas significativas de productividad y digitalización, en comparación con otros sectores de la economía. Según un informe de McKinsey & Company (2017), la productividad en la construcción ha crecido solo un 1% anual

en las últimas dos décadas, en comparación con el 3,6% en la manufactura y el 2,8% en la agricultura; no obstante, la adopción de nuevas tecnologías está comenzando a transformar el sector de la construcción. Metodologías como *Building Information Modeling* (BIM), drones, internet de las cosas (IoT) y la inteligencia artificial están mejorando la eficiencia, reduciendo costos y aumentando la precisión en los proyectos. Según el informe de Deloitte (2021), las empresas de construcción que adoptan tecnologías avanzadas han registrado un aumento del 10% al 15% en la productividad, y una reducción de entre el 5% y el 10% en los costos operativos.

Además, el sector de la construcción es uno de los mayores emisores de gases de efecto invernadero (GEI) y consumidores de recursos naturales. De acuerdo con los últimos datos proporcionados por

World Green Building Council (WGBC) (2023), el sector de la construcción consume el 50% de los recursos extraídos a nivel mundial para materiales y el 15% del agua dulce utilizada, y es responsable del 37% de las emisiones globales de CO₂ relacionadas con la energía, y el 34% de la energía mundial es consumida por los edificios durante su operación. Además, el 35% de los residuos sólidos que se generan anualmente a nivel mundial provienen de materiales de construcción (Menegaki et al., 2018). Adicionalmente, se proyecta un fuerte crecimiento del sector a nivel global en los próximos años. Para infraestructura vertical, se estima que aún está pendiente construir el 60% de los edificios proyectados de aquí a 2050, y que el 20% de las estructuras ya existentes deberían someterse a renovaciones para lograr el objetivo de cero emisiones netas para 2030 (UNEP & GLOBAL ABC, 2024).

³ International Labour Organization (ILO), 2020.

⁴ Presentación de la Federación Interamericana de la Industria de la Construcción (FIIC) sobre la base de datos de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), el Fondo Monetario Internacional (FMI) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Para abordar este tipo de desafíos y lograr la transformación del sector de la construcción, se considera fundamental la adopción de una serie de medidas que impulsen la implementación de nuevas metodologías digitales y soluciones innovadoras que permitan alcanzar la construcción sostenible y la mitigación y adaptación al cambio climático (véase el recuadro 1), en línea con el Acuerdo de París. Esto implica acciones gubernamentales, empresariales y de la sociedad civil, como la definición de estrategias y hojas de ruta para desarrollar capacidades y habilitadores para la digitalización, y sistemas y materiales innovadores para la construcción sostenible que contribuyan a la construcción con bajas emisiones de carbono y resilientes al cambio climático; la adopción de metodologías y tecnologías digitales eficientes; el fortalecimiento de las competencias y capacidades digitales de los equipos involucrados; la incorporación de sistemas constructivos eficientes y materiales sostenibles; la especificación de estándares de construcción sostenible, y la implementación de políticas para la circularidad, la descarbonización y la resiliencia climática del sector, entre otras.

Recuadro 1. Construcción sostenible

La sostenibilidad en el sector de la construcción ha sido abordada desde hace tres décadas, a través de diversas definiciones que han evolucionado con el tiempo. En 1993, el *World Wildlife Fund* (WWF) introdujo una de las primeras definiciones, que incluía no solo los edificios, sino también su entorno y su impacto en la configuración de las ciudades (Alavedra, et al. 1997). Al año siguiente, en la Primera Conferencia Internacional sobre Construcción Sostenible, Charles Kibert^a definió la construcción sostenible como una responsabilidad ambiental durante todas las etapas del proceso constructivo, con el objetivo de minimizar el agotamiento de recursos y proporcionar un entorno saludable.

Desde entonces, se han propuesto múltiples definiciones de construcción sostenible, sin llegar a un consenso global (Gordano, Torchia y Corazza, 2023; Liu et al., 2022). Estas definiciones pueden variar en su enfoque, desde aspectos generales hasta consideraciones específicas sobre energía, recursos y calidad de vida. En 2019, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) estableció que “la infraestructura sostenible refiere a proyectos de infraestructura que son planificados, diseñados,

construidos, operados y desmantelados, asegurando la sostenibilidad económica y financiera, social, ambiental (incluyendo la resiliencia climática) e institucional a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto”. Esta definición integra dos enunciados principales: i) que la sostenibilidad de la infraestructura debe considerar todo el ciclo de vida del proyecto y ii) que la sostenibilidad de la infraestructura debe tomar en cuenta cuatro dimensiones relevantes: la ambiental, la económico/financiera, la social y la institucional.^b Además, detalla los atributos que constituyen cada una de las cuatro dimensiones de la sostenibilidad de la infraestructura (Bhattacharya, 2019). La presente Nota Técnica se enfoca en la dimensión ambiental, que incluye cuatro subdimensiones principales: i) uso sostenible y eficiente de los recursos naturales (energía, agua, materiales, etc.); ii) preservación del medio ambiente natural (biodiversidad, capital natural, manejo de suelos, conectividad ecológica y servicios ambientales, entre otros); iii) bajo nivel de contaminación (agua, aire, suelo, materiales peligrosos), y iv) resiliencia ante desastres naturales y cambio climático.

Por razones de simplificación, en el presente documento se utilizará el concepto de “construcción sostenible” para hacer referencia a la infraestructura sostenible en su dimensión ambiental, incluyendo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la resiliencia ante desastres naturales y cambio climático.

En este contexto, para esta Nota Técnica se entenderá por resiliencia (tanto al cambio climático como a los desastres naturales) a la capacidad de los sistemas y entornos naturales para enfrentar y absorber perturbaciones sin alterar sus características estructurales y funcionales de manera significativa, y para recuperarse a su estado original.^c Asimismo, el término “construcción” abarca actividades como la planificación, diseño, construcción, renovación, operación, mantenimiento y demolición de viviendas, edificios y obras de ingeniería civil (transporte, agua, saneamiento y energía, entre otras).

^a Charles Kibert –organizador de la Primera Conferencia Internacional sobre Construcción Sostenible- fue director del Centro de Construcción y Medio Ambiente de la Universidad de Florida y coordinador del grupo de trabajo internacional 16 del Conseil International du Batiment (CIB) sobre construcción sostenible, y, posteriormente, del grupo de trabajo 39 sobre deconstrucción.

^b Si bien varias definiciones de sostenibilidad de la construcción/infraestructura integran las dimensiones ambiental, económico/financiera y social, la publicación del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) de 2019 adiciona la dimensión de la sostenibilidad institucional, dada su importancia para las otras tres dimensiones y para la efectividad y el impacto a largo plazo de los proyectos.

^c Según el Centro para Soluciones Climáticas y Energéticas (C2ES), la resiliencia climática implica la capacidad de adaptarse a los cambios y recuperarse rápidamente de los eventos extremos relacionados con el clima, manteniendo la funcionalidad del sistema. Véase <https://www.c2es.org/content/climate-resilience-overview/>.

En este sentido, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) está colaborando con instituciones públicas en ALC para promover políticas de transformación digital en el sector de la construcción, incluyendo la adopción de metodologías como BIM y la mejora de la calidad de la información sobre emisiones de procesos constructivos. Además, se debe tomar en consideración que en los últimos veinte años ha habido un crecimiento sostenido de la producción científico-tecnológica a nivel global vinculada a las soluciones habilitantes para la construcción sostenible. Entre 2005 y 2022, la producción de artículos sobre el tema en la región tuvo una tasa promedio anual del 23%, aunque solo llega a representar el 3,6% de la producción anual a nivel global (Baptista, 2024).

Esta Nota Técnica se basa en una consultoría encargada por el BID (véase el recuadro 2) y busca establecer relaciones entre las aplicaciones, las herramientas digitales y los sistemas constructivos y materiales innovadores como una plataforma habilitadora para la construcción sostenible en ALC. Se encuentra organizada en cuatro secciones: (i) introducción; (ii) soluciones habilitantes para la construcción sostenible, que incluye un apartado sobre la generación de conocimiento científico tecnológico; (iii) análisis de experiencias, retos

y oportunidades de los principales hallazgos del relevamiento cualitativo realizado en Brasil, Chile, Costa Rica y Uruguay,⁵ y (iv) claves para el futuro para transformar el sector de la construcción. Además, presenta cinco anexos (anexo I: Listado de personas entrevistadas; anexo II: Pautas de entrevistas; anexo III: Iniciativas identificadas por país; anexo IV: Tipos de soluciones promovidas por país, y anexo V: Generación de conocimiento sobre construcción sostenible. Lo anterior permite identificar iniciativas, desafíos y buenas prácticas asociadas al desarrollo sostenible del sector de la construcción en la región.

5 Estos países fueron seleccionados debido a la identificación de iniciativas en desarrollo y a su capacidad de acceso a la información durante el período en el que se llevó a cabo el estudio.

Recuadro 2. Metodología del estudio “Mapeo de herramientas digitales y métodos constructivos innovadores para un sector de la construcción sostenible”

Este documento resume los hallazgos de la consultoría encargada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), “Mapeo de herramientas digitales y métodos constructivos innovadores para un sector de la construcción sostenible”. Su metodología combinó la identificación, la sistematización, el procesamiento y el análisis de diversas fuentes secundarias, junto con un relevamiento cualitativo basado en entrevistas semiestructuradas a actores relevantes del sector en la región.

El proceso de sistematización de información secundaria incluyó la revisión y el análisis de fuentes documentales y estadísticas relevantes relacionadas con metodologías y herramientas digitales y constructivas para mejorar la sostenibilidad en el sector de la construcción. Este proceso permitió identificar tendencias globales, buenas prácticas y el estado del arte en el desarrollo de soluciones sostenibles para la construcción.

La recopilación de información primaria se realizó por medio de entrevistas semiestructuradas con actores relevantes en cuatro países de América Latina y el Caribe (ALC): Brasil, Chile, Costa Rica y Uruguay. Se identificaron y entrevistaron a representantes de organizaciones gubernamentales, empresariales, académicas y profesionales vinculadas con el sector de la construcción. En total, se llevaron a cabo 20 entrevistas entre diciembre de 2023 y enero de 2024, con el objetivo de recabar percepciones, enfoques, iniciativas, desafíos y buenas prácticas asociadas a la implementación de soluciones sostenibles en el sector de la construcción en la región.

2

SOLUCIONES HABILITANTES PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

El análisis realizado permitió identificar seis categorías de soluciones y metodologías que contribuyen al desarrollo de la construcción sostenible: i) tecnologías digitales avanzadas; ii) diseño con enfoque sostenible; iii) materiales sostenibles; iv) sistemas constructivos industrializados; v) medición y verificación del impacto ambiental de las construcciones, y vi) enfoques de gestión eficientes (gráfico 1). En particular, las tecnologías digitales avanzadas son el factor común que actúa como un habilitante robusto en las diferentes categorías identificadas, potenciando la transformación del sector hacia la construcción sostenible.

En este sentido, se distinguen dos grupos de habilitantes. El primero, los habilitantes digitales que, por medio de metodologías, estándares y uso de plataformas y **herramientas digitales**, facilitan la toma de decisiones y hacen más eficiente la gestión y el desempeño de los proyectos para la construcción sostenible. Además, permiten integrar y obtener mayor beneficio del segundo grupo, los **habilitantes técnicos**, que involucran materiales, sistemas constructivos, criterios de diseño y metodologías de gestión.

Gráfico 1. Categorías de soluciones para la construcción sostenible



Fuente: Informe final de consultoría del BID, “Mapeo de herramientas digitales y métodos constructivos innovadores para un sector de la construcción sostenible” (Baptista, 2024).

A continuación, se describe cada categoría y cómo América Latina y el Caribe (ALC) ha avanzado en la generación de conocimiento científico-tecnológico asociada a cada una de ellas en los últimos años.

2.1. TECNOLOGÍAS DIGITALES AVANZADAS

Las tecnologías digitales avanzadas, que se han clasificado en el grupo de tecnologías habilitantes para la transformación del sector hacia la construcción sostenible, a lo largo de toda su cadena de valor, permiten, entre otras cosas, organizar y estructurar los datos para contar con información transparente, trazable, confiable y certera; optimizar la toma de decisiones, la gestión de los activos y proyectos; desarrollar simulaciones de diferentes escenarios; facilitar la medición de indicadores; potenciar el uso de los recursos; contribuir a minimizar los residuos de construcción, y reducir el tiempo de obra. En general, las tecnologías digitales avanzadas constituyen un habilitante para cada uno de los diferentes tipos de soluciones presentados, lo que permitirá maximizar los beneficios y multiplicar las posibilidades para la eficiencia operativa, el aumento de la productividad y la transformación del sector hacia la industria de la construcción más sostenible.

En este apartado se exponen algunas de las principales tecnologías habilitantes para la construcción sostenible, por ejemplo: i) la metodología *Building Information Modeling* (BIM) facilita y permite integrar y evaluar de forma eficiente diferentes soluciones con enfoque sostenible; ii) la inteligencia artificial (IA) puede contribuir a la gestión inteligente a lo largo de todo el ciclo de vida del activo; iii) la tecnología *blockchain* puede ser utilizada para verificar certificaciones de sostenibilidad ambiental; iv) la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) contribuyen a la visualización y el análisis de alternativas para el diseño con enfoque sostenible, y v) los materiales reciclables o reciclados pueden ser incorporados en la obra mediante la fabricación digital o aditiva. Adicionalmente, la simulación por medio de la IA permite evaluar la resiliencia y la adaptación de la infraestructura a los efectos del cambio climático. Asimismo, el uso de herramientas digitales avanzadas permite examinar amenazas y riesgos, y guiar la toma de decisiones respecto a la selección de sitios de construcción.⁶

⁶ Algunas herramientas digitales de este tipo son *Think Hazard*, *Climate Change Knowledge Portal*, *GeoNode*, *Building Resilience*, *VIGEA* y el Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales (Fischel et al., 2023).

Estas tecnologías digitales avanzadas habilitan y facilitan la implementación de metodologías y herramientas para impulsar la construcción con enfoque sostenible.

2.1.1. Metodología *Building Information Modeling*

La metodología BIM⁷ es un conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar un activo de forma colaborativa en un espacio virtual.⁸ BIM permite organizar, estructurar, definir y capturar datos e información (geométricos y alfanuméricos) valiosos que pueden gestionar las partes interesadas en el ciclo de vida del proyecto. La metodología BIM puede ser aplicada a proyectos de diferentes tipologías, independientemente de su complejidad y envergadura. No obstante, debería implementarse de manera proporcional y adaptada a la escala y la complejidad del activo o proyecto.⁹

7 Representación digital compartida de un activo construido (artículo, cosa o entidad que tiene valor potencial o real para una organización) para facilitar los procesos de diseño, construcción y operación para formar un fundamento confiable para las decisiones, basado en ISO 19650-1 (2018).

8 Sobre la base del Estándar BIM para proyectos públicos, Planbim de CORFO (2019).

9 Basado en ISO 19650-1 (2018).

A través del manejo y la gestión de modelos paramétricos tridimensionales y la incorporación de múltiples datos (tales como tiempo, costos, consumo de energía, condiciones ambientales, huella de carbono, entre otros), permite a los usuarios gestionar la información de manera eficiente y centralizada, posibilita automatizar procesos y tareas para la planificación, el diseño conceptual, la simulación y el análisis, la documentación, fabricación, logística de construcción, operación, mantenimiento, reformas y/o demolición del activo, entre otros. Un ejemplo de ello es la iniciativa Pasaporte de Materiales,¹⁰ una plataforma digital que, por medio de la integración de modelos 3D paramétricos (BIM) con datos y funcionalidades, permite el registro, trazabilidad, caracterización, verificación y validación de información técnica, de sustentabilidad, toxicidad y circularidad de los diferentes materiales y productos que se utilizan en la construcción.

A su vez, los modelos tridimensionales digitales permiten gestionar las características físicas y funcionales del activo, y la integración y la colaboración de profesionales, técnicos y partes interesadas para la definición de un proyecto preciso y detallado, lo que disminuye la necesidad de ajustes y/o retrabajos durante la fase de obra.

10 En la sección 3, apartado 3.1. se presenta mayor detalle sobre esta herramienta.

La metodología BIM, al estar basada en estándares, permite y facilita compartir información de forma estructurada y organizada entre los diferentes actores involucrados en el proyecto, fomentando así el trabajo colaborativo.

BIM es un habilitador clave para la aplicación de tecnologías digitales avanzadas en el sector de la construcción (WEF, 2016). Al vincularse con otras tecnologías digitales avanzadas presentadas, BIM constituye una plataforma digital poderosa, muy valiosa para planificar, diseñar, construir y operar infraestructuras con un menor impacto ambiental. Estudios muestran que la metodología BIM permite aumentar la productividad un 13%, reducir un 4% costos y plazos y disminuir un 6% los requerimientos de información en obra (Dodge Data & Analytics, 2017), y contribuye a la sostenibilidad ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida de la infraestructura.

Recuadro 3. Ejemplo de integración de soluciones *Building Information Modeling* y *LEAN Construction*: evaluación de impactos del Proyecto CAIF Aeroparque en Uruguay

La Corporación Nacional de Desarrollo (CND) de Uruguay, a través del fideicomiso del Instituto del Niño y Adolescente del Uruguay (INAU), gestionó entre 2019 y 2021 un proyecto piloto para la construcción del CAIF Aeroparque utilizando la metodología *Building Information Modeling* (BIM) en las etapas de diseño y construcción, junto con la metodología *LEAN Construction* durante la gestión. Este proyecto se destacó por la integración de ambas metodologías, con el objetivo de mejorar la eficiencia y reducir costos y tiempos de ejecución.

La evaluación de resultados del proyecto piloto, basada en técnicas de investigación cuantitativas y cualitativas, mostró una mayor eficiencia en el proceso constructivo del CAIF Aeroparque en comparación con cinco grupos de control. En términos de tiempo, el proyecto exhibió un mejor desempeño en los indicadores de plazo de obra y de respuesta a observaciones de obra, y se destacó especialmente frente al grupo de obras construidas durante la pandemia de la COVID-19. Este desempeño superior sugiere que el CAIF Aeroparque contaba con mejores

condiciones organizativas y operativas para enfrentar los contratiempos derivados de la emergencia sanitaria. El proyecto piloto también mostró tiempos de respuesta frente a incidencias de obra significativamente mejores, con variaciones de aproximadamente el 50% respecto al promedio de los controles, y un desempeño superior al menos en el grupo de control de centros CAIF con presupuesto similar.

En términos de costos, el proyecto piloto registró un sobrecosto 63% menor que el de obras similares ejecutadas durante la pandemia, ubicándose a más de tres desviaciones estándar de la media. Este resultado evidencia el impacto significativo de la pandemia sobre los costos de construcción y destaca el éxito relativo del enfoque BIM-*LEAN Construction* para mitigar los efectos negativos del contexto de crisis en el presupuesto. El análisis de costos asociados a imprevistos sobre el costo total del contrato mostró variaciones del orden del 90% respecto al promedio de los cinco grupos de control, confirmando un mejor desempeño del proyecto piloto en la prevención de errores y modificaciones críticas del presupuesto.

En resumen, la evidencia sugiere que la integración de las metodologías BIM y *LEAN Construction* en el proyecto piloto CAIF Aeroparque fue efectiva para reducir tanto los tiempos como los costos relativos de ejecución de la obra. Un menor tiempo de construcción y menos imprevistos implica la reducción de consumo de energía y un uso de materiales más preciso, lo cual puede conducir a emisiones comparativas más bajas. Los resultados cuantitativos y cualitativos, y las entrevistas a los protagonistas del proyecto, refuerzan estos hallazgos y subrayan la eficacia de estas metodologías para mejorar la eficiencia y la gestión de proyectos en el sector de la construcción.

2.1.2. Inteligencia artificial

La IA¹¹ aplicada en la gestión de la construcción puede contribuir a la sostenibilidad en las diferentes etapas del ciclo de vida de los proyectos. Durante la planificación y el diseño, ayuda a definir diseños sostenibles, a examinar múltiples propuestas e iterar de forma más ágil, a desarrollar simulaciones y análisis complejos (eficiencia energética, orientación solar, consumo de energía, huella de carbono, desempeño de materiales, comportamiento ante condiciones climáticas extremas), y a obtener una mejor respuesta al cambio climático y/o a los desastres naturales.

Durante la construcción, la IA facilita la planificación del sitio y la logística de la obra para optimizar áreas de trabajo, la secuencia constructiva y las rutas de transporte eficientes, reduciendo el uso de recursos y el tiempo de obra. Además, puede apoyar la gestión de residuos identificando oportunidades para reciclar y reducir residuos, contribuyendo al cálculo de la huella de carbono de la obra y distinguiendo áreas de mejora y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

¹¹ Según la definición de la Real Academia Española (RAE), "disciplina científica que se ocupa de crear programas informáticos que ejecutan operaciones comparables a las que realiza la mente humana, como el aprendizaje o el razonamiento lógico".

En operación y mantenimiento, la IA puede contribuir a la gestión de la energía vinculada a internet de las cosas (IoT) y a monitorear y controlar sistemas (calefacción, ventilación, aire acondicionado, iluminación y otros sistemas de energía) en tiempo real para optimizar el consumo. Esto también puede facilitar el mantenimiento y mejorar el análisis de datos de sensores y sistemas de monitoreo, identificando potenciales fallas y priorizando las actividades de mantenimiento. El funcionamiento óptimo prolonga la vida útil y deriva en un menor impacto ambiental. A modo de ejemplo, se utilizan metamodelos de redes neuronales artificiales (ANN) para desarrollar simulaciones de rendimientos del consumo de energía de edificios, lo que mejora la definición del diseño, ya que el nivel de precisión de las simulaciones es sumamente confiable y la relación entre la precisión obtenida y el costo computacional es muy favorable (Roman et al., 2020).

2.1.3. Analítica de datos masivos

El análisis de datos masivos¹² o *big data*¹³ es una herramienta digital capaz de pro-

12 Proviene originalmente del ámbito de las ciencias de la computación y se refiere a un conjunto de datos cuyo tamaño excede al que puede manejar el software y el hardware estándares (Rodríguez et al. 2017). Véase <http://dx.doi.org/10.18235/0000893>.

13 Su tecnología fue desarrollada sobre la base de cinco pilares: volumen, velocidad, variedad, veracidad y valor, y se puede aplicar tanto a datos estructurados como no estructurados.

cesar grandes volúmenes de datos para encontrar patrones, tendencias y relaciones útiles por medio de técnicas estadísticas y matemáticas avanzadas. El análisis de datos aplicado a la construcción no solo permite tomar decisiones con mayor información, sino que también contribuye a la optimización continua y a la mejora del rendimiento ambiental a lo largo del tiempo. El análisis de datos masivos¹⁴ y la IA son complementarios, permiten aumentar la eficiencia en el procesamiento de datos estructurados y no estructurados y la identificación de patrones, tendencias y relaciones, lo cual puede ser de gran valor para definir la localización de proyectos y para su operación y mantenimiento.

2.1.4. Realidad virtual y realidad aumentada

La realidad extendida permite, a los profesionales y todas las partes interesadas, una mejor visualización y comprensión de los proyectos, lo que facilita la toma de decisión y de comunicación. Simplifica la interacción

14 El análisis de datos masivos a menudo requiere de técnicas y tecnologías para procesar grandes volúmenes de datos de manera eficiente, y la inteligencia artificial (IA), especialmente en el campo del procesamiento de lenguaje natural, puede contribuir a aumentar la eficiencia del procesamiento de conjuntos de datos no estructurados. A su vez, los algoritmos de aprendizaje automático –rama de la IA– se basan en la analítica de datos para entrenarse y mejorar su rendimiento en el proceso de identificación de patrones, tendencias y relaciones.

con los clientes y los usuarios del proyecto, identifica el ajuste previo a la construcción, lo que disminuye la posibilidad de retrabajos, y, por lo tanto, reduce el impacto ambiental de la construcción. Además, la vinculación de realidad virtual¹⁵ (RV), realidad aumentada¹⁶ (RA) e IA facilita la generación de gemelos digitales,¹⁷ y la colaboración y toma de decisiones a distancia, recortando la necesidad de traslados y emisiones. En fase de operación, se puede utilizar para la gestión continua del activo construido, lo que mejora la eficiencia operativa, la gestión energética y el uso de recursos, aumentando su vida útil y disminuyendo las emisiones.

2.1.5. Internet de las cosas

IoT¹⁸ implica la conexión de sensores y dispositivos a través de Internet para recopilar datos en tiempo real sobre el estado, uso y desempeño del activo construido. Esto facilita el monitoreo y el control automatizado de sistemas y mejora la eficiencia

15 Sistema informático que genera en tiempo real representaciones de la realidad.

16 Tecnología que utiliza la combinación de elementos virtuales con el entorno físico para la visualización de información.

17 Implica replicar un edificio o infraestructura física en un entorno digital.

18 Término que describe la red de objetos físicos que tienen sensores, *software* y otras tecnologías para conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet.

energética y la seguridad. Por ejemplo, el uso de dispositivos y sensores IoT para monitorear y controlar el consumo de energía y la temperatura ambiental, los sistemas de iluminación y los sensores de ocupación. Estos dispositivos permiten ajustes automáticos para optimizar el uso y reducir el desperdicio de energía.

2.1.6. Blockchain

*Blockchain*¹⁹ puede contribuir a la trazabilidad de la cadena de suministro, rastrear su procedencia y garantizar que provengan de fuentes sostenibles. Asimismo, permite llevar un registro del contenido de carbono de los materiales, lo que facilita la toma de decisiones informadas. También puede ser utilizado para almacenar y verificar certificaciones de sostenibilidad, como *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), así como para optimizar la gestión de residuos al rastrear la cantidad y el destino de los residuos de construcción y demolición (RCD).

19 *Blockchain* o cadena de bloques, es una base de datos compartida o distribuida, donde la información es almacenada en bloques, ligados entre sí, y validada de una forma descentralizada a través de un protocolo común.

2.1.7. Gestión de proyectos en la nube

Esta tecnología ofrece eficiencia, colaboración y acceso a datos en tiempo real; permite que los equipos y las partes interesadas puedan colaborar de manera efectiva en tiempo real; reduce los desplazamientos y las reuniones presenciales, y disminuye las emisiones asociadas con los desplazamientos. También promueve el uso de documentos electrónicos en lugar de copias impresas, que reduce el empleo de papel y tintas, y la necesidad de eliminar residuos. La documentación y los datos almacenados en la nube facilitan la accesibilidad a largo plazo, mejora la trazabilidad y la transparencia de la información y facilita la gestión sostenible durante las fases del ciclo de vida del activo.

2.1.8. Robótica avanzada

Los robots pueden desempeñar un papel significativo en la mejora de la sostenibilidad en los proyectos de construcción durante todo el ciclo de vida. En la fase de obra, los robots de albañilería, o los robots trepadores, pueden acelerar el proceso de construcción, disminuyendo el tiempo de obra y el consumo de energía. Asimismo, pueden ejecutar tareas de manera precisa y repetitiva, minimizando errores y reduciendo la necesidad de correcciones. Los robots autónomos y los vehículos no tripu-

lados también son capaces de optimizar la logística y el transporte de materiales, con la consecuente mitigación del impacto ambiental, el consumo de combustible y las emisiones de carbono. Durante el desmantelamiento, los robots especializados pueden desmontar estructuras de manera selectiva, recuperando materiales y minimizando los residuos de demolición. También están preparados para realizar tareas peligrosas, como trabajos en entornos contaminados o en condiciones extremas, sin exponer a los trabajadores a riesgos, lo cual mejora la seguridad y la sostenibilidad en el lugar de trabajo.

2.1.9. Fabricación digital/aditiva (impresión 3D)

La impresión 3D se utiliza para fabricar componentes de construcción directamente en el lugar de la obra o en la fábrica. Esto acelera la construcción, reduce el consumo de energía y la cantidad de desperdicio, en comparación con métodos tradicionales. Además, al permitir la producción de componentes en el lugar de la construcción o en ubicaciones cercanas, reduce la necesidad de transporte y las emisiones de carbono asociadas. Otro beneficio es que puede incorporar materiales reciclados o reciclables, lo que promueve la sostenibilidad al reducir la demanda de nuevos recursos.

2.2. DISEÑO CON ENFOQUE SOSTENIBLE

El diseño sostenible, también conocido como ecodiseño, implica considerar el impacto ambiental desde la concepción de un producto para mejorar su desempeño ambiental a lo largo de su ciclo de vida. En el contexto de la construcción, el diseño sostenible se enfoca en crear edificios y estructuras eficientes en el uso de recursos naturales y energía, adaptados a las condiciones climáticas y con mínimo impacto ambiental y emisiones de GEI. Para lograr la sostenibilidad, además del cumplimiento de los códigos de construcción y las normas técnica locales, es crucial incorporar características como el uso eficiente de energía y agua, la integración de energías renovables, la reducción de contaminación y residuos, la calidad del aire interior, el uso de materiales sostenibles y no tóxicos, la consideración del entorno en el diseño, la construcción y la operación, la mejora de la calidad de vida de los ocupantes y la adaptación a un entorno cambiante (Alvear et al., 2022).²⁰ Estos enfoques de diseño sostenible son complementarios y contribuyen a crear entornos construidos más respon-

20 Si bien inicialmente el diseño sostenible se ha asociado a las edificaciones (diseño arquitectónico), gradualmente este tipo de consideraciones se han transferido también al diseño de infraestructuras en general.

sables ambientalmente. A continuación, se presentan algunos enfoques de diseño sostenible.

2.2.1. Diseño bioclimático

El diseño bioclimático, también conocido como ecoarquitectura o diseño verde, se centra en aprovechar las condiciones ambientales, climáticas y del entorno en beneficio de los usuarios, utilizando recursos locales disponibles y buscando confort con mínimo consumo energético e impacto ambiental. Una variante de este diseño son los edificios "pasivos",²¹ que cuentan con criterios de eficiencia energética²² y buscan una baja demanda de energía para calefacción y refrigeración, de tal forma que pueden acondicionarse "pasivamente" (Feist, 1993),²³ y aminoran la necesidad de sistemas activos. Se basan en estrategias como el aislamiento térmico, la ventilación con recuperación de calor o enfria-

21 El concepto de "casa pasiva" se popularizó en las escuelas de arquitectura a principios de la década de 1980, a partir de la publicación del libro *La casa pasiva: Clima y ahorro energético*, del Instituto de Arquitectura de Estados Unidos (*The American Institute of Architects*).

22 La eficiencia energética permite la optimización del desempeño energético de los edificios a lo largo de su ciclo de vida a través de la reducción de la demanda de energía, en comparación con edificaciones convencionales; esto se traduce en un ahorro de recursos económicos, entre otros beneficios asociados (Fischel et al., 2023).

23 Para ser consideradas "pasivas", las construcciones deben seguir estándares rigurosos, por ejemplo, el del *Passive House Institute*, que se presenta en la sección 3.4.

miento, y la orientación para aprovechar condiciones ambientales externas. Otros elementos relevantes incluyen la volumetría del edificio, la protección solar y las soluciones naturales, como huertos urbanos y cubiertas verdes (Fischel et al., 2023), que contribuyen a reducir el efecto de isla de calor, mejorar el control de la escorrentía, disminuir la contaminación y el consumo de energía y restaurar el hábitat y el bienestar de las personas y los ecosistemas.²⁴

2.2.2. Eficiencia y generación energética

Adicionalmente a las medidas de diseño bioclimático, es posible trabajar en la mejora de la eficiencia energética del edificio. Esto permite optimizar el desempeño energético a lo largo del ciclo de vida a través de la reducción de la demanda de energía, en comparación con las edificaciones convencionales, lo que se traduce en un ahorro de recursos económicos, entre otros beneficios asociados (Alvear et al., 2022).

En este sentido, se aplican diversas técnicas para reducir las necesidades energéticas y aumentar la capacidad de absorción, almacenamiento y generación de energía propia. Estas técnicas incluyen la instalación de sistemas de climatización de alta

24 Véase <https://www.minvu.gob.cl/ditec/infraestructura-verde-y-espacios-publicos-sustentables/>.

eficiencia, el uso de equipamiento eficiente y de sistemas de iluminación *Light Emitting Diode* (LED), y la incorporación de tecnologías de generación de energías renovables, como paneles solares fotovoltaicos. La combinación de estas medidas puede llevar a que un edificio sea carbono neutral o incluso un edificio positivo si la energía renovable generada excede la que se consume (Fischel et al., 2023).

2.2.3. Diseño arquitectónico flexible

El diseño arquitectónico flexible está pensado para adaptarse a los cambios, incorporando componentes móviles e interactivos que reaccionan a estímulos externos y modifican su configuración. Este enfoque permite evitar el sobredimensionamiento de espacios, y hacen posible que los edificios se adapten a diferentes usos y necesidades a lo largo del tiempo. La flexibilidad en el diseño puede reducir la necesidad de demoler y construir nuevos edificios, contribuyendo a la sostenibilidad y el ahorro energético. Ejemplos actuales incluyen el uso combinado de espacios para vivienda y trabajo, lo cual plantea nuevas oportunidades y desafíos para el diseño flexible.

2.2.4. Diseño constructivo resiliente

El diseño constructivo resiliente combina materiales resistentes y métodos de construcción orientados a aumentar la solidez

de los activos, especialmente en áreas propensas a amenazas, como vientos huracanados e inundaciones, entre otras. Esto incluye mejoras en los cimientos, losas, techos, paredes exteriores e interiores, marcos de ventanas, fijaciones de techos y conexiones reforzadas en revestimientos, con criterios que deben estar adaptados según las características de cada lugar. A nivel urbano, la resiliencia se extiende a infraestructuras como desagües, alcantarillado, diques y muros de contención, y sistemas de estabilización de cuevas para reducir el riesgo de inundaciones, erosión y derrumbamientos (Naciones Unidas, 2012). Estas medidas son cruciales en zonas de alto riesgo, como las afectadas por huracanes (Bailey et al., 2021) u otros desastres naturales.

2.3. MATERIALES SOSTENIBLES

Diversos estudios han demostrado que el uso de materiales sostenibles puede disminuir significativamente el impacto ambiental de la construcción. Thormark (2006) mostró que una selección adecuada de materiales puede reducir la energía incorporada del 40% al 17% en la demanda energética total de un edificio a lo largo de 50 años.²⁵ En Chile, aproximadamente un

25 Existe una relación directa entre la energía incorporada en los materiales y las emisiones de CO₂ durante su proceso de producción. De acuerdo con Cabeza et al. (2013), la huella

tercio de las emisiones de carbono de un edificio residencial provienen de los materiales de construcción,²⁶ y el hormigón representa más de la mitad (54%) de estas emisiones (GBC Chile, 2023).

Los materiales de construcción procesados industrialmente tienen un alto impacto ambiental debido a la energía requerida para su producción. Por ejemplo, producir un metro cúbico de hormigón requiere 100 veces más energía que producir la misma cantidad de ladrillos de tierra compactada,²⁷ y un metro cúbico de asfalto requiere entre dos a cuatro veces más energía para su producción que el hormigón.²⁸ La producción de cemento consume mucha energía en procesos de quema, pulverización, empaque y transporte, mientras que los ladrillos de tierra requieren menos energía y transporte (Houben, 1994).

Además de los costos energéticos, la extracción de recursos minerales y la disposición de residuos²⁹ de construcción y demolición

de carbono es aproximadamente 0,08 por el consumo de energía.

26 Para el edificio evaluado, un 12% del total de emisiones de carbono en el ciclo de vida de la obra se explica por el transporte de los materiales.

27 La producción de un metro cúbico de hormigón consume entre 400 y 800 kWh, mientras que para la producción de ladrillos de tierra solo se necesitan hasta 5 kWh por metro cúbico (Houben, 1994).

28 Datos de evaluación de ciclo de vida (LCA).

29 Los residuos de construcción son los residuos generados

representan importantes impactos ambientales. Anualmente, se generan más de 10.000 millones de toneladas de residuos de construcción a nivel mundial (Chen et al., 2021), y más del 80% de estos residuos están compuestos por hormigón, ladrillos y elementos de decoración, entre otros materiales (Kong y Ma, 2020).

Para minimizar los daños asociados al uso de materiales de construcción, se pueden seguir tres estrategias principales: i) conservación de materiales, uso de menos materiales y de materiales reciclados; ii) empleo de materiales bajos en huella de carbono y sostenibles, y iii) gestión eficiente para la reducción de residuos durante la construcción, el funcionamiento y la demolición del edificio (Fischel et al., 2023).

Los materiales sostenibles son aquellos que provienen de recursos renovables, tienen bajas emisiones de carbono, son duraderos y están diseñados para la resiliencia climática, generan pocos residuos y son reciclables o reutilizables. Además, el uso de materiales locales puede minimizar el consumo energético asociado al transporte. A continuación, se presenta una breve

en el proceso de construcción, mantenimiento y demolición de edificios. Según su fuente, los residuos de la construcción se pueden dividir en cinco categorías: residuos de excavación de terrenos; de remoción de carreteras; de demolición de edificios antiguos; de obras de construcción, y de producción de materiales de construcción (Kong y Ma, 2020).

síntesis de algunos materiales sostenibles disponibles en la actualidad.

2.3.1. Madera certificada

La madera certificada es uno de los materiales sostenibles que pueden emplearse en la construcción debido a sus múltiples beneficios ambientales y estructurales. Procedente de bosques gestionados de manera sostenible, la madera absorbe carbono, es renovable, genera menos emisiones de GEI durante su industrialización, y su proceso de construcción es más rápido³⁰ y de menor impacto ambiental. Además, tiene alta capacidad aislante, por lo que requiere menor consumo energético durante la operación,³¹ genera menos residuos y es reciclable. La huella de carbono de la madera es muy baja o incluso negativa.³²

En términos de resiliencia a desastres naturales, la madera es beneficiosa debido a su buen comportamiento antisísmico y su

30 El edificio Stadthaus, en Londres, de nueve pisos, se levantó en 49 semanas, y se calcula que la obra llevó cinco meses menos en comparación con la construcción en hormigón (TRADA Technology 2009, citado por Gallardo, 2020).

31 La madera contribuye a la eficiencia energética por su capacidad de conducción del calor. Esta característica la convierte en un aislante superior a otros materiales. Es 400 veces mejor que el acero y 15 veces mejor que el concreto (Gallardo, 2020).

32 La producción de una tonelada de madera absorbe 1,8 toneladas de CO₂eq, en contraposición con la emisión de 0,9 toneladas de CO₂eq y 1,24 toneladas de CO₂eq de la producción de una tonelada de hormigón y acero, respectivamente (MVOT y BID, 2022).

flexibilidad, cualidad que la hace menos propensa a colapsos estructurales (Gallardo, 2020). Además, estudios recientes han destacado la calidez y el bienestar que la madera proporciona en los entornos construidos (Lowe, 2020).

La innovación en productos de ingeniería de madera³³ ha permitido su uso en construcciones en altura, y se presenta como una alternativa a los materiales tradicionales para abordar el déficit habitacional y mitigar el cambio climático. La construcción con base en productos de ingeniería de madera implica un cambio no solo de material, sino de sistema constructivo, ya que el proceso está asentado en un sistema modular de construcción.

2.3.2. Bambú

El bambú, especialmente popular en zonas tropicales, es un material natural de alta resistencia y ecológico. Es renovable y tiene un impacto ambiental limitado debido a su rápido crecimiento. Aporta beneficios ecológicos al capturar dióxido de carbono y posee propiedades estructurales simila-

33 Los productos de ingeniería de madera para la construcción se pueden clasificar en dos categorías principales: los que se fabrican con madera aserrada, que se denominan madera en masa o *Mass Timber*, y los de madera compuesta estructural (SCL), que se fabrican uniendo capas de chapas o de hojuelas con la ayuda de adhesivo, presión y temperaturas. Véase <https://www.naturallywood.com/topics/mass-timber/>.

res a las de las barras de acero en concreto (Hernández-Zamora, Jiménez-Martínez y Sánchez-Monge, 2021), que lo hacen un material robusto y versátil.

2.3.3. Materiales de aislamiento natural

Los materiales de aislamiento natural, como el corcho, la lana, la celulosa y el cáñamo, son opciones sostenibles en la construcción. Estos materiales son renovables, reciclables y biodegradables, y ayudan a reducir el consumo de energía en los edificios, por lo tanto, disminuyen las emisiones de GEI.

El corcho, utilizado como aislante térmico y acústico, es biodegradable y reciclable, y requiere poca energía para su transformación. Además, las propiedades de aislamiento térmico del corcho son competitivas con respecto a los materiales aislantes modernos (Yay et al., 2024). Sin embargo, para garantizar que sea sostenible, debe proceder de bosques gestionados de forma responsable. La celulosa, con baja conductividad térmica, es un excelente aislante acústico y puede ser tratada para tener propiedades ignífugas, insecticidas y antifúngicas. El cáñamo, utilizado para fabricar bloques de construcción (Cannabric), no requiere plaguicidas y su cultivo tiene un bajo impacto ambiental. Además, es poroso, facilita la ventilación, regula la humedad y limpia el aire; es reciclable y no contribuye a las emisiones de GEI durante su fabricación, puesto que consume

cantidades muy bajas de energía (Hernández-Zamora, Jiménez-Martínez y Sánchez-Monge, 2021).

2.3.4. Tierra

La tierra, utilizada en forma de adobe y tierra comprimida o compactada, es un material abundante y ecológico. El adobe, hecho de tierra cruda y secada al sol, no contiene sustancias tóxicas, es reciclable y tiene una baja huella de carbono debido a su obtención local y bajo consumo energético.³⁴ Asimismo, posee gran capacidad como aislante, tanto térmico como acústico, favorece la regulación de la humedad de los ambientes, es un material no inflamable y económicamente asequible, además de que permite la autoconstrucción. No obstante, presenta limitaciones en construcciones en altura y es vulnerable al agua y a los sismos (CDT, 2022); además, puede haber ciertas barreras en los códigos de construcción de la región (Alvear et al., 2023).

34 El adobe requiere una energía de 2000 BTU para fabricarse (la mayoría de las ocasiones, completamente de origen renovable, limpia y natural), mientras que el ladrillo necesita 15 veces más energía (30.000 BTU) y es necesario, además de su fabricación, la quema de combustibles que emiten CO₂ (CDT, 2022). Véase <https://www.cdt.cl/la-construccion-milenaria-con-tierra-cruda-el-adobe-y-la-tapia/>.

La tierra cocida, utilizada para ladrillos, tejas, bloques, losas y revestimientos, es reciclable, y su obtención consume menos energía que otros materiales. Gracias a su proceso de producción a base de arcilla calentada por debajo de 950 °C, conserva sus propiedades de higroscopicidad, aislamiento, baja radiactividad y buena inercia térmica. Los bloques de tierra comprimida estabilizados son alternativas ecológicas y eficientes energéticamente a los ladrillos cocidos, ya que ahorran hasta un 70% de la energía utilizada en su producción (Reddy, 2009) y pueden almacenar desechos industriales, como polvo de cantera, cenizas volantes, etc.

2.3.5. Pétreos

La piedra natural es un material duradero y de bajo mantenimiento, con buenas propiedades aislantes y baja huella de carbono comparada con la de otros materiales. Sin embargo, las emisiones de carbono asociadas a su uso dependen de la proximidad de su origen al sitio de la construcción. La producción de granito tiene 93 kgCO₂ incorporado por tonelada, la producción de cemento, 830 kgCO₂ y la de barras de acero, 1.710 kgCO₂ (Crishna, Banfill y Goodsir, 2011). Sin embargo, dado su peso y volumen, y la energía que consume en su transporte, las emisiones de carbono solo serán menores que las de otros materiales de construcción

cuando su origen se encuentre próximo al emplazamiento de la obra (Crishna, Banfill y Goodsir, 2011).³⁵

2.3.6. Innovaciones en la producción de hormigón

El hormigón tiene un alto impacto ambiental debido al clínker utilizado en el cemento, que libera una tonelada de CO₂ por tonelada producida. Sin embargo, se están desarrollando enfoques para reducir su impacto ambiental (Cabeza et al., 2013),³⁶ como la sustitución del clínker por materiales cementantes complementarios y subproductos industriales, así como el uso de agregados vegetales (arroz, maíz o girasol) (Grădinaru et al., 2019) y reciclados (resinas plásticas, poliestireno y caucho (Bailey et al., 2021).

El hormigón ecológico puede incluir cenizas volantes, humo de sílice y materiales reciclados, como plásticos y caucho, que mejoran su rendimiento térmico (Maddalena, Roberts y Hamilton, 2018) y reducen las emisiones de carbono entre un 20%

35 Por ejemplo, de acuerdo con Crishna, Banfill y Goodsir (2011), en el caso de la piedra de Reino Unido entregada en el país, la huella de carbono de la arenisca, el granito y la pizarra es de 77, 107 y 251 kgCO₂eq por tonelada, respectivamente. Sin embargo, cuando es importada de España, la huella desde la cuna hasta el lugar aumenta de 134 a 318 kgCO₂eq por tonelada.

36 Estos autores estimaron que las emisiones de CO₂ podrían reducirse un 15% si se aumenta el nivel de sustitución del hormigón.

y un 50%. La incorporación de biocarbón otorga mayor resistencia y durabilidad, mejores propiedades térmicas y potencial de captura de carbono (Barbhuiya, Bhusan Das y Kanavaris, 2024).

Otras estrategias incluyen la reducción del volumen de hormigón necesario y el uso de componentes prefabricados que mejoren la eficiencia de la construcción y minimicen los desperdicios, como i) utilizar moldes o rellenos para disminuir el volumen de hormigón; ii) sustituir elementos por componentes prefabricados o industrializados, y iii) soluciones compuestas de hormigón in situ, prefabricado e industrializado (Bailey et al., 2021). Otra alternativa es el desarrollo de hormigón autorreparable, que prolonga la vida útil de las estructuras y reduce la necesidad de intervenciones externas, fundamental en términos de sostenibilidad y eficiencia energética (Baque-Camposano, Pino-Tarragó y Delgado-Mendoza, 2023). Actualmente, existen cuatro técnicas para promover la autocuración en el concreto: i) mezcla con microcápsulas; ii) bacterias latentes; iii) polímeros con memoria de forma, y iv) sistema vascular,³⁷ todas ellas con un gran potencial para abordar los desafíos de sostenibilidad en la construcción. Sin embargo, hay desafíos importantes, como

37 Véase <https://www.dconstruccion.cl/?p=42273>.

la capacitación en el manejo de materiales y técnicas de construcción, y el desarrollo de estándares de seguridad y protocolos de prueba (Baque-Camposano, Pino-Tarragó y Delgado-Mendoza, 2023).

2.3.7. Áridos

Los áridos pueden ser reciclados, y por lo tanto su empleo reduciría la emisión, la generación de escombros y el impacto ambiental. La utilización de áridos reciclados permite aplicaciones en la restauración de áreas degradadas, bases de carreteras, drenajes y fabricación de morteros y hormigones.

El reciclaje de residuos de construcción es viable técnicamente y se utiliza de manera extendida en países desarrollados, como España y Reino Unido. Cabe destacar que Dinamarca, Países Bajos y Japón tienen la tasa más alta de reciclaje de residuos de construcción (Kong y Ma, 2020), lo que contribuye significativamente a una construcción sostenible.

2.4. SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA

Los sistemas constructivos son conjuntos coordinados de métodos, técnicas, materiales y procesos utilizados en la construcción. Para ser sostenibles, deben considerar alternativas responsables con el medio

ambiente en todas las etapas. Existen sistemas avanzados basados en la industrialización y la estandarización, como los métodos modernos de construcción (MMC) (Reino Unido, España) (véase el recuadro 4); sistemas de construcción industrializada (ISB), (Malasia, Tailandia); fabricación fuera del sitio (OSB) (Australia); prefabricación, premontaje, modularización y fabricación fuera de sitio (PPMOF) (Estados Unidos); construcción fuera del sitio (OSC) (China); construcción volumétrica prefabricada y preacabada (PPVC) (Singapur) (véase el recuadro 5); construcción modular integrada (MIC) (Hong Kong); producción fuera del sitio (OSP) (Alemania); construcción industrializada (Suecia, Finlandia, Dinamarca); vivienda industrializada (Holanda); viviendas prefabricadas (Japón, Filipinas), y construcción modular (Canadá), entre otros (Sánchez-Garrido et al., 2023), que ofrecen alternativas y pueden contribuir a la sostenibilidad.

La industrialización de la construcción implica aplicar sistemas de producción industrial desde la concepción hasta su desmantelamiento. Esto incluye la producción industrial de elementos constructivos, un proceso eficiente de ejecución en obra y la producción industrializada de unidades espaciales montadas en obra (Monjo Carrió, 2005). El criterio fundamental es que

de la fábrica debe salir un sistema lo más acabado posible, con dimensiones optimizadas y mínimas juntas, que facilite la rapidez de montaje y la solidez constructiva. El objetivo es obtener conjuntos integrados y estandarizados, pero que permitan cierta personalización en acabados y dimensiones (López, 2017).

La construcción industrializada ofrece múltiples beneficios ambientales; entre ellos, disminuye residuos de construcción, favorece la recuperación y el reciclado de materiales y reduce el uso de recursos, como la energía y el agua. Además, utiliza menos mano de obra y acorta los tiempos de ejecución. Estudios como el de Krug y Miles (2013) han demostrado reducciones significativas (60%) en los movimientos de tráfico y disminución en el consumo de energía (80% consumida en el sitio y 20% en la construcción), y el de Deloitte (2023) indica una reducción del 15% en el costo de la obra, del 70% de emisiones de CO₂ y del 40% de los plazos de entrega. Además, evaluaciones de ciclo de vida, como la realizada por Hernández, Ossio y Silva (2023) sobre el sistema,³⁸ revelan mejoras sustanciales en la productividad laboral (47% mayor), reducción del consumo de energía anual (53%) y un 51% menos de

38 El sistema Viga + Aislación + Pilar (VAP) incorpora componentes de madera, contrachapado y poliestireno expandido.

emisiones de carbono. En esta misma línea, por aplicar la construcción fuera del sitio, se observó una disminución del 68% de los residuos de la construcción y una reducción del 49% y el 54% en las emisiones de energía y carbono asociadas a estos residuos, respectivamente. Sin embargo, la construcción industrializada enfrenta desafíos, como la falta de mano de obra especializada, la escasez de suministros y la regulación existente (Rahman, 2014, citado por Yepes, 2020). En la región, las regulaciones de este tipo son incipientes, aunque se destacan los avances de Chile en esta materia.

2.4.1. Prefabricación

La prefabricación es un sistema constructivo “cerrado”, donde los componentes, como paneles de pared y techos, se fabrican fuera del sitio y se ensamblan en el lugar de la construcción. Este método racionaliza los procesos al modular los elementos, y garantiza un alto nivel de acabado y calidad final. La fabricación fuera del sitio reduce los tiempos de construcción y minimiza los residuos generados, especialmente con materiales metálicos y de madera, que tienen alta circularidad. Estos materiales se unen de manera sencilla y permiten estructuras limpias y fácilmente recuperables, ideales para viviendas reversibles. La prefabricación también sim-

plifica el mantenimiento, puesto que esta actividad se centra en las uniones entre los elementos. También se utiliza para dar una respuesta rápida ante emergencias climáticas o desastres naturales.

2.4.2. Sistemas de construcción ligera

Los sistemas de construcción ligera, y también en seco, se basan en el uso de perfiles de acero galvanizado y son rápidos, económicos y limpios debido a su planificación de montaje. Estos sistemas emplean materiales de poco peso, como el acero liviano, la madera y paneles de yeso, que reducen significativamente el peso por metro cuadrado (18 kilos por m²) en comparación con la construcción convencional de hormigón (300 kilos por m²). Su principal ventaja radica en la rapidez de montaje, dado que puede reducir el tiempo de construcción hasta un 70% en comparación con los métodos tradicionales. Esta eficiencia también implica un menor consumo de energía y de recursos durante el proceso, y genera menos residuos. Asimismo, estos sistemas se caracterizan por su fácil transportabilidad y mantenimiento, y su impacto ambiental es menor en términos de emisión de CO₂ incorporado en los materiales, de acuerdo con un estudio de Hacker et al. (2008).

2.4.3. Construcción modular

La construcción modular implica la fabricación de módulos en una planta industrial y su ensamblaje en el sitio de la construcción, y se destaca entre los sistemas constructivos sostenibles. Ofrece ventajas como la reducción de plazos de construcción, menor consumo de materiales y energía, disminución de residuos y alta eficiencia energética. Los módulos prefabricados permiten un ahorro de tiempo de hasta el 50%, al ser elaborados en condiciones controladas. Una vez que llegan a la obra, se ensamblan e interrumpen al mínimo la propia obra, pues, en promedio, el 80% de la actividad de la construcción se ha realizado en otro sitio. Además, posibilitan la fabricación con tolerancias estrictas, aminorando errores y mejorando la seguridad. A pesar de sus beneficios, la correcta gestión de la cadena de suministro y la reducción de emisiones de carbono son desafíos importantes (Sanchez-Garrido, 2023).

2.4.4. Sistemas de impresión 3D

El sistema constructivo basado en la impresión 3D utiliza tecnología de fabricación aditiva para crear componentes de construcción capa por capa, tanto in situ como fuera de la obra. Es altamente versátil y permite la creación de una amplia gama de componentes y estructuras com-

plejas, desde casas o espacios habitacionales, oficinas, puentes, paredes, estructuras modulares, moldes de refuerzo y columnas hasta mobiliario urbano y elementos decorativos. Sus ventajas incluyen la minimización de residuos, la optimización del tiempo de construcción, mayor seguridad en la obra y personalización del diseño (Leles da Silva et al., 2024).³⁹ Sin embargo, enfrenta desafíos importantes, como el costo de la maquinaria, la capacitación del personal (diseñadores, operarios y personal de mantenimiento) y la debilidad o la falta de un marco regulatorio adecuado.⁴⁰

³⁹ En un trabajo reciente, Leles da Silva et al. (2024) desarrollaron y validaron un prototipo de impresora 3D a escala de banco acoplado a un subsistema de bombeo capaz de extruir y soportar capas superpuestas, y demostraron la factibilidad de reemplazar los métodos tradicionales por la impresión 3D, así como sus beneficios en términos de eficiencia y reducción de desperdicios.

⁴⁰ Véase <https://www.cemexventures.com/es/impresion-3d-en-la-construccion/>.

Recuadro 4. Los métodos modernos de construcción en Reino Unido

Las viviendas prefabricadas en Reino Unido se han utilizado en períodos de alta demanda, como posguerras mundiales; sin embargo, por problemas con la calidad de los materiales y la calificación de la mano de obra, se generó una percepción negativa. En 2003, frente a un déficit habitacional significativo, el gobierno de Reino Unido lanzó el Plan de Comunidades Sostenibles, centrado en los métodos modernos de construcción (MMC). Este plan pretendía transformar radicalmente la industria de la construcción para producir viviendas en la cantidad y calidad requeridas (Lovell, 2012). Desde 2004, una cuarta parte de las viviendas sociales con fondos públicos debían utilizar los MMC. Esta iniciativa fue seguida por políticas públicas que fomentaban el uso de MMC, como programas de buenas prácticas, guías informativas, desarrollo de normativas y fortalecimiento de capacidades, entre otras.^a

Los MMC abarcan una variedad de enfoques de construcción que incluyen prefabricación, mejoras de procesos y aplicaciones tecnológicas, tanto fuera del sitio como en el lugar de la obra, y ofrecen alternativas a los métodos tradicionales con potencial para mejorar significativamente la productividad, la eficiencia y la calidad de la industria (Yepes, 2020). En 2019, la *Housing Corporation* definió los MMC en siete categorías (MHCLG MMC, 2019): i) módulos volumétricos 3D prefabricados; ii) paneles planos prefabricados; iii) componentes estructurales prefabricados; iv) manufactura aditiva (estructural o no estructural); v) componentes no estructurales prefabricados; vi) uso de materiales de construcción tradicionales mejorados, y vii) procesos en el sitio que mejoran la productividad, reducen la mano de obra y aumentan la seguridad.

Los beneficios de la utilización de los MMC frente a la construcción tradicional están bien documentados en más de 600 publicaciones realizadas a la fecha sobre el tema.^b Entre ellos, se destacan la mejora en los plazos de entrega y en la calidad del producto final, mayor productividad y eficiencia material, reducción de riesgos laborales y menor impacto ambiental (tanto la reducción de la contaminación del aire y sonora como de la generación de residuos). De acuerdo con el estudio reciente de Sánchez-Garrido et al. (2023), la sostenibilidad es precisamente uno de los impulsores del uso de los MMC.

^a La política de promoción de los métodos modernos de construcción (MMC) en Reino Unido continúa hasta la actualidad, y, según datos recientes, el 7% del total de viviendas de este país fueron construidas utilizando dichos métodos (Sánchez-Garrido et al., 2023).

^b Una revisión sistemática de la literatura acerca del uso de *machine learning* se puede encontrar en Sánchez-Garrido et al. (2023).

Recuadro 5. Normativa de constructibilidad y construcción volumétrica prefabricada y preacabada en Singapur

En 1999, el gobierno de Singapur estableció la *Building and Construction Authority* (BCA) con el objetivo de desarrollar regulaciones a la construcción para mejorar la productividad del sector y reducir el uso de mano de obra. En 2001, la BCA introdujo la Puntuación Mínima de Diseño Construible (*Buildable Design Score* [BDS]), que evalúa el diseño de un edificio en el uso de mano de obra y promueve la adopción de métodos de construcción con componentes prefabricados, modulares y estandarizados, y procesos eficientes de construcción para proyectos de más de 5.000 m² (BCA, 2000).

En 2019, la BCA aumentó los puntajes mínimos de la BDS y se incorporó una nueva normativa, en la que se destaca el Diseño para la Fabricación y el Ensamblaje (DfMA). Este método implica que se diseñe para fabricar fuera del sitio en un entorno controlado previo al ensamblaje en la obra. El DfMA abarca diversas tecnologías y metodologías para la fabricación externa, desde componentes prefabricados hasta ensamblajes totalmente integrados en las diferentes disciplinas.

Uno de los componentes del DfMA es la construcción volumétrica prefabricada y preacabada (PPVC), la más eficiente en mejorar la productividad de la construcción (BCA, 2020). La PPVC consiste en fabricar módulos tridimensionales independientes con acabados completos, que luego se transportan y ensamblan en el lugar de construcción. La PPVC es especialmente adecuada para edificios con múltiples habitaciones, como residencias, instituciones y hoteles, entre otros. Para la PPVC son cruciales la coordinación temprana entre el fabricante y el contratista principal durante el diseño para incorporar soluciones técnicas efectivas, y la logística para gestionar el transporte de módulos desde la fábrica al sitio de la construcción.

El sistema de PPVC, en comparación con métodos tradicionales, permite mejorar la productividad de la mano de obra en hasta un 40% y ahorrar más del 20% de tiempo. Además, debido a las actividades de fabricación fuera del sitio, minimiza la contaminación, disminuye los residuos de construcción y

el impacto a vecindarios circundantes. La fabricación en un entorno controlado también permite productos más confiables y de mayor calidad (BCA, 2020).

2.5. MEDICIÓN Y VERIFICACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Medir, reportar y certificar el impacto ambiental de los activos de la construcción es esencial para mejorar su sostenibilidad. Esto implica generar y monitorear información a lo largo del ciclo de vida de los activos, utilizando la medición de la huella de carbono como una herramienta clave. Los sistemas de certificación sustentables evalúan el rendimiento ambiental en el diseño, la construcción y la operación, estableciendo estándares y proporcionando un marco para la mejora continua, lo cual contribuye significativamente a la sostenibilidad del sector de la construcción.

2.5.1. Medición del impacto ambiental

La descarbonización de la construcción requiere comprender sus impactos, como el consumo de energía operativa y las emisiones de carbono, mediante una contabilidad confiable (Peregalli, 2023; GBC Chile, 2023). Monitorear y analizar estos datos es esencial para identificar oportunidades de reducción de emisiones (GBC Chile, 2023). La huella de carbono es crucial para medir este impacto, pero la verificación es fundamental para garantizar la precisión de los datos. En ALC, la falta de datos específicos del sector y la omisión en lo referente a carbono incorporado y operacional en

el ciclo de vida generan inconsistencias (GBC Chile, 2023).⁴¹ Además, los factores de emisión suelen basarse en datos de países desarrollados, que no reflejan la realidad de la región (BID, 2023).

Existen varias metodologías para calcular la huella de carbono que cubren todas las etapas del ciclo de vida de la construcción, como las propuestas por la *Royal Institution of Chartered Surveyors* (RICS, 2017), el *Carbon Leadership Forum* (CLF, 2018) y el *Building Research Establishment, Centre for Sustainable Products* (BRE, 2016). Además, hay diversos programas, calculadora en línea y herramientas capaces de medir la huella de carbono en edificaciones (GBC Chile, 2023) (véase el recuadro 6).

Según una evaluación piloto en Chile, un edificio residencial tradicional de 130 viviendas emitió 826.8 kg de CO₂eq/m² durante su ciclo de vida (60 años). De estas emisiones, el 69% corresponde a carbono incorporado y el 31% a carbono operacional. Aproximadamente un tercio de las emisio-

⁴¹ Aunque las metodologías del cálculo de emisiones de CO₂ varían de un país a otro, el marco básico suele ser el proceso de evaluación del ciclo de vida. El ciclo de vida considera todas las etapas de un proyecto de construcción, desde la cuna (extracción de materias primas), la fabricación de productos, el transporte y la instalación en el sitio hasta la operación, el mantenimiento y la eventual eliminación del material (la tumba). Más precisamente, las etapas del ciclo de vida son las siguientes: i) producción de materias primas; ii) construcción del edificio; iii) operación del edificio; iv) fin de la vida del edificio, y v) reutilización, reciclaje y recuperación de energía.

nes totales proviene de los materiales utilizados, seguido por la energía operativa (31%), los reemplazos (18%), el transporte de materiales (12%) y el procesamiento de residuos (4%) (GBC Chile, 2023).

Recuadro 6. Metodologías de cálculo de huella de carbono

Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS, 2017)

- ◆ **Desarrollador:** *Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS)*, una organización internacional con base en Reino Unido que establece estándares profesionales en la gestión de la propiedad, la evaluación y la construcción.
- ◆ **Objetivo principal:** La metodología de RICS se centra en proporcionar directrices claras y prácticas para la medición de la huella de carbono de edificios y activos inmobiliarios. Busca facilitar la comparación y la mejora del desempeño ambiental de los edificios a lo largo de su ciclo de vida.
- ◆ **Características relevantes:** Se destaca por su enfoque en la aplicabilidad práctica y la integración con estándares internacionales de medición de carbono,^a proporciona directrices detalladas para la recolección de datos, el cálculo de emisiones y la presentación de resultados, y se adapta a diversas escalas de proyectos y tipos de edificaciones.

Carbon Leadership Forum (2018)

- ◆ **Desarrollador:** *Carbon Leadership Forum*, una red de profesionales y académicos dedicados a reducir la huella de carbono en la industria de la construcción, con sede en Estados Unidos.
- ◆ **Objetivo principal:** Esta metodología tiene como meta fundamental promover prácticas de construcción más sostenibles mediante la medición y la reducción de las emisiones de carbono asociadas con los materiales y los procesos constructivos.
- ◆ **Características relevantes:** Se destaca por su enfoque en la evaluación del ciclo de vida completo de los materiales de construcción y los sistemas estructurales. Incorpora herramientas avanzadas de modelización y evaluación para cuantificar las emisiones a lo largo de todo el ciclo de vida de los edificios, desde la extracción de materias primas hasta el desmantelamiento.

Building Research Establishment, Centre for Sustainable Products (BRE, 2016)

- ◆ **Desarrollador:** *Building Research Establishment (BRE), Centre for Sustainable Products*, con sede en Reino Unido, un centro especializado en investigación y consultoría en sostenibilidad para la industria de la construcción.
- ◆ **Objetivo principal:** Su metodología se centra en analizar y mejorar la sostenibilidad de los productos utilizados en la construcción, incluyendo la medición de la huella de carbono como parte integral de sus evaluaciones de sostenibilidad.
- ◆ **Características relevantes:** Se distingue por su enfoque en la investigación detallada de productos específicos utilizados en la construcción, y aplica metodologías de evaluación del ciclo de vida (LCA) para calcular las emisiones de carbono asociadas. Proporciona herramientas para la selección de materiales más sostenibles y la optimización de procesos de fabricación.

Estas metodologías están diseñadas para proporcionar a los profesionales de la construcción instrumentos robustos para examinar y gestionar las emisiones de carbono, mejorar la transparencia y la gestión ambiental en el sector de la construcción, y facilitar la toma de decisiones informadas orientadas a la reducción de la huella de carbono y a la promoción de prácticas constructivas más sostenibles, y así contribuir a la mitigación del cambio climático en el sector de la construcción a nivel global.

^a Las etapas del ciclo de vida del proyecto utilizan la estructura modular proporcionada en las normas EN 15978, EN 17472, EN 15804, EN 15643, ISO 21931, partes 1 y 2, e ISO 21930.

2.5.2. Certificaciones y estándares

Los sistemas de verificación de estándares sustentables se han desarrollado en respuesta a los desafíos ambientales, estableciendo criterios mínimos para características sostenibles y asignando puntuaciones según su cumplimiento. Un sello indica el cumplimiento de ciertos estándares, mientras que una certificación resulta de un proceso formal de evaluación independiente. La certificación es más valorada cuando un tercero independiente verifica y otorga el cumplimiento (Alvear et al., 2023). También hay que considerar que, típicamente, las certificaciones son voluntarias, y solo se consideran obligatorias cuando el requirente así lo establece en sus condiciones de contratación. En la medida que los organismos establezcan estos requisitos en sus contrataciones o en su reglamentación, y se establezcan criterios para su requerimiento según tipologías o montos de los proyectos, se estimulará al mercado para acelerar su adopción.

Entre las certificaciones internacionales de edificios sustentables actualmente disponibles se destacan las siguientes:

- ◆ LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), desarrollada por el Consejo de Construcciones Sostenibles de Estados Unidos (USGBC).

Disponible para una amplia gama de proyectos, desde nuevas construcciones hasta operación y mantenimiento, evalúa diferentes aspectos, como eficiencia energética, gestión del agua, selección de materiales y calidad ambiental interior (USGBC, 2020).

- ◆ EDGE (*Excellence in Design for Greater Efficiencies*), elaborada por la Corporación Financiera Internacional (IFC) del Banco Mundial. Se enfoca en la eficiencia de recursos (energía, agua y materiales), y exige al menos una reducción mínima del 20% en el consumo de energía, agua y energía incorporada en materiales.
- ◆ BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), impulsada por BRE Global Ltd. de Reino Unido. Evalúa el desempeño sostenible de cualquier tipo de edificio nuevo o existente, considerando aspectos ambientales como el uso del suelo, el transporte, la energía, el agua, los materiales, la contaminación y la gestión del residuo.
- ◆ *Green Globes*, similar a LEED, se implementó inicialmente en Canadá y se utiliza en varios países. Evalúa aspectos como energía, agua, emisiones, materiales y gestión ambiental.

- ◆ *Passive House*, centrada en la eficiencia energética extrema y el confort interior. Se originó en Alemania y busca minimizar el consumo de energía para calefacción y refrigeración.

- ◆ WELL *Building Standard*, enfocada en la salud y el bienestar de los ocupantes del edificio, evalúa la calidad del aire interior, la iluminación y el confort térmico, entre otros aspectos.

- ◆ *Green Star*, establecida por el *Green Building Council* de Australia (GBCA), evalúa atributos sostenibles a través de varias categorías, desde gestión e impacto al entorno hasta emisiones.

Algunos países de ALC cuentan con sellos y certificaciones sostenibles nacionales, como AQUA-HQE, PROCEL EDIFICA-Eficiencia Energética en las Edificaciones, Sello Casa Azul y Sello EDIF (Brasil), Certificación Edificio Sustentable y Certificación de Vivienda Sustentable (Chile), Casa Colombia (Colombia), Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET) (Costa Rica), Casa Guatemala (Guatemala) y Sisevive-Ecocasa (México), entre otros (Alvear et al., 2022).

En ALC los países que cuentan con un mayor número de proyectos de construcción con certificación sostenible por millón de habitantes son Costa Rica, Panamá, Chile,

Perú, Colombia y México, con valores superiores al promedio regional (Alvear, et al., 2023).

2.6. ENFOQUES DE GESTIÓN EFICIENTES

Los proyectos de construcción a menudo enfrentan retrasos que ocasionan pérdida de tiempo y recursos. Según estimaciones globales, el 70% de los proyectos tienen sobrecostos y el 61% sufren retrasos (Barbosa et al., 2017). Estos problemas impactan negativamente en la productividad del sector y aumentan su incidencia ambiental, puesto que prolongan la fase de construcción y generan mayores emisiones de contaminantes y de ruido, además de que afectan negativamente a los ecosistemas y a la calidad de vida local. Esto resalta la necesidad de adoptar métodos de gestión más eficientes para reducir el impacto ambiental.

Los componentes fundamentales en la gestión de proyectos de construcción son i) adecuada planificación; ii) coordinación, colaboración y alineamiento de las partes involucradas; iii) definición de roles y responsabilidades; iv) establecimiento de indicadores clave de desempeño, y v) monitoreo y mejora continua de los procesos. Existen enfoques de gestión específicos para la construcción, como LEAN

Construction, Advance Work Packaging y Design & Build, que optimizan costos, plazos y calidad, y reducen los impactos ambientales durante la ejecución de los proyectos.

2.6.1. LEAN Construction

LEAN *Construction* es una metodología de gestión que busca la mejora continua, minimizar las pérdidas y maximizar el valor del producto final. Se enfoca en eliminar trabajos que no generan valor, reducir desperdicios, gestionar la variabilidad, mantener el flujo de trabajo constante y disminuir inventarios, transporte y costos a través de procesos eficientes y adaptables. Algunas ineficiencias en las que LEAN *Construction* se centra en aminorar son los tiempos de espera por i) escasez de equipos, herramientas o materiales; ii) actividades incompletas o mal realizadas; iii) falta de instrucciones claras; iv) acumulación de inventario de materiales y personal, y v) tareas que no aportan valor al proyecto.

Last Planner System es una herramienta colaborativa de LEAN *Construction* que involucra a los responsables de campo en la planificación de cada fase de trabajo, considerando las mejores alternativas disponibles y gestionando las restricciones para anticipar conflictos entre equipos y pérdidas de tiempo.

Los resultados de aplicar LEAN *Construction* incluyen menores costos, mayor calidad, acortamiento de plazos de entrega y menor impacto ambiental debido a la reducción de tiempos de construcción, el uso eficiente de recursos y la disminución de desperdicios.

2.6.2. Advanced Work Packaging

Advanced Work Packaging (AWP) es un enfoque de gestión de proyectos de construcción que optimiza la planificación y la ejecución de tareas específicas a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Definido por el Instituto de la Industria de la Construcción (CII, 2021), AWP organiza el proceso en paquetes de trabajo de construcción, ingeniería e instalación desde la planificación inicial hasta el diseño detallado y la ejecución. Este método proporciona un marco para una construcción productiva y progresiva, y garantiza un plan de ejecución de la construcción.

Los beneficios de AWP incluyen un aumento del 25% en la productividad, una reducción del 10% en los tiempos de construcción y una mejora en la seguridad durante el proceso. Aunque AWP no se enfoca directamente en la sostenibilidad, su implementación puede contribuir a una construcción sostenible gracias a la mayor eficiencia, y a disminuir los tiempos de ejecución.

2.6.3. Design & Build

Design & Build es un método contractual que busca optimizar la ejecución y mejorar la calidad de los proyectos de construcción al integrar las etapas de diseño y construcción bajo una única responsabilidad. A diferencia del esquema tradicional de contratos separados, en el método *Design & Build* una firma asume tanto el desarrollo del diseño como la ejecución de la construcción como un paquete completo. Esto permite que los distintos roles del proceso (contratista principal, diseñador y constructor) colaboren desde la fase de diseño, proponiendo soluciones técnicas, económicas y de cronograma para satisfacer las necesidades del contratante. Los cambios son gestionados por este equipo integrado, lo que fomenta la colaboración y la innovación en la ejecución del proyecto. Este método contrasta con el enfoque convencional, donde el diseño se realiza separado de la construcción, dificultando la integración de la experiencia constructiva en las fases tempranas y disminuyendo la capacidad del contratista para asumir responsabilidades en caso de deficiencias en el proyecto.

Design & Build ofrece ventajas comparativas, tales como mayor eficiencia y velocidad de entrega, distribución de responsabili-

dades más clara, mejor gestión de riesgos, control de costos y presupuesto, mayor calidad y satisfacción del cliente y reducción de conflictos y reclamaciones gracias a la colaboración temprana y continua entre las partes involucradas. Estas ventajas presentan una relación directa con el modelo contractual utilizado y la colaboración que se promueve entre las partes.

Las oportunidades de mejora en la gestión de la construcción incluyen no solo las fases de diseño y ejecución, sino también la operación, como el monitoreo de la infraestructura y el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, apoyado por tecnologías digitales avanzadas. Esto también permite gestionar de manera anticipada y eficiente el diseño, la logística y el montaje en la construcción, lo cual reduce residuos, retrabajos y sobretiempos, y, a su vez, disminuye la demanda de energía y recursos, y potencialmente el volumen de emisiones.

Durante la construcción y al final de la vida útil de la infraestructura (desmantelamiento), es posible reducir el impacto ambiental mediante una gestión adecuada de los RCD y la promoción del reciclaje y la reutilización de materiales. Actualmente, el vertedero es el método principal para disponer estos residuos, lo que causa impactos ambientales, como el consumo de

espacio terrestre y de recursos, el agotamiento de vertederos y la contaminación del aire, el agua y la acústica (Akanbi et al., 2018, citado por Chen et al., 2021).

2.7. INTERRELACIÓN DE SOLUCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Se han presentado seis categorías de soluciones que permiten habilitar la construcción sostenible, y se ha constatado que pueden relacionarse y así potenciar la capacidad de reducir los impactos ambientales negativos en general. La digitalización en su concepto amplio se identifica como la plataforma fundamental que permitirá integrar de una manera más eficiente y efectiva estas soluciones, y contribuir a la transformación del sector hacia una construcción más sostenible. A continuación, se presentan en el gráfico 2 algunos ejemplos y un esquema de estas relaciones entre diferentes tipos de soluciones.

- ◆ La bioconstrucción combina el enfoque de diseño sostenible y el uso de materiales ecológicos con bajo impacto ambiental. Los criterios de diseño bioclimático vinculados con modelos BIM y procesos de medición y validación facilitan la verificación de estándares de eficiencia energética y la obtención de certificaciones.

- ◆ Los productos de ingeniería de madera, como *Mass Timber* y Madera Laminada (CLT o GLULAM), entre otros, combinan materiales sostenibles y construcción industrializada. El uso de BIM es clave en el proceso de producción, ya que facilita la comunicación de la información entre equipos de diseño, proveedores y líneas de fabricación.
- ◆ La construcción industrializada y BIM permiten el control de los procesos de fabricación, construcción y montaje, simplifican la iteración y aportan flexibilidad durante el proceso de diseño de las soluciones constructivas. Además, pueden indicar guías o códigos para un proceso de montaje rápido, sencillo y sin errores.
- ◆ La aplicación de métodos de gestión eficientes, como *LEAN Construction*, junto con la incorporación de IA y *machine learning*, permitirá diseñar sistemas predictivos y de alerta temprana de retrasos y desviaciones sobre el cronograma, que disminuyen los plazos de ejecución y reducen la huella de carbono de las obras. La integración de metodologías *LEAN Construction* y BIM potencia sus beneficios para mejorar la gestión y acortar los tiempos de ejecución de las obras, y disminuir el impacto ambiental (véase el recuadro 3).

Gráfico 2. Ejemplos de interrelación entre tipos de soluciones para la construcción sostenible



Fuente: Informe final de consultoría del BID, “Mapeo de herramientas digitales y métodos constructivos innovadores para un sector de la Construcción Sostenible” (Baptista, 2024).

- ◆ El uso de modelos BIM, la captura y recolección de datos por medios digitales (drones y escáner) y el análisis a través de IA permiten el análisis de comportamiento y la verificación del avance de la obra, y contribuyen a planificar el mantenimiento predictivo, lo cual conlleva a mejorar el desempeño y la vida útil del proyecto o activo.
- ◆ El empleo de la metodología BIM para el análisis del ciclo de vida permite calcular de forma ágil y eficiente la energía embebida, y medir la huella de carbono de la construcción.
- ◆ La fusión de modelos paramétricos digitales y los criterios de circularidad permiten estimar el potencial de reducción del impacto de los proyectos, vinculando la huella de carbono y el uso de materiales sostenibles, y por lo tanto facilitan la gestión eficiente de los residuos de construcción.
- ◆ La integración del Pasaporte de Materiales (o iniciativas similares) de construcción con las tecnologías como BIM y la IA, junto con métodos de gestión eficientes como *LEAN Construction*, facilitará la implementación de sistemas de gestión de residuos en tiempo casi real. Esto optimizará la segregación y el reciclaje de desechos de construcción, y

abordará uno de los principales desafíos de la industria: la ineficiente segregación de materiales y la limitada capacidad de almacenamiento de residuos. Esta innovación no solo mejorará las prácticas de sostenibilidad, sino que también promoverá una economía circular dentro del sector.

Como se ha indicado en la introducción, en el marco de esta Nota Técnica el concepto de construcción sostenible incorpora también las dimensiones de adaptación y resiliencia climática. En este sentido, las diferentes categorías identificadas contribuyen a mejorar el desempeño de la infraestructura frente a los efectos del cambio climático y los desastres naturales, y algunas de ellas en particular habilitan el acceso a mejor información para definir y evaluar criterios de adaptación. Esto es especialmente importante en ALC, dado que los efectos del cambio climático están desencadenando un aumento en la frecuencia y en la intensidad de los fenómenos climáticos extremos, que exacerban otros eventos de gran impacto, como inundaciones, deslizamientos de tierra, incendios forestales y aludes (Fischel et al., 2023). A continuación, se presentan algunos ejemplos y un esquema en el gráfico 3.

- ◆ El análisis de modelos paramétricos y la simulación del desempeño facilitan que los diseños cuenten con estructuras capaces de soportar y mitigar daños asociados a eventos extremos (inundaciones, tormentas, huracanes o sismos) y garanticen la seguridad y la sostenibilidad a largo plazo de la infraestructura; es decir que fortalecen su resiliencia climática.
- ◆ Algunos materiales de construcción tienen propiedades físicas, mecánicas, térmicas y/o ambientales que los hacen naturalmente resilientes al cambio climático. Por ejemplo, madera maciza (*Mass Timber*) resistente al fuego, aislantes como la celulosa tratada, que tiene propiedades térmicas e ignífugas, y hormigón permeable bajo en carbono, que permite el drenaje de agua en el pavimento ante tormentas intensas, escoorrentías e inundaciones.
- ◆ Sistemas constructivos que utilicen uniones y anclajes estructurales para mejorar la capacidad de transferir las fuerzas de elevación, producto de vientos huracanados, desde el techo a través de la estructura del edificio y a la fundación (Bailey et al., 2021).

- ◆ Modelos digitales paramétricos (BIM) e IA para evaluar riesgos de emplazamiento de la infraestructura y desarrollo urbano frente al cambio climático.
- ◆ Modelos digitales paramétricos (BIM) que permiten: i) la simulación y la planificación de la gestión de la infraestructura ante riesgos de emergencia climática y/o desastres naturales, y ii) la simulación y evaluación de escenarios para planificar la gestión de desastres y la recuperación postemergencias.
- ◆ Testeo y certificación del nivel de la capacidad adaptativa al cambio climático, incluyendo la evaluación del cumplimiento de los códigos y las normas técnicas de construcción existentes a nivel internacional para atender las amenazas que, según las proyecciones, se exacerbarán por el cambio climático; entre ellas, el viento, los huracanes y las inundaciones.

Gráfico 3. Ejemplos de interrelación entre tipos de soluciones para la construcción sostenible y la resiliencia climática, y ante desastres naturales

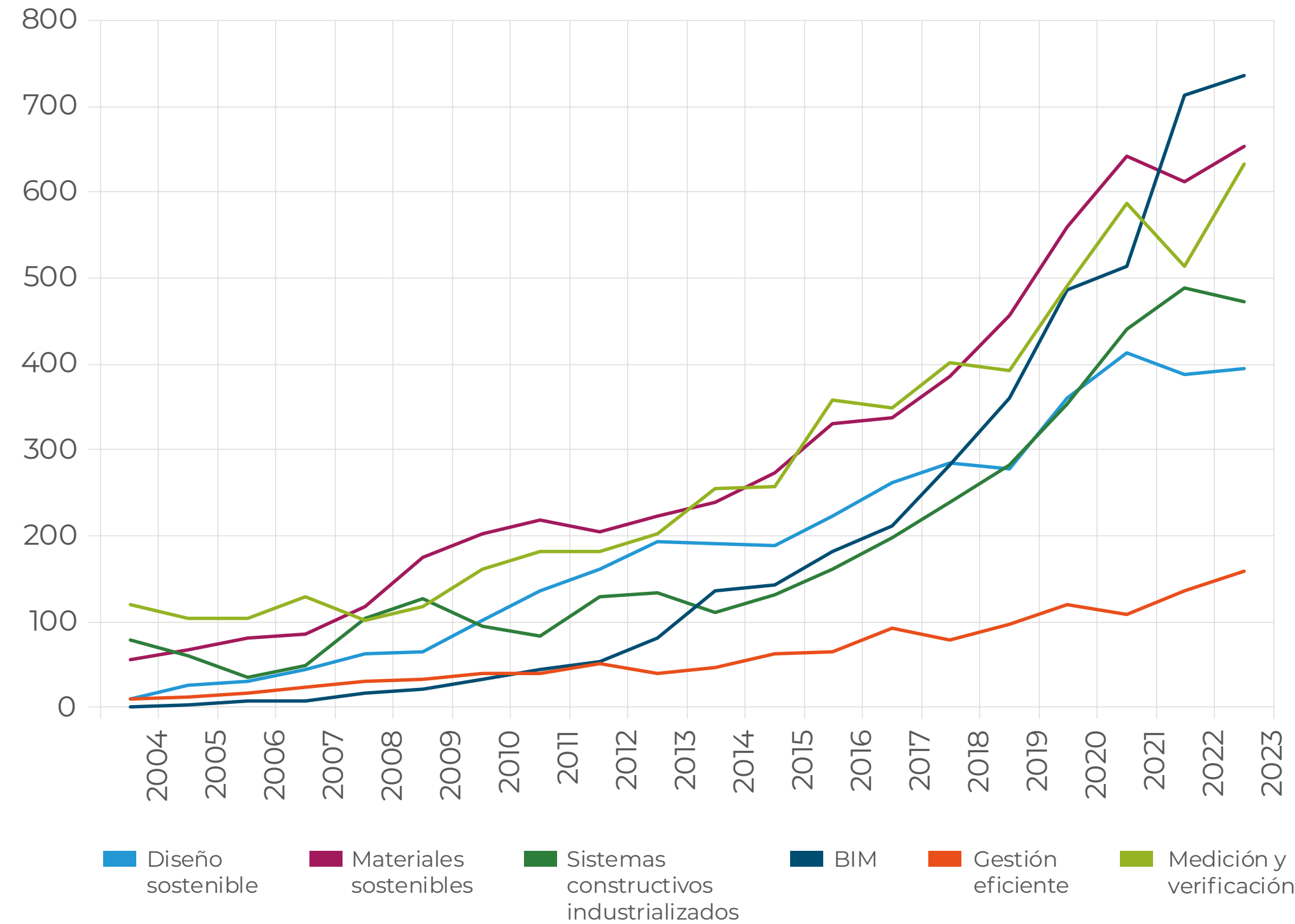


Fuente: Informe final de consultoría del BID, “Mapeo de herramientas digitales y métodos constructivos innovadores para un sector de la construcción sostenible” (Baptista, 2024).

2.8. GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO SOBRE TIPOS DE SOLUCIONES

En los últimos veinte años ha habido un fuerte y sostenido crecimiento de la producción científico-tecnológica a nivel global vinculada a las categorías presentadas, con tasas de crecimiento promedio anual de entre el 9% y el 37% entre 2004 y 2023. La mayor producción anual se registra para las categorías de tecnologías digitales avanzadas (BIM, con un promedio de 37%), materiales de construcción sostenibles, medición y verificación del impacto ambiental de las construcciones, y sistemas constructivos industrializados, en ese orden según se puede apreciar en el gráfico 4. En ALC (véanse los gráficos A5.3. y A5.4 del anexo V), entre 2005 y 2022 la producción de artículos sobre estas temáticas tuvo un promedio anual del 23%, aunque solo llega a representar el 3,6% de la producción anual. En el anexo V se presenta un análisis de la producción científico-tecnológica asociada a temas de construcción sostenible en general.

Gráfico 4. Publicaciones científico-tecnológicas en Scopus y según el tipo de solución para la construcción sostenible, período 2004-23



Fuente: Scopus (Portal Timbó, ANII), consultado en marzo de 2024.

3

EXPERIENCIAS, RETOS Y OPORTUNIDADES PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

En el marco del presente estudio se desarrolló un análisis cualitativo mediante entrevistas semiestructuradas a actores relevantes pertenecientes a organizaciones gubernamentales, empresariales y académicas o profesionales de cuatro países de América Latina y el Caribe (ALC): Brasil, Chile, Costa Rica y Uruguay. El objetivo del relevamiento fue recabar la percepción, los enfoques y la evidencia sobre iniciativas, obstáculos y desafíos, los factores que promueven y las buenas prácticas para la implementación de la digitalización y de soluciones innovadoras para una construcción con enfoque sostenible en la región. En el cuadro 1 se presenta una síntesis de las organizaciones que participaron del relevamiento, clasificadas por tipo de institución y país.

Cuadro 1. Distribución de las organizaciones relevadas según tipo y país

País	Tipo de organización		
	Gubernamental	Empresarial	Académica/ profesional
Brasil	Secretaría de Ciudades (SC)		Universidad Federal de Santa Catarina (UFCS) Consejo Brasileño de Construcción Sustentable (CBCS)
Chile	Ministerio de Obras Públicas (MOP) Construye2025	Cámara Chilena de la Construcción (CChC) Consejo de Construcción Industrializada (CCI)	Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción (CTEC)
Costa Rica	Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)		Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) Universidad Internacional de las Américas (UIA)
Uruguay	Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial (MVOT) Corporación Nacional para el Desarrollo (CND)	Cámara de la Construcción del Uruguay (CCU)	Universidad ORT
Regional	Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos (BIM Gob Latam)	Inconet - Federación Interamericana de la Industria de la Construcción (FIIC)	Red Latinoamericana de Madera Estructural (RELAMAD)

Fuente: Elaboración propia sobre la base del listado de entrevistados (anexo I).

En los siguientes apartados se presentan los principales resultados de las entrevistas realizadas, organizados según los diferentes ejes que se abordaron en el relevamiento: i) iniciativas; ii) tipo de soluciones promovidas; iii) obstáculos y desafíos; iv) factores que promueven, y v) identificación de buenas prácticas.

3.1. INICIATIVAS QUE CONTRIBUYEN A LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

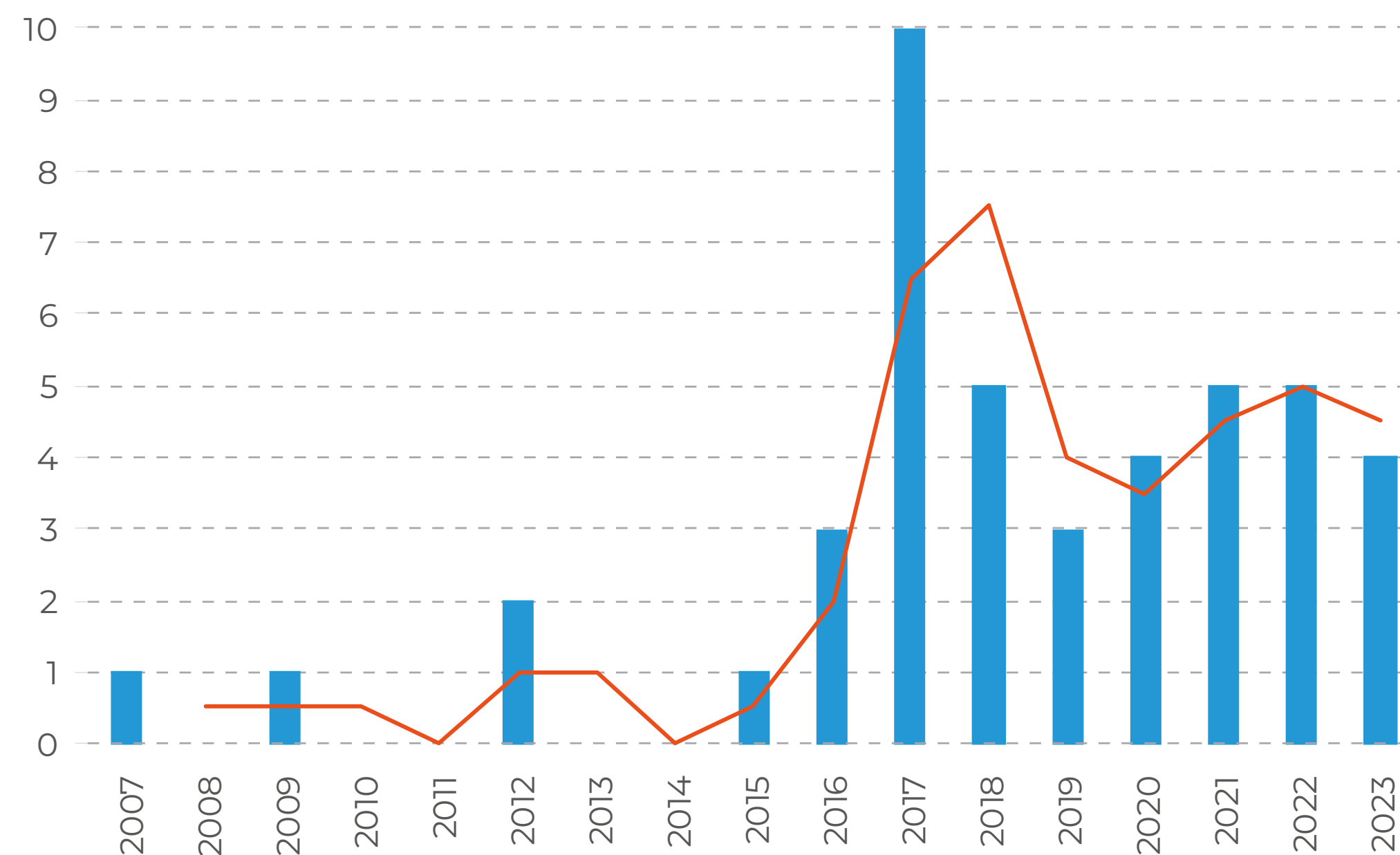
En este apartado se sintetiza información sobre las principales iniciativas y/o prácticas que contribuyen al desarrollo de un sector de la construcción con enfoque sostenible en Brasil, Chile, Costa Rica y Uruguay, identificadas a partir de las entrevistas realizadas. Asimismo, se analiza en qué medida dichas iniciativas han involucrado o involucran de manera directa a organizaciones pertenecientes a diferentes sectores institucionales.

A partir de las entrevistas fue posible identificar al menos 44 iniciativas en los países analizados, que contribuyen, directa o indirectamente, al desarrollo de un sector de la construcción sostenible. Es importante mencionar que el relevamiento realizado no fue exhaustivo, y tuvo por objeto una aproximación a las prácticas vinculadas con el tema. Con esta consideración, el gráfico 5 presenta la evolución temporal de las iniciativas.

Desde 2015, han surgido de manera sostenida acciones orientadas a promover la construcción sostenible en los países analizados. Este período coincide con la firma del Acuerdo de París de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que establece metas para la descarbonización de la economía global y la resiliencia climática para 2050 y genera un sentido de urgencia global sobre la sostenibilidad ambiental y la crisis climática. La evolución de las iniciativas, como se muestra en el gráfico 5, refleja el surgimiento y el posicionamiento de la construcción sostenible como una nueva área de políticas a nivel nacional o institucional en los países analizados. Sin embargo, este proceso presenta particularidades específicas en cada país.

En el anexo III, “Iniciativas identificadas por país”, se pueden observar los cuadros A3.1., A3.2., A3.3. y A3.4., que presentan el listado de iniciativas identificadas a partir de las entrevistas en los cuatro países. Los cuadros contienen información sintética sobre las organizaciones que formaron parte de dichas iniciativas y el sector institucional (gubernamental, empresarial o académico/profesional) de la organización que asumió el rol de liderazgo.

Gráfico 5. Número de iniciativas identificadas que contribuyen a la construcción sostenible



Fuente: Elaboración propia sobre la base de las entrevistas realizadas (2023-24).

3.1.1. Síntesis de iniciativas identificadas

El relevamiento cualitativo identificó al menos 44 iniciativas orientadas a desarrollar un sector de la construcción sostenible, de las cuales dos tercios son liderados por el sector gubernamental. La evolución temporal de estas iniciativas cobra impulso a partir de 2015, con un alza notable en 2017, para luego establecer cierta tendencia homogénea entre 2018 y 2023, lo que refleja un creciente interés y posicionamiento de

la sostenibilidad en las políticas nacionales e institucionales.

Existe una considerable heterogeneidad entre los países en cuanto a las estrategias de articulación interinstitucional a dos niveles: i) entre organizaciones del sector gubernamental y ii) entre organizaciones de gobierno, empresariales y pertenecientes al sector académico o profesional. En Chile, se observa una mayor coordinación público-público, favorecida por un tempra-

no mecanismo de cooperación y una estrategia deliberada de involucrar al sector empresarial y académico o profesional. En Brasil y Costa Rica, muchas iniciativas gubernamentales cuentan con fuerte apoyo de organizaciones académicas y profesionales. En Uruguay, el sector empresarial, principalmente la Cámara de la Construcción del Uruguay (CCU), se involucra con frecuencia en iniciativas públicas, pero la participación del sector académico o profesional está más limitada a proyectos puntuales.

A nivel general, se identificaron algunas convergencias entre los países:

1. Todos los países han promovido la construcción sostenible enfocada en viviendas para la población de bajos ingresos.
2. Las cámaras de la construcción de los cuatro países han incorporado la sostenibilidad en su agenda de trabajo,⁴² abarcando dimensiones ambientales, económico-financieras y, en algunos casos, sociales.

42 La institucionalización de líneas de trabajo específicas vinculadas con la sostenibilidad ambiental de la construcción también se evidencia en instituciones de los sectores gubernamental, académico y profesional de varios de los países analizados.

3. El sector empresarial ha liderado iniciativas para incorporar tecnologías digitales avanzadas, especialmente la metodología BIM, con esfuerzos de articulación público-privada tanto a nivel nacional como regional.

3.2. TIPOS DE SOLUCIONES PROMOVIDAS

Este apartado analiza la vinculación de las iniciativas orientadas a la construcción sostenible en Brasil, Chile, Costa Rica y Uruguay con las seis categorías de soluciones presentadas en la sección 2 de este documento.

El gráfico 6 clasifica las 44 iniciativas identificadas según el tipo de solución que promueven. Más de la mitad de estas iniciativas se relacionan con la medición y la verificación de la sostenibilidad de la construcción y con enfoques de gestión eficientes. Luego, se identifican aquellas que fomentan estrategias de diseño sostenible. Sin embargo, es notablemente menor el número de las que promueven la adopción de sistemas constructivos industrializados y la utilización de materiales sostenibles.

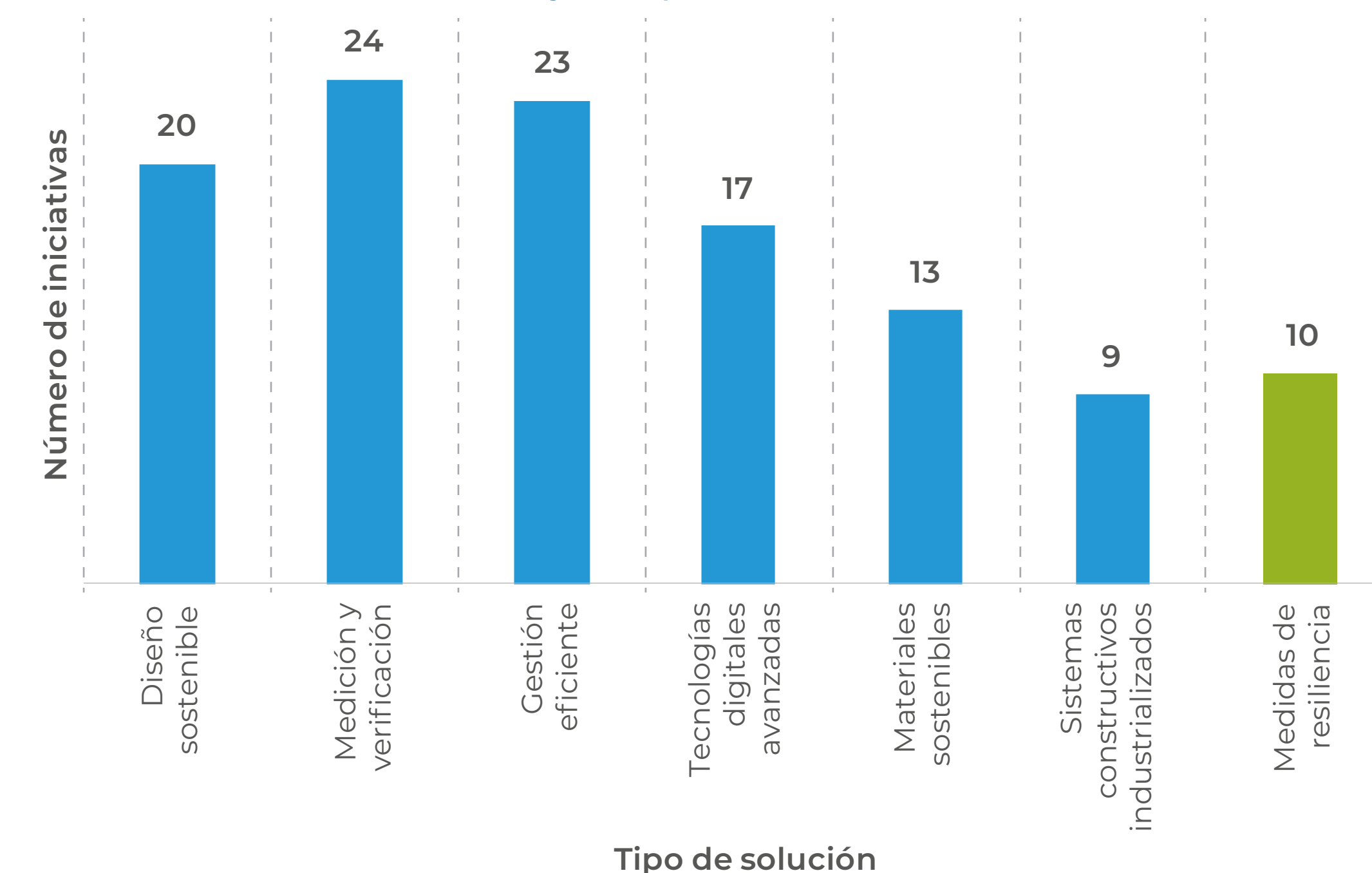
Este último resultado es significativo porque los países líderes en construcción sostenible, como Reino Unido o Singapur, están centrando sus esfuerzos precisamente en soluciones vinculadas con la construcción

industrializada y la incorporación de tecnologías digitales avanzadas como habilitantes a lo largo del ciclo de vida de los activos. También se debe aclarar que la relación entre las iniciativas puede incrementar los resultados, y una de las que genera mayor impacto es la de las tecnologías digitales avanzadas, ya que permiten habilitar procesos más eficientes y estandarizados. Esto

sugiere que existen importantes oportunidades para avanzar en estas áreas en los países de la región.

En el anexo IV, “Tipos de soluciones promovidas por país”, se analizan los tipos de soluciones promovidas en las iniciativas que contribuyen a la construcción sostenible, identificadas a partir de un relevamiento cualitativo a nivel de cada país.

Gráfico 6. Iniciativas identificadas según el tipo de solución



Fuente: Elaboración propia sobre la base de entrevistas realizadas (2023-24).
Nota: Véase la sección 2 para más información sobre cada tipo de solución.

3.2.1. Análisis integrado

El análisis revela una escasa integración de los diferentes tipos de soluciones en las iniciativas que promueven la construcción sostenible en los países considerados. El 34% de estas iniciativas se enfoca en un solo tipo de solución, mientras que aproximadamente un tercio (32%) abarca dos categorías de soluciones diferentes. El 34% restante aborda tres o más soluciones, y solo cuatro de ellas (9%) plantean la totalidad de las soluciones. Esta falta de integración sugiere oportunidades de mejora en el diseño de políticas de fomento a la construcción sostenible en la región (para mayor detalle, véanse los cuadros A4.1., A4.2., A4.3. y A4.4. del anexo IV).

Al analizar cómo se combinan los distintos tipos de soluciones en estas iniciativas, el cuadro 2 muestra que hay una asociación importante entre el fomento del diseño arquitectónico sostenible, la medición y la verificación de su sostenibilidad, y el uso de enfoques de gestión eficiente. Las iniciativas que impulsan en uso de materiales sostenibles suelen integrarse con estas medidas y enfoques. Aquellas que promueven sistemas constructivos industrializados tienden a abarcar todas las categorías de soluciones propuestas. Sin embargo, las iniciativas para favorecer el

Cuadro 2. Interrelación entre los diferentes tipos de soluciones y las iniciativas identificadas en Brasil, Chile, Costa Rica y Uruguay

Tipo de soluciones		Diseño sostenible	Medición y verificación de impacto ambiental	Enfoques de gestión eficiente	Tecnologías digitales avanzadas	Materiales sostenibles	Sistemas constructivos industrializados	Resiliencia
Diseño sostenible	N	20	12	10	6	10	7	9
	%	100%	60%	50%	30%	50%	35%	45%
Medición y verificación de impacto ambiental	N	12	24	17	7	11	5	4
	%	50%	100%	71%	29%	46%	21%	17%
Enfoques de gestión eficiente	N	10	17	23	9	10	6	5
	%	43%	74%	100%	39%	43%	26%	22%
Tecnologías digitales avanzadas	N	6	7	9	17	5	6	2
	%	35%	41%	53%	100%	29%	35%	12%
Materiales sostenibles	N	10	11	10	5	13	6	4
	%	77%	85%	77%	38%	100%	46%	31%
Sistemas constructivos industrializados	N	7	5	6	6	6	9	1
	%	78%	56%	67%	67%	67%	100%	11%
Resiliencia	N	9	4	5	2	4	1	10
	%	90%	40%	50%	20%	40%	10%	100%

Fuente: Elaboración propia sobre la base de entrevistas realizadas (2023-24).
Nota: N=44.

uso de tecnologías digitales avanzadas en la construcción se encuentran poco inte-

gradadas con otras soluciones para la construcción sostenible.⁴³

⁴³ De hecho, salvo algunas excepciones puntuales, las tecnologías digitales avanzadas no son visualizadas espontáneamente por los entrevistados como una herramienta que puede aportar a la construcción sostenible.

En las entrevistas, algunos referentes expresaron interés institucional por avanzar en ciertas áreas relacionadas con la construcción sostenible y la construcción resiliente al cambio climático. En el caso de Uruguay, señalaron el interés vinculado a la medición de la huella de carbono y a la construcción industrializada. En Costa Rica, se mencionó compromiso de continuar desarrollando la iniciativa de Bandera Azul Ecológica de Construcción Sostenible (BAECS)⁴⁴ y, eventualmente, compartir esta herramienta con otros países de la región, en especial en Centroamérica.

3.3. OBSTÁCULOS Y DESAFÍOS

En el marco del relevamiento cualitativo, se solicitó a los entrevistados que indicaran cuáles consideraban los principales desafíos asociados a la implementación de iniciativas de fomento a la construcción con enfoque sostenible en sus respectivos países, así como los factores que obstaculizaron la implementación de dichas iniciativas. Los que se mencionaron con mayor frecuencia se vinculan con i) la existencia

de brechas de información y conocimiento; ii) las debilidades institucionales del sector gubernamental, y iii) la percepción de incompatibilidad entre sostenibilidad ambiental y económica. A continuación, se profundiza en el análisis de estos desafíos.

3.3.1. Brechas de información y conocimiento

Referentes de los cuatro países analizados señalaron la existencia de importantes brechas cognitivas que actúan como barreras para impulsar el desarrollo de la construcción sostenible en la región. Estas brechas de conocimiento e información afectan a diferentes agentes clave del proceso de construcción y la cadena de valor, incluyendo trabajadores de la industria, equipos técnicos, responsables de decisiones en el sector empresarial y gubernamental, y la sociedad civil en su rol de potencial demandante de infraestructuras sostenibles.

Entrevistados de todos los países y sectores institucionales enfatizaron la necesidad de incorporar temas de sostenibilidad ambiental, resiliencia de la infraestructura y soluciones disponibles en los planes de formación de los profesionales del sector, como arquitectos, ingenieros, constructores, proyectistas y gerentes de proyecto. Algunos referentes sugieren que solo se podrá avanzar en la construcción sostenible

en la región si estas materias se integran plenamente en las universidades, no solo como especialización, sino como contenidos mandatorios en la formación profesional. A pesar de que han surgido programas de formación y actualización técnica y profesional sobre construcción sostenible en los últimos años, la oferta sigue siendo limitada y no constituye una parte central de la capacitación profesional.

Además, varios entrevistados destacaron la necesidad de una formación más profunda en temas específicos, como el enfoque del ciclo de vida de los activos. Actualmente, hay un foco en los recursos y la energía consumidos durante la operación, pero es menos frecuente que se considere la energía embebida en los materiales de construcción y a lo largo de todo el ciclo de vida, hasta su desmantelamiento y disposición final. Este enfoque también implica desafíos en términos de formación en la medición de huella de carbono y en el manejo de sistemas de información que abarquen desde la producción y el transporte hasta el potencial reciclaje o reutilización de los materiales de construcción.

Otro requerimiento de capacitación específica que surgió espontáneamente durante las entrevistas es el uso de la metodología BIM. Los entrevistados coinci-

dieron en la necesidad de una formación universitaria más completa sobre BIM, que no solo enseñe modelación y visualización 3D, sino que también profundice en la gestión de proyectos de construcción y en su uso durante las fases de diseño, construcción, operación y mantenimiento de los edificios.

Aparte de la formación profesional, algunos referentes destacaron la importancia de capacitar a todos los trabajadores del sector (técnicos, operarios y subcontratistas) en construcción sostenible y en diferentes tipos de soluciones. La preparación de la mano de obra en toda la cadena de valor es especialmente crítica cuando se trata de trabajar con soluciones y materiales no convencionales y con sistemas constructivos industrializados, y cuando se utiliza BIM o enfoques de gestión eficientes.

Otro desafío importante es cerrar las brechas de información entre los diferentes agentes del sector de la construcción y la sociedad en general, para crear una mayor conciencia ambiental y derribar mitos que inhiben el avance en esta área. Por ejemplo, en Uruguay, la creencia extendida de que las viviendas de madera son de baja calidad es un obstáculo para el desarrollo de la construcción con este componente. También existe desinformación sobre las

44 Desde 2017, la certificación Bandera Azul Ecológica de Construcción Sostenible (BAECS) premia buenas prácticas ambientales, económicas y sociales en el diseño y la construcción de infraestructuras en Costa Rica. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha desarrollado una herramienta que permite promover e implementar la compra pública innovadora. Véase <https://innovationprocurement-compass.com/>.

ventajas de la madera como material de construcción entre el público general y los profesionales del sector.

Generar una mayor conciencia ambiental es clave para que la sociedad demande edificios e infraestructura sostenibles, lo cual contribuiría a aumentar la oferta de este tipo de construcciones en la región.

Finalmente, se destacó la importancia de crear comunidades de práctica a nivel nacional, regional e internacional para intercambiar conocimientos, información y experiencias sobre construcción sostenible, adaptación al cambio climático y diferentes soluciones disponibles como una acción clave para cerrar las brechas de información y conocimiento.

3.3.2. Debilidades institucionales a nivel del sector gubernamental

El fomento de la construcción ambientalmente sostenible requiere una sólida capacidad de liderazgo y gestión por parte del sector gubernamental. Esto incluye i) capacidad de movilizar y coordinar esfuerzos entre diversos actores, asumir roles estratégicos en la articulación público-público, público-privada e internacional; ii) generar condiciones habilitantes para el desarrollo de la construcción sostenible (tales como el desarrollo de capacidades, normativa,

herramientas operativas, infraestructura, certificaciones de materiales y procesos, y la agilización de trámites y permisos), y iii) estimular la demanda de construcción sostenible a través de la compra pública y la compra pública innovadora.

La mayoría de los entrevistados señalaron debilidades institucionales a nivel gubernamental que presentan desafíos significativos para la promoción exitosa de la construcción ambientalmente sostenible en sus respectivos países. Estas debilidades afectan la sostenibilidad de las políticas que se implementan en la actualidad. Las observaciones provienen de referentes de los sectores empresarial, académico, profesional y gubernamental.

Varios entrevistados destacaron que en las organizaciones estatales a menudo existe una fuerte dependencia del perfil personal y/o profesional de algunos servidores públicos para impulsar iniciativas de construcción con un enfoque sostenible y adoptar soluciones. Esto representa una debilidad considerable, especialmente en la rotación de las personas que integran los equipos técnicos de dichas organizaciones, que se acrecienta por el cambio de autoridades.

Asimismo, algunos referentes señalaron que las intervenciones públicas orientadas al fomento de la construcción sostenible

suelen depender de los ciclos políticos, lo cual genera un riesgo constante de discontinuidad o inconsistencia en la implementación de las iniciativas, reduciendo así su eficacia.

Otros entrevistados opinaron que las medidas y los recursos asignados por el gobierno para fomentar la construcción sostenible no parecen formar parte de una estrategia planificada y monitoreada que permita cumplir con los compromisos nacionales de descarbonización de la economía. Al menos seis entrevistados mencionaron que, para avanzar en esta línea, el Estado debería pasar de estrategias indicativas a estrategias vinculantes, y desarrollar capacidades adecuadas para su fiscalización. Esta opinión es menos frecuente entre los referentes del sector empresarial.

3.3.3. Percepción de discrepancia entre sostenibilidad ambiental y económica

Las opiniones recopiladas sugieren que tanto las empresas como las organizaciones gubernamentales enfrentan una curva de aprendizaje cuando se involucran por primera vez en proyectos de construcción sostenible. Esta curva de aprendizaje, junto con las inversiones necesarias para adoptar este nuevo modelo de negocios, genera mayores costos iniciales para los distintos actores.

La mayoría de los entrevistados coincidieron en que estos costos iniciales se compensan en el mediano y largo plazo con ganancias en términos de productividad, eficiencia y ahorros asociados, incluso sin considerar los beneficios sociales. Para que los agentes, públicos o privados, decidan emprender este tipo de proyectos, es necesario que estos se evalúen desde una perspectiva económica a mediano y largo plazo, y se contabilicen adecuadamente los retornos y las externalidades asociadas. Además, deben disponer de la financiación necesaria para realizar las inversiones iniciales. Esta lógica también se aplica al consumidor final, que podría pagar más por una edificación con criterios de eficiencia energética, aunque los ahorros durante la operación compensen la inversión inicial.

Las entrevistas revelaron casos específicos, tanto en el sector empresarial como en el gubernamental, donde una visión a corto plazo impide el desarrollo de proyectos de construcción sostenible. Al menos cuatro entrevistados expresaron que construir de manera sostenible es percibido como más costoso, y destacaron una aparente incompatibilidad entre sostenibilidad ambiental y sostenibilidad económica.

Por lo tanto, uno de los desafíos identificados es fomentar una visión a largo plazo entre los agentes públicos y privados al evaluar la relación costo-beneficio de la construcción sostenible. Además, es crucial facilitar el acceso a financiamiento en condiciones favorables para realizar las inversiones iniciales necesarias para este tipo de proyectos.

3.3.4. Otros desafíos y obstáculos

Aunque con menor frecuencia, los entrevistados mencionaron otros desafíos y obstáculos para avanzar en el desarrollo de la construcción con un enfoque sostenible en sus respectivos países.

Entre estos desafíos, se destacan:

- ◆ **Reconocimiento y visibilización de casos de éxito:** Desarrollar estrategias que permitan dar visibilidad a los proyectos, tanto públicos como privados, que incorporen buenas prácticas en la construcción sostenible.
- ◆ **Demanda limitada:** La demanda final para la infraestructura sostenible desde el punto de vista ambiental aún es muy limitada o incipiente en los países analizados.

Entre los obstáculos señalados, se incluyen:

- ◆ **Informalidad en la construcción:** La actividad informal en la construcción genera una competencia desleal que permite costos significativamente más bajos que los de la actividad formal. Esto desinforma al consumidor final sobre las características y la sostenibilidad ambiental del producto final y del proceso constructivo.
- ◆ **Resistencia al cambio:** Existe resistencia al cambio tanto en el sector empresarial, que se caracteriza por ser conservador, como dentro del propio Estado. Muchos entrevistados opinan que, sin fomento, obligatoriedad y fiscalización por parte del Estado para el desarrollo de prácticas sostenibles, es menos probable que los agentes salgan de su zona de confort y adopten voluntariamente la construcción sostenible.

3.4. FACTORES QUE PROMUEVEN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

En el marco del relevamiento, también se consultó a los referentes sobre los factores que facilitan o favorecen la implementación de acciones orientadas a promover la construcción sostenible. A continuación, se presentan los factores identificados a nivel general y los específicos para cada país analizado.

3.4.1. Factores generales

- ◆ **Pandemia de la COVID-19:** La paralización de la industria de la construcción durante la pandemia mostró la pertinencia de acelerar la digitalización del sector y aumentar el uso de componentes prefabricados. La digitalización permite que los proyectos continúen en un entorno virtual durante las etapas de planificación y diseño, mientras que los componentes prefabricados requieren menos personal en obra, lo cual es ventajoso en contextos de distanciamiento físico.
- ◆ **Cambio climático:** La creciente evidencia del cambio climático en la región ha generado una mayor conciencia socioambiental y ha favorecido la implementación de medidas de fomento para la construcción sostenible.
- ◆ **Compromisos climáticos:** Los compromisos climáticos de cada país y la necesidad de cumplir con las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) han impulsado iniciativas de promoción de la construcción sostenible por parte del Estado.
- ◆ **Apoyo internacional:** La existencia de apoyo técnico y financiero de organizaciones internacionales, como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Cooperación Técnica Alemana (GIZ), fa-

cilita el desarrollo de iniciativas en construcción sostenible.

- ◆ **Cooperación técnica entre países:** La cooperación técnica entre países, basada en la identificación de buenas prácticas y lecciones aprendidas, es vista como un elemento de importante apoyo. Algunos ejemplos que incluyen este tipo de colaboración son Japón, Canadá, Finlandia, Singapur, Inglaterra y Chile.
- ◆ **Nuevas generaciones:** Las nuevas generaciones están más sensibilizadas con el cuidado del medio ambiente, y esto puede facilitar el avance hacia la construcción sostenible en el futuro.

3.4.2. Factores específicos por país

- ◆ **Brasil:** El gran déficit habitacional (UN-Habitat, 2015) y el poder de compra del Estado para la construcción de viviendas sociales son oportunidades importantes para promover la construcción sostenible. El apoyo técnico del sector académico también es un factor que favorece.
- ◆ **Chile:** El programa Construye2025 de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y el apoyo a la creación de centros tecnológicos han sido fundamentales para promover la productividad y la sostenibilidad del sector. Chile también cuenta con una producción nacional de madera de alta calidad para la construcción sostenible.

♦ **Costa Rica:** La gran sensibilidad de los ciudadanos hacia los temas ambientales y la incipiente demanda de viviendas sostenibles, especialmente entre familias de alto poder adquisitivo en zonas costeras, son factores importantes.

♦ **Uruguay:** La producción nacional de madera adecuada para la construcción y el valor reputacional para las empresas constructoras especializadas en sostenibilidad facilitan el acceso a mercados internacionales. La demanda incipiente de edificaciones sostenibles, asociada a empresas multinacionales y a extranjeros con alto poder adquisitivo, también es un factor relevante.

Estos factores y desafíos reflejan la complejidad y las oportunidades vinculadas con el desarrollo de la construcción sostenible en la región, y destacan la necesidad de poner en marcha estrategias integradas y colaborativas para superar los obstáculos y aprovechar los escenarios identificados.

3.5. IDENTIFICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS

El análisis cualitativo desarrollado en este estudio permitió detectar buenas prácticas relacionadas con el fomento a la construcción sostenible en la región. Algunas de las que se implementan en los países analizados son las siguientes:

i. **Benchmarking internacional y transferencia de conocimiento:**

- **Estrategias:** Desarrollar estrategias de benchmarking internacional y mecanismos de transferencia de conocimiento desde instituciones y países de referencia.
- **Cooperación técnica:** Establecer la cooperación técnica entre países y crear comunidades de práctica a nivel nacional e internacional enfocadas en la construcción sostenible.

Estas acciones ayudan a cerrar brechas de información y conocimiento, y aceleran los procesos institucionales basados en experiencias previas de otras organizaciones o países.

ii. **Capacitación y fortalecimiento de equipos técnicos:**

- **Capacitación:** Capacitar a los equipos técnicos encargados de impulsar y dar respuesta a las iniciativas de construcción sostenible.
- **Fortalecimiento:** Incorporar nuevos perfiles profesionales especializados para fortalecer estos equipos.

Esto mejora el entendimiento y la alineación de los equipos con los objetivos, y también permite acelerar la adopción y la aplicación

de criterios y soluciones para la construcción sostenible en los procesos institucionales, y mejorar la respuesta del mercado a las necesidades de la construcción sostenible.

iii. **Mecanismos de articulación interinstitucional:**

- **Ámbito público-público:** Formalizar mecanismos de articulación interinstitucional mediante convenios o estrategias conjuntas, definir roles y responsabilidades, y establecer la asignación de recursos específicos.
- **Ámbito público-privado:** Involucrar activamente al sector empresarial, académico y profesional en iniciativas gubernamentales para lograr mayor compromiso y efectividad en la implementación de estas acciones.

Asegurar la sostenibilidad y la articulación del ecosistema facilitará la coordinación interinstitucional y favorecerá el desarrollo de políticas de mediano y largo plazo, y la puesta en práctica de estrategias nacionales de construcción sostenible, menos susceptibles a los cambios de lineamientos políticos entre los gobiernos.

iv. **Promoción de la innovación:**

- **Promoción:** Involucrar a organizaciones nacionales que promueven nuevas iniciativas de productividad

y competitividad para fomentar la digitalización y la innovación como habilitantes para la construcción sostenible.

- **Sector académico:** También impacta positivamente en la creación de líneas de investigación y desarrollo tecnológico, así como en la adaptación de programas formativos relacionados con la digitalización y la innovación como habilitantes para la construcción sostenible.

Esto permite generar capacidades tecnológicas habilitantes, promover iniciativas sostenibles y eficientes, y fomentar la colaboración en proyectos concretos.

Estas buenas prácticas contribuyen significativamente al desarrollo del sector de la construcción sostenible, e impulsan un enfoque colaborativo basado en la digitalización, la innovación y la transferencia de conocimientos.

El relevamiento también identificó estrategias gubernamentales efectivas para fomentar la construcción sostenible, destacadas como buenas prácticas por los propios entrevistados. Estas estrategias incluyen:

- i. Compra pública y compra pública innovadora:**⁴⁵ Utilizar la compra pública como un motor para la demanda de construcción sostenible, incluyendo la compra pública innovadora para abordar desafíos tecnológicos, generar prototipos demostrativos y promover la compra pública verde (Salazar Cota, Fernández y Dalaison, 2018).
- ii. Incentivos financieros:** Asociar la obtención de certificaciones de sostenibilidad con beneficios financieros, como el acceso a líneas de crédito bancario con tasas de interés preferenciales.
- iii. Incentivos no financieros:** Ofrecer beneficios adicionales a los proyectos de construcción sostenible certificados, como aumentar los metros cuadrados de construcción, la altura o la densidad permitida.
- iv. Centros tecnológicos:** Fomentar la creación de centros tecnológicos que faciliten la innovación en construcción sostenible y ofrezcan infraestructura, servicios de desarrollo de prototipos, validación de pilotos y asesoría especializada. Esto es especialmente relevante en regiones donde la producción local

45 El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha desarrollado una herramienta que permite promover e implementar la compra pública innovadora. Véase <https://innovationprocurementcompass.com/>.

de conocimientos tecnológicos en este ámbito es limitada.⁴⁶

Una reflexión que deriva del análisis de las buenas prácticas identificadas a partir de las entrevistas es que, para favorecer la implementación de intervenciones más efectivas de fomento a la construcción con enfoque sostenible en los países de la región, es esencial que el sector gubernamental, con una mirada de largo plazo, asuma un rol de liderazgo a nivel nacional en esta nueva área de políticas y promueva la articulación del ecosistema para colaborar.

Finalmente, cabe destacar que, si bien el presente estudio se focalizó en la dimensión ambiental de la sostenibilidad, en el curso del análisis se evidenció una fuerte interrelación entre esta y las otras tres dimensiones definidas por el BID (2019): económico-financiera, institucional y social. Más precisamente, se constató que estas últimas tres dimensiones pueden operar como limitantes o como facilitadoras del desarrollo de la construcción ambientalmente sostenible, mientras que la sostenibilidad ambiental, a su vez, puede facilitar o restringir el avance en las otras dimensiones de la sostenibilidad de la infraestructura.

46 Véase el cuadro A3.2. del anexo III, "Iniciativas identificadas por país", y el cuadro A4.2. del anexo IV, "Tipos de soluciones promovidas".

4

CLAVES DEL FUTURO PARA TRANSFORMAR EL SECTOR

El estudio realizado permite detectar aspectos relevantes para impulsar el desarrollo futuro de acciones enfocadas en promover e incrementar la digitalización y los sistemas constructivos y materiales innovadores para la transformación del sector de la construcción en la región, y así potenciar las oportunidades de la construcción sostenible en América Latina y el Caribe (ALC). Para tal fin y alcanzar los beneficios esperados, es clave abordar las limitaciones y barreras existentes, identificadas a través de las entrevistas.

En este sentido, para promover la transformación de la industria de la construcción sostenible en ALC, es esencial un liderazgo público de largo plazo que sea capaz de sortear los ciclos políticos y que articule y comunique la urgencia de la transformación digital y la adopción de sistemas constructivos y materiales innovadores

como habilitadores clave para la construcción sostenible, la descarbonización y la resiliencia climática. Este liderazgo debe establecer una visión estratégica integral que reconozca los desafíos ambientales y económicos de la región, e impulse una transición hacia prácticas más sostenibles y resilientes.

La comunicación efectiva de la estrategia y su hoja de ruta, así como su difusión amplia, es fundamental para generar conciencia y obtener el apoyo necesario para construir un compromiso sólido entre los sectores público, privado y académico, el desarrollo de una estrategia vinculante, clara y consensuada, y una hoja de ruta flexible con objetivos y metas alcanzables a corto y mediano plazo.

Ahora bien, tanto la estrategia como su hoja de ruta deben ser capaces de generar las condiciones y gestionar las limitaciones detectadas. En este sentido, hay cua-

tro áreas que deben abordarse en paralelo: i) gestionar el conocimiento, las capacidades y competencias en la cadena de valor; ii) traccionar la oferta por medio de la demanda e implementar instrumentos de compras públicas; iii) actualizar la normatividad y generar incentivos, y iv) medir y comunicar el desempeño y el avance de las iniciativas.

Para ello, es fundamental mejorar las capacidades, las competencias y las herramientas de los responsables de las compras públicas para integrar criterios de sostenibilidad y digitalización en las contrataciones. Asimismo, es vital fortalecer las capacidades y las competencias de las empresas, de la mano de obra y de los operarios para fortalecer la oferta. También es necesario colaborar con el sector académico en la actualización de los planes de formación técnica y profesional, y en la educación continua para el sector en

toda la cadena de valor. Fomentar la cooperación y el intercambio de conocimientos, estableciendo marcos colaborativos de trabajo, comunidades de práctica y la difusión de los casos de éxito que propaguen el conocimiento, ayuden a derribar mitos y faciliten la implementación de la digitalización y las soluciones innovadoras, es clave para la transformación del sector hacia la construcción sostenible.

Además, es preciso utilizar estratégicamente el poder de las compras públicas como una palanca fundamental para acelerar la transformación digital y adoptar sistemas constructivos, materiales innovadores y prácticas sostenibles en el sector de la construcción. Esto implica emplear la compra pública, especialmente la compra pública de innovación y la compra pública verde, como motor para traccionar y acelerar la adopción a gran escala por parte de la industria.

Promover la actualización de normativas y certificaciones para reflejar las mejores prácticas internacionales e impulsar el desarrollo de subsidios y otros mecanismos de incentivos financieros y no financieros es esencial para motivar a las empresas a adoptar estas prácticas, ofreciendo beneficios como incentivos fiscales y el acceso a financiamiento preferencial.

El éxito de estas iniciativas debe monitorearse mediante mecanismos robustos de medición para evaluar el progreso en la implementación de las nuevas prácticas y su impacto real en la reducción de la huella de carbono, el aumento de la resiliencia climática y otros indicadores clave de sostenibilidad, y deben difundirse los resultados. Lo anterior permitirá asegurar el compromiso a largo plazo y que las políticas y estrategias adoptadas estén efectivamente contribuyendo a una construcción más sostenible y resiliente en la región.

Impulsar la digitalización no solo optimizará e integrará los procesos a lo largo de todo el ciclo de la construcción, sino que también mejorará la transparencia, la eficiencia y la productividad del sector, y facilitará la implementación de métodos de construcción eficientes y sostenibles. Esto debe ser una prioridad para garantizar que las nuevas prácticas sean adoptadas de manera generalizada. De esta forma, se logrará transformar el sector hacia una industria de la construcción sostenible, resiliente y competitiva, capaz de responder a los desafíos ambientales, sociales y económicos de la región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alavedra, P., J. Dominguez, G. Engracia y J. Serra. 1997. La construcción sostenible. El estado de la cuestión, en *Informes de la Construcción*, 451(49).

Alvear, A., J.P. Campos, J. Ciancio, W. Dalaison, G. De Angelis, M.A. Escovar, H. Madrid, R. Narváez, F. Pedrasa, R. Porta García, G. Suarez y A. Zambrano. 2023. Resiliencia y sostenibilidad en los códigos de construcción de América Latina y el Caribe: análisis regional comparativo y oportunidades de fortalecimiento. Washington, D.C.: BID.

Alvear, A., M. Esmaili, E. González-Mahecha, C. Hernandez y L. Minoja. 2022. Edificios verdes: lineamientos para la incorporación y contabilización de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. Washington, D.C.: BID.

Bailey, J., P. Carvajal, J. García, C. Gischler, C. Henríquez y L. Minoja. 2021. Building a More Resilient and Low-Carbon Caribbean - Report 2: Analysis of the Benefits from Resilient Building Materials and Construction Methods in the Caribbean. Washington, D.C.: BID.

Baptista, B. 2024. Mapeo de herramientas digitales y métodos constructivos innovadores para un sector de la construcción sostenible. Informe final de consultoría del BID. Washington, D. C.: BID.

Baque-Camposano, B., J. Pino-Tarragó y K. Delgado-Mendoza. 2023. Estructuras sostenibles y hormigón autorreparable, *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 12(6).

Barbhuiya, S., B. Bhusan Das y F. Kanavaris. 2024. Biochar-concrete: A comprehensive review of properties, production and sustainability. *Case Studies in Construction Materials*, Vol. 20.

Barbosa, F., J. Woetzel, J. Mischke, M.J. Ribeiro, M. Sridhar, M. Parsons, et al. 2017. Reinventing Construction: A Route to higher productivity. McKinsey Global Institute.

BCA (Building and Construction Authority). 2000. The Code of Practice on Buildable Design. Singapur: BCA.

----- . 2020. Design for Manufacturing and Assembly (DfMA). Prefabricated Prefinished Volumetric Construction. Singapur: BCA.

Bhattacharya, A., C. Contreras, M. Jeong, A-L. Amin, G. Watkins y M. Zuniga. 2019. Atributos y marco para la infraestructura sostenible. Informe de consulta. Washington, D.C.: BID.

BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2023. Bien público regional para el desarrollo de información (incluyendo factores de emisión) y capacidad de su digitalización para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector de la construcción. Documento de cooperación técnica. Washington, D.C.: BID.

BRE (Building Research Establishment). 2016. Assessing the Environmental Impacts of Construction. Understanding European Standards and their implications, Centre for Sustainable Products.

Cabeza, L., C. Barreneche, L. Miró, J. Morera, E. Bartolí e I. Fernández. 2013. Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23: 536-542.

CDT (Corporación de Desarrollo Tecnológico). 2022. La construcción milenaria con tierra cruda: el adobe y la tapia. Cámara Chilena de la Construcción. Santiago: CDT.

- Chen, K., J. Wang, B. Yu, H. Wu y J. Zhang. 2021. Critical evaluation of construction and demolition waste and associated environmental impacts: A scientometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 287.
- CII (Instituto de la Industria de la Construcción). 2021. AWP Education Primer, CII Community for Business Advancement.
- CLF (Carbon Leadership Forum). 2018. Life Cycle Assessment of Buildings: A Practice Guide. Washington, D.C.: CLF.
- Crishna, N., P.F.G. Banfill y S. Goodsir. 2011. Embodied energy and CO₂ in UK dimension stone. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(12): 1265 – 1273.
- Deloitte. 2021. 2021 engineering and construction industry Outlook.
- 2023. Construcción industrializada y métodos modernos de construcción, presentación realizada por Deloitte el 30 noviembre de 2023 para el BID.
- Dodge Data & Analytics. 2015. Measuring the Impact of BIM on Complex Buildings. Bedford: Dodge Data & Analytics.
- Feist, W. 1993. Passive houses in Central Europe. Doctoral dissertation, University of Kassel.
- Fischel, E., A. Alvear, L. Minoja, L. Schwartz y M.S. Bos. 2023. Escuelas verdes: lineamientos para el diseño de infraestructura escolar sostenible, baja en carbono y resiliente. Washington, D.C.: BID.
- Gallardo, C. 2020. Productos de Ingeniería en Madera. Estudio Periódico de Temáticas de Madera N.º 4. Instituto Forestal, Chile. Documento de Divulgación N.º 51.
- GBC Chile (Green Building Council). 2023. Estrategias de medición, verificación y comunicación de impactos ambientales en el sector construcción. Santiago: GBC Chile.
- Gordano, S., D. Torchia y L. Corazza. 2023. The Concept of Sustainable Infrastructure: A Content Analysis of Construction Companies Reports. En: Favari, E. y F. Cantoni (eds.), Complexity and Sustainability in Megaprojects, Vol. 342. Springer, Cham.
- Grădinaru, C., A. Șerbănoiu, D. Babor, G. Sârbu, I. Petrescu-Mag y A. Grădinaru. 2019. When Agricultural Waste Transforms into an Environmentally Friendly Material: The Case of Green Concrete as Alternative to Natural Resources Depletion. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 32:77–93.
- Hacker, J., T. De Saulles, A. Minson y M. Holmes. 2008. Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: A case study on the effects of thermal mass and climate change, *Energy and Buildings*, 40(3): 375-384.
- Hernández, H., F. Ossio y M. Silva. 2023. Assessment of Sustainability and Efficiency Metrics in Modern Methods of Construction: A Case Study Using a Life Cycle Assessment Approach, 15(7).
- Hernández-Zamora, M.F., S. Jiménez-Martinez y J.I. Sánchez-Monge. 2021. Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción. *Revista Tecnología en Marcha*. 2(34).
- Houben, H. 1994. Ecological and energy-saving advantages and benefits of building with Earth. *Studies in Environmental Science*, 60: 941-948.
- Kibert, C. 1994. Sustainable construction: proceedings of the First International Conference of CIB TG 16. Center for Construction and Environment, M.E. Rinker Sr. School of Building Construction, College of Architecture. Florida: University of Florida.
- Kong, L. y B. Ma. 2020. Evaluation of environmental impact of construction waste disposal based on fuzzy set analysis. *Environmental Technology & Innovation*, Vol. 19.
- Krug, D. y J. Miles. 2013. Offsite Construction: Sustainability Characteristics. Londres: Building Intellect.
- Leles da Silva, M., L. Silva, B. Toralles, F. Cardoso, M. Corso y L. Soto. 2024. Building a sustainable future: The role of additive manufacturing in civil construction. *Case Studies in Construction Materials*, Vol. 20.
- Liu, T., L. Chen, M. Yang, M. Sandanayake, P. Miao, Y. Shi y P.S. Yap. 2022. Sustainability Considerations of Green Buildings: A Detailed Overview on Current Advancements and Future Considerations. *Sustainability*, 14(21).
- López, A. 2017. Construcción modular en hormigón: una tendencia al alza. *Revista Técnica Cemento Hormigón*, 980:48-54.
- Lovell, H. 2012. Modern Methods of Construction. En: Smith, S., M. Elsinga, L. Fox O'Mahony, O. Seow Eng y S. Wachter (eds.). *International Encyclopedia of Housing and Home*, 4: 312-316. Oxford: Elsevier.
- Lowe, G. 2020. Wood, Well-being and Performance: The Human and Organizational Benefits of Wood Buildings. Forestry Innovation Investment.
- Maddalena, R., J. Roberts y A. Hamilton. 2018. Can Portland cement be replaced by low-carbon alternative materials? A study on the thermal properties and carbon emissions of innovative cements. *Journal of Cleaner Production*, 186: 933-942.

Matrix Consulting. 2020. Estudio de productividad: Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales. Trabajo realizado para la Cámara Chilena de la Construcción.

McKinsey & Company. 2017. Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity, McKinsey Global Institute.

-----, 2020. The next normal in construction: How disruption is reshaping the world's largest ecosystem.

Menegaki, M. y D. Damigos. 2018. A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13:8-15.

MHCLG (Ministry of Housing, Communities & Local Government) MMC (Modern Methods of Construction). 2019. Modern Methods of Construction. Introducing the MMC definition framework.

Monjo Carrió, J. 2005. La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. *Procedimientos para su industrialización. Informes de la construcción*, 57: 499-500.

MVOT (Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial) y BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2022. Hoja de Ruta para la Construcción de Vivienda Social en Madera en Uruguay.

Naciones Unidas. 2012. Cómo desarrollar ciudades más resilientes. Un Manual para líderes de los gobiernos locales. Ginebra: Naciones Unidas.

Peregalli, J.P. 2023. Consultoría para la elaboración de un diagnóstico y una propuesta de recomendaciones para mejorar la calidad de la información sobre emisiones de los procesos constructivos sobre la base de los factores de emisión y para facilitar la medición de huella de carbono de los proyectos de construcción. Washington, D.C.: BID.

Reddy, B.V.V. 2009. Sustainable materials for low carbon buildings. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 4:175-81.

RICS (Royal Institution of Chartered Surveyors). 2017. Whole life carbon assessment for the built environment. Londres: RICS.

Roman, N., F. Bre, V. D. Fachinotti y R. Lamberts. 2020. Application and characterization of metamodels based on artificial neural networks for building performance simulation: A systematic review. *Energy and Buildings*, Vol. 217.

Salazar Cota, A., L. Fernández y W. Dalaison. 2018. Comprando verde: ¿Cómo fomentar las compras verdes en los proyectos financiados por el BID? Washington, D.C.: BID.

Sánchez-Garrido, A., I. Navarro, J. García y V. Yepes. 2023. A systematic literature review on modern methods of construction in building: An integrated approach using machine learning. *Journal of Building Engineering*, Vol. 73.

Thormark, C. 2006. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. *Building and Environment*, 41:1019-26.

UNEP (United Nations Environment Programme) y GLOBALABC (Global Alliance for Buildings and Construction). 2024. 2023 Global Status Report for Buildings and Construction - Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector. UNEP & GLOBAL ABC.

UN-Habitat (United Nations Human Settlements Programme). 2015. Déficit habitacional en América Latina y el Caribe: una herramienta para el diagnóstico y el desarrollo de políticas efectivas de vivienda y hábitat. Nairobi: UN-Habitat.

WEF (World Economic Forum). 2016. Shaping the Future of Construction. A Breakthrough in Mindset and Technology. Cologny: WEF.

WGBC (World Green Building Council). 2023. How we are #BuildingTheTransition to support the Sustainable Development Goals.

WWF (World Wildlife Fund). 1993. The Built Environment Sector, Pre-Seminar Report. Council for Environmental Education WWF, Department of Environment. Leicester: Montfort University.

Yay, Ö., M. Hasanzadeh, S.F. Diltemiz, M.C. Kuşhan y S. Gürgen. 2024. Thermal Insulation with Cork-Based Materials: Green Energy and Technology. Book Chapter, 3-15.

Yepes, V. 2020. Métodos modernos de construcción (MMC): fabricación modular. Blog de la Universidad Politécnica de Valencia.

ANEXO I.

LISTADO DE PERSONAS ENTREVISTADAS

Cuadro A1.1. Listado de personas entrevistadas

#	Nombre	Organización	Cargo	País	Fecha de la entrevista
1	Clarice Degani	Consejo Brasileño de Construcción Sustentable (CBCS)	Directora Ejecutiva	Brasil	20/12/2023
2	Amanda Olalquiaga	Secretaría de Ciudades (SC)	Coordinadora General de Asuntos Estratégicos	Brasil	12/12/2023
3	Roberto Lamberts	Universidad Federal de Santa Catarina, Departamento de Ingeniería Civil	Full Professor	Brasil	13/12/2023
4	Marcos Brito	Construye2025	Gerente	Chile	13/12/2023
5	Conrad Von Igel	Cámara Chilena de la Construcción (CChC) y Consejo de Construcción Industrializada (CCI)	Gerente de Innovación y Sostenibilidad	Chile	18/12/2023
6	Tatiana Martínez	Consejo de Construcción Industrializada (CCI)	Presidente	Chile	13/12/2023
7	Katherine Martínez/ Marisol Cortez	CChC y CCI	Secretaria Ejecutiva/ Presidenta de la Comisión de Medio Ambiente de la CChC	Chile	11/12/2023
8	Carolina Briones	Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción (CETEC)	Directora Ejecutiva	Chile	27/12/2023
9	Daniel Bifani	Ministerio de Obras Públicas (MOP), Dirección General de Obras Públicas	Jefe de la División de Infraestructura Sostenible	Chile	19/12/2023
10	Silvia Campos Zárate	Instituto Nacional de Aprendizaje, Núcleo de Materiales	Profesora	Costa Rica	13/12/2023
11	Guillermo Carazo	Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA)	Director Ejecutivo	Costa Rica	14/12/2023
12	Rodrigo Martínez	Universidad Internacional de las Américas	Director de la Escuela de Arquitectura	Costa Rica	8/12/2023
13	Daniel Viquez/Olman Mora	Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)	Profesional de la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental/ Coordinador de Proyectos Socioambientales	Costa Rica	10/01/2024
14	Marcia Croci	Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial (MVOT)	Asesora	Uruguay	14/12/2023
15	Florencia Seré	Cámara de la Construcción del Uruguay (CCU), Departamento de Estudios Económicos	Directora Ejecutiva	Uruguay	12/12/2023
16	Andrés Eliseo Cabrera	Universidad ORT	Coordinador de Especialización en Arquitectura Sostenible	Uruguay	12/12/2023
17	Rafael Laureiro	Corporación Nacional para el Desarrollo (CND)	Gerente de Proyectos	Uruguay	8/12/2023
18	Sebastian Orrego	Inconet - Federación Interamericana de la Industria de la Construcción (FIC)	Secretario Ejecutivo	Regional	18/12/2023
19	Pablo Guidos	Red Latinoamericana de Madera Estructural (RELAMAD)	Expresidente	Regional	4/01/2024
20	Andrea Paladín	Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos (BIM Gob Latam)	Coordinadora	Regional	2/12/2023

ANEXO II.

PAUTAS DE LAS ENTREVISTAS

A continuación, se presentan las pautas de las entrevistas aplicadas durante el relevamiento primario a referentes de entidades públicas, del sector empresarial y/o del sector académico o profesional, en el marco de la consultoría del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) “Mapeo de herramientas digitales y otros métodos constructivos innovadores para un sector de la construcción más verde”.

I. Presentación general

Presentar el objetivo del estudio y de las entrevistas en particular.

- ◆ El objetivo de las entrevistas es recabar la percepción, los enfoques y la evidencia de un conjunto de informantes calificados sobre prácticas, intereses, requerimientos, oferta, lecciones aprendidas y retos asociados a la implementación de metodologías y soluciones digitales y constructivas innovadoras para el sector de la construcción con enfoque sostenible. El fin último del estudio es generar insumos que contribuyan a definir la posición del BID en el tema.

- ◆ Realizar algunas preguntas abiertas sobre los principales tópicos de interés. Se estima una duración máxima de 30 minutos.
- ◆ Explicitar que se solicita una respuesta a título personal.
- ◆ Solicitar grabar la entrevista.

II. Pauta para los referentes de entidades públicas

1. Para comenzar, ¿podría indicarme por favor cuáles son las principales actividades que desarrolla el área de la institución en la que usted se desempeña? (Pregunta orientada a conocer el lugar desde donde responde el informante y que brinda contexto a la entrevista).
2. Como seguramente es de su conocimiento, existe amplia evidencia que indica que la actividad de la construcción es altamente contaminante. A partir de la información y el conocimiento que usted dispone, ¿me podría indicar algunas metodologías, materiales y/o soluciones tecnológicas o constructivas actualmente disponibles que po-

drían contribuir a disminuir el impacto medioambiental del sector? (Pregunta que permite evaluar el nivel de conocimiento del informante sobre el tema y conocer qué actividades asocia con el concepto de construcción sostenible).

3. ¿La institución ha implementado acciones orientadas a contribuir con el desarrollo de un sector de la construcción con un enfoque más sostenible y/o resiliente? Por favor, especifique.
4. ¿Cuáles son las principales motivaciones para implementar acciones de sostenibilidad en el sector de la construcción en el país? (Si no surge espontáneamente en la respuesta, se repreguntará, por ejemplo, si su área está alineada a algún Plan Nacional).
5. ¿El organismo ha desarrollado alguna estrategia para generar o fortalecer competencias a nivel institucional y/o de sistema en torno a estos temas, ya sea a nivel de capacitación o sensibilización? En caso de que la respuesta sea afirmativa, solicitar que por favor indique cuáles, y si implicaron el vínculo con otros actores.

6. ¿Cuáles considera que fueron –o están siendo– los principales desafíos asociados a la implementación de las acciones antes señaladas? (Si hay más de uno, desglosar la pregunta para cada caso).
7. ¿Considera que ha habido factores que han obstaculizado la implementación de las acciones antes mencionadas? Si la respuesta es afirmativa: ¿Podría enumerarlos y especificar cuáles y por qué? Solo si el entrevistado menciona varios obstáculos: Si tuviera que jerarquizarlos, ¿cuál de ellos considera que fue el más importante durante el proceso?
8. Por el contrario, ¿considera que ha habido factores que han facilitado o favorecido la implementación de dichas acciones? De ser el caso, por favor especifique cuáles y por qué.
9. En su opinión y sobre la base de la información que dispone, ¿las acciones desarrolladas han tenido algún efecto a la fecha (ya sea positivo o negativo)? Por favor, especifique.
10. ¿Cuáles destacaría como las principales lecciones aprendidas y los procesos de aprendizaje en general derivados de dicha/s experiencia/s?
11. ¿Tiene conocimiento sobre si hay interés institucional en avanzar o seguir avanzando en líneas de trabajo orientadas a promover la construcción con enfoque sostenible en el país? Solo en caso de respuesta afirmativa: Por favor, especifique en qué líneas. (Si no surge espontáneamente, indagar puntualmente sobre el interés de la institución en avanzar en: i) uso de BIM; ii) construcción en madera, y iii) desarrollo de metodologías y/o capacidades para la medición de la huella de carbono en la construcción).
12. Solo si el tema no ha surgido antes: ¿Tiene conocimiento sobre si otras organizaciones del país –ya sean públicas o privadas– están desarrollando acciones para avanzar hacia un sector de la construcción más sostenible? ¿Han coordinado esfuerzos con dichas entidades? En caso de respuesta afirmativa: de ser posible, indique acciones concretas.
13. ¿Cuáles considera que son los principales retos a futuro para avanzar en el desarrollo de un sector de la construcción con enfoque más sostenible y resiliente en el país?

14. Solo si no surge espontáneamente a partir de la pregunta anterior: ¿Cuáles considera que son los principales requerimientos en términos de desarrollo de competencias, institucionales y a nivel de sistema, para promover el crecimiento de la construcción con un enfoque más sostenible?

15. ¿Quisiera realizar alguna otra reflexión o sugerencia que considere que pueda sumar a los objetivos de este estudio?

Antes de finalizar la entrevista se le consultará al entrevistado si conoce documentos que contengan información sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector de la construcción en el país.

¡Muchas gracias por su colaboración!

Fin de la entrevista

III. Pauta para los referentes del sector empresarial

La formulación de las preguntas depende de si el informante pertenece a una cámara o a una empresa con experiencia en alguna de las prácticas de interés.

A. Para cámaras empresariales

1. Para comenzar, ¿podría indicarme por favor con cuántos socios cuenta la organización, el tipo de empresas que aglutina y cuáles son las principales actividades que desarrolla? (Pregunta orientada a conocer el lugar desde donde responde el informante y que brinda contexto a la entrevista).
2. Como seguramente es de su conocimiento, existe amplia evidencia que indica que la actividad de la construcción es altamente contaminante. A partir de la información y el conocimiento que usted dispone, ¿me podría indicar algunas metodologías, materiales y/o soluciones tecnológicas o constructivas actualmente disponibles que podrían contribuir a disminuir el impacto medioambiental del sector? (Pregunta que permite evaluar el nivel de conocimiento del informante sobre el tema y a qué actividades

- asocia el concepto de construcción sostenible).
3. Sobre la base de la información que dispone, ¿qué tan extendida está la aplicación de las prácticas antes mencionadas en el país? ¿Y entre los socios de la organización en particular? (Enfocar la pregunta en cada una de las prácticas señaladas por el entrevistado en la respuesta a la pregunta anterior). De ser posible, solicitar que ejemplifique.
 4. ¿En qué medida estas iniciativas son demandadas por el mercado? ¿De dónde proviene principalmente la demanda? ¿Cómo percibe la relación oferta-demanda en la construcción con enfoque sostenible?
 5. ¿La organización ha desarrollado algún tipo de acción orientada a contribuir al desarrollo de un sector de la construcción con un enfoque más sostenible y/o resiliente? Por favor, especifique. ¿Dichas acciones involucran a otros actores del sistema?
 6. Solo en caso de respuesta afirmativa a la pregunta anterior: ¿Cuáles son las principales motivaciones para implementar acciones de sostenibilidad en el sector?
 7. Solo si no surgió el tema antes: ¿Tiene conocimiento sobre si existen iniciativas públicas o planes nacionales orientados al desarrollo del sector de la construcción con un enfoque sostenible en el país?
 8. ¿La institución ha desarrollado alguna estrategia para generar o fortalecer competencias a nivel institucional y/o de sus asociados en torno a estos temas, ya sea a nivel de capacitación o sensibilización? En caso de respuesta afirmativa, por favor indique cuál y si implicó el vínculo con otros actores.
 9. ¿Considera que existen obstáculos o limitaciones para avanzar hacia el desarrollo del sector de la construcción con enfoque sostenible en el país? En caso afirmativo, por favor indique cuáles y quién o quiénes podrían desarrollar acciones para disminuirlos
 10. Por el contrario, ¿considera que hay factores que pueden facilitar o favorecer el avance hacia el desarrollo de un sector de la construcción con enfoque sostenible? De ser el caso, por favor especifique cuáles y por qué.
 11. Sobre la base de su conocimiento acerca de experiencias concretas de aplicación de prácticas orientadas a la construcción con enfoque sostenible (especificar cuáles), ¿identifica lecciones aprendidas derivadas de ellas?
 12. Más allá de los beneficios medioambientales, ¿considera que existen beneficios a nivel de las empresas asociados a su participación en proyectos de construcción con enfoque sostenible? En caso afirmativo, por favor especifique cuáles. (Si no surge espontáneamente en la respuesta, indagar acerca de los beneficios económicos y de la imagen empresarial).
 13. ¿La organización tiene interés en avanzar o seguir avanzando en líneas de trabajo orientadas a promover la construcción con enfoque sostenible? Solo en caso de respuesta afirmativa: por favor, especifique en qué líneas. (Si no surge espontáneamente, indagar puntualmente sobre el interés de la organización en avanzar en: i) uso de BIM; ii) construcción en madera, y iii) desarrollo de metodologías y/o capacidades para la medición de la huella de carbono en la construcción).
 14. ¿Cuáles considera que son los principales retos a futuro para avanzar en el desarrollo de un sector de la construcción con enfoque más sostenible y resiliente en el país?
 15. Solo si no surge espontáneamente a partir de la pregunta anterior: ¿Cuáles cree que son los principales requerimientos en términos de desarrollo de competencias, institucionales y a nivel de sistema, para promover la expansión de la construcción con un enfoque más sostenible y resiliente?
 16. ¿Quisiera realizar alguna otra reflexión o sugerencia que considere que pueda sumar a los objetivos de este estudio?

Antes de finalizar la entrevista se le consultará si conoce documentos que contengan información sobre las emisiones de GEI del sector de la construcción en el país.

¡Muchas gracias por su colaboración!

Fin de la entrevista

B. Para empresas

1. Para comenzar, ¿podría indicarme cuál es el perfil de actividad de la empresa, a qué mercado se orienta y cuántos colaboradores tiene? (Pregunta orientada a conocer el lugar desde donde responde el informante y que brinda contexto a la entrevista).
2. Como seguramente es de su conocimiento, existe amplia evidencia que indica que la actividad de la construcción es altamente contaminante. A partir de la información y el conocimiento que usted dispone, ¿me podría indicar algunas metodologías, materiales y/o soluciones tecnológicas o constructivas actualmente disponibles que podrían contribuir a disminuir el impacto medioambiental del sector? (Pregunta que permite evaluar el nivel de conocimiento del informante sobre el tema y a qué actividades asocia el concepto de construcción sostenible).
3. ¿La empresa ha desarrollado/participado en proyectos de construcción que incorporan un enfoque sostenible y/o resiliente? En caso de respuesta afirmativa, solicitar que por favor especifique.
4. ¿En qué medida estas iniciativas son demandadas por el mercado? ¿De dónde proviene principalmente la demanda? ¿Cómo percibe la relación oferta-demanda en la construcción con enfoque sostenible?
5. ¿La empresa desarrolló alguna estrategia para generar o fortalecer las competencias de sus colaboradores en torno a estos temas? En caso de respuesta afirmativa, por favor indique cuál y si implicó el vínculo con otros actores.
6. ¿Cuáles considera que fueron –o son– los principales desafíos asociados a la implementación de los proyectos antes señalados? (Si hay más de uno, desglosar la pregunta para cada caso).
7. ¿Considera que ha habido factores que han obstaculizado la implementación de los proyectos antes mencionados? Enumerarlos. De ser el caso, por favor especifique cuáles y por qué. (Solo si menciona varios obstáculos: si tuviera que jerarquizarlos, ¿qué obstáculo considera que fue el más importante durante el proceso?)
8. Por el contrario, ¿considera que ha habido factores que han facilitado o favorecido la implementación de dichos proyectos? En ese caso, por favor especifique cuáles y por qué.
9. En su opinión y sobre la base de la información que dispone, ¿los proyectos desarrollados han tenido algún efecto a la fecha (ya sea positivo o negativo)? Por favor, especifique.
10. ¿Cuáles destacaría como las principales lecciones aprendidas y los procesos de aprendizaje en general derivados de dicha/s experiencia/s?
11. Más allá de los beneficios medioambientales, ¿cuáles considera que son los principales beneficios a nivel de la empresa asociados a su participación en proyectos de construcción con enfoque sostenible?
12. ¿La empresa tiene interés en avanzar o seguir avanzando en el desarrollo y la implementación de proyectos de construcción con enfoque sostenible? Solo en caso de respuesta afirmativa: por favor, especifique en qué tipo de proyectos. (Si no surge espontáneamente, indagar en forma particular sobre el interés de la empresa en avanzar en: i) uso de BIM; ii) construcción en madera, y iii) aplicación de metodologías para la medición de la huella de carbono a lo largo del ciclo de vida del activo y certificación de edificios sostenibles).
13. Solo si no surgió el tema antes: ¿Tiene conocimiento sobre si existen iniciativas públicas o planes nacionales orientados al desarrollo del sector de la construcción con un enfoque sostenible en el país?
14. ¿Cuáles considera que son los principales retos a futuro para avanzar en el desarrollo de un sector de la construcción con enfoque más sostenible y resiliente en el país?
15. Solo si no surge espontáneamente a partir de la pregunta anterior: ¿Cuáles considera que son los principales requerimientos en términos de desarrollo de competencias –en la empresa y a nivel de sistema– para lograr la expansión de la construcción con un enfoque más sostenible y resiliente?
16. ¿Quisiera realizar alguna otra reflexión o sugerencia que considere que pueda sumar a los objetivos de este estudio?

¡Muchas gracias por su colaboración!

Fin de la entrevista

IV. Pauta para referentes del sector académico o asociaciones profesionales

La formulación de las preguntas depende del tipo de informante.

A. Para el sector académico

1. Para comenzar, ¿podría indicarme por favor el tipo de oferta académica –formativa y de investigación– de la institución relacionada con el sector de la construcción? (Pregunta orientada a conocer el lugar desde donde responde el informante y que brinda contexto a la entrevista).
2. Como seguramente es de su conocimiento, existe amplia evidencia que indica que la actividad de la construcción es altamente contaminante. A partir de la información y el conocimiento que usted dispone, ¿me podría indicar algunas metodologías, materiales y/o soluciones tecnológicas o constructivas actualmente disponibles que podrían contribuir a disminuir el impacto medioambiental del sector? (Pregunta que permite evaluar el nivel de conocimiento del informante sobre el tema y a qué actividades asocia el concepto de construcción sostenible).
3. ¿La institución cuenta con ofertas formativas –incluyendo cursos

dentro de los planes de estudio o actividades de formación continua– orientadas y/o que contribuyan al desarrollo de un sector de la construcción con un enfoque más sostenible y/o resiliente? Por favor, especifique. (En caso de que no surja claramente a partir de la respuesta, indagar de manera concreta acerca de la formación en el uso de BIM, la construcción en madera y la medición de la huella de carbono a lo largo del ciclo de vida de la construcción).

4. Solo en caso de respuesta afirmativa a la pregunta anterior: ¿Desde qué año cuentan con oferta formativa en estos temas y qué cantidad aproximada de personas se capacitan cada año?
5. Solo si corresponde: ¿Cuál fue la estrategia de la institución para generar o fortalecer sus propias competencias en temas de construcción con enfoque sostenible y resiliente, ya sea a nivel de capacitación o sensibilización? En caso de respuesta afirmativa, por favor indique si implicó el vínculo con otros actores.
6. ¿La institución desarrolla líneas de investigación específicas sobre construcción sostenible? (Si no surge espontáneamente, indagar sobre

investigaciones asociadas a resiliencia climática, materiales sostenibles, diseños sostenibles, nuevos sistemas constructivos, digitalización, medición y verificación de impacto medioambiental).

7. Solo si no se abordó el tema antes: ¿Tiene conocimiento sobre iniciativas públicas o planes nacionales orientados al desarrollo del sector de la construcción con un enfoque sostenible en el país?
8. ¿Considera que existen obstáculos o limitaciones para avanzar hacia el desarrollo del sector de la construcción con enfoque sostenible en el país? En caso afirmativo, por favor indique cuáles.
9. Por el contrario, ¿considera que hay factores que pueden facilitar o favorecer el avance hacia el desarrollo de un sector de la construcción con enfoque sostenible? De ser el caso, por favor especifique cuáles y por qué.
10. ¿La organización tiene interés en avanzar o seguir avanzando en la generación de ofertas formativas sobre construcción con enfoque sostenible? Solo en caso de respuesta afirmativa: Por favor, especifique en qué líneas. (Si no surge de manera espontánea, indagar particularmen-

te sobre el interés de la organización en avanzar en: i) uso de BIM; ii) construcción en madera, y iii) desarrollo de metodologías y/o capacidades para la medición de la huella de carbono en la construcción).

11. ¿Cuáles considera que son los principales retos a futuro para impulsar el desarrollo de un sector de la construcción con enfoque más sostenible y resiliente en el país?
12. Solo si no surge espontáneamente a partir de la pregunta anterior: ¿Cuáles considera que son los principales requerimientos en términos de desarrollo de competencias a nivel de los profesionales del sector para promover el crecimiento de la construcción con un enfoque más sostenible y resiliente?
13. ¿Quisiera realizar alguna otra reflexión o sugerencia que considere que pueda sumar a los objetivos de este estudio?

Antes de finalizar la entrevista se le consultará si conoce documentos que contengan información sobre las emisiones de GEI del sector de la construcción en el país.

¡Muchas gracias por su colaboración!

Fin de la entrevista

B. Para asociaciones profesionales

1. Para comenzar, ¿podría indicarme por favor con cuántos socios tiene esta organización, el tipo de profesionales que aglutina y cuáles son las principales actividades que desarrolla? (Pregunta orientada a conocer el lugar desde donde responde el informante y que brinda contexto a la entrevista).
2. Como seguramente es de su conocimiento, existe amplia evidencia que indica que la actividad de la construcción es altamente contaminante. A partir de la información y el conocimiento que usted dispone, ¿me podría indicar algunas metodologías, materiales y/o soluciones tecnológicas o constructivas actualmente disponibles que podrían contribuir a disminuir el impacto medioambiental del sector? (Pregunta que permite evaluar el nivel de conocimiento del informante sobre el tema y a qué actividades asocia el concepto de construcción sostenible).
3. Sobre la base de la información que dispone, ¿qué tan extendida está la aplicación de las prácticas antes mencionadas en el país? ¿Y entre los socios de la organización en particular? (Enfocar la pregunta en cada

una de las prácticas señaladas por el entrevistado como respuesta a la pregunta anterior). De ser posible, ejemplifique.

4. ¿En qué medida estas iniciativas son demandadas por el mercado? ¿De dónde viene principalmente la demanda? ¿Cómo percibe la relación oferta-demanda en la construcción con enfoque sostenible?
5. ¿En qué medida considera que los profesionales del sector cuentan con la formación y las capacidades requeridas para desarrollar la actividad de la construcción con un enfoque sostenible y resiliente?
6. ¿La organización ha desarrollado alguna acción orientada a generar o fortalecer competencias a nivel de sus asociados en torno a estos temas, ya sea a nivel de capacitación o sensibilización? En caso de respuesta afirmativa, por favor indique cuál y si implicó el vínculo con otros actores.
7. Solo si no surgió el tema antes: ¿Tiene conocimiento sobre si existen iniciativas públicas o planes nacionales orientados al desarrollo del sector de la construcción con un enfoque sostenible en el país?
8. ¿Considera que existen obstáculos o limitaciones para avanzar hacia el de-

sarrollo del sector de la construcción con enfoque sostenible en el país? En caso afirmativo, por favor indique cuáles.

9. Por el contrario, ¿considera que hay factores que pueden facilitar o favorecer el avance hacia el desarrollo de un sector de la construcción con enfoque sostenible? De ser el caso, por favor especifique cuáles y por qué.
10. ¿Tiene conocimiento sobre experiencias concretas de aplicación de prácticas orientadas a la construcción con enfoque sostenible en el país? Especificar cuáles. Solo en caso de respuesta afirmativa: ¿Identifica lecciones aprendidas derivadas de dichas experiencias?
11. ¿La organización tiene interés en avanzar o seguir avanzando en líneas de trabajo orientadas a promover la construcción con enfoque sostenible? Solo en caso de respuesta afirmativa, por favor especifique en qué líneas. (Si no surge de manera espontánea, indagar específicamente sobre el interés de la organización en avanzar en: i) uso de BIM; ii) construcción en madera, y iii) desarrollo de metodologías y/o capacidades para la medición de la huella de carbono en la construcción).

12. ¿Cuáles considera que son los principales retos a futuro para impulsar el desarrollo de un sector de la construcción con enfoque más sostenible y resiliente en el país?

13. Solo si no surge espontáneamente a partir de la pregunta anterior: ¿Cuáles considera que son los principales requerimientos en términos de desarrollo de competencias, institucionales y a nivel de sistema, para promover el crecimiento de la construcción con un enfoque más sostenible y resiliente?

14. ¿Quisiera realizar alguna otra reflexión o sugerencia que considere que pueda sumar a los objetivos de este estudio?

Antes de finalizar la entrevista se le consultará si conoce documentos que contengan información sobre las emisiones de GEI del sector de la construcción en el país.

¡Muchas gracias por su colaboración!

Fin de la entrevista

ANEXO III.

INICIATIVAS IDENTIFICADAS POR PAÍS

I. Brasil

Las entrevistas revelaron al menos nueve iniciativas en Brasil orientadas al desarrollo de la construcción sostenible. La primera, en 2007, fue la creación del Consejo Brasileño de Construcción Sustentable (CBCS), una organización técnica de alcance nacional que ha apoyado varias iniciativas gubernamentales, como la Plataforma de Desempeño Energético Operacional de Edificios (DEO) y el Proyecto Ciudades Eficientes, ambas establecidas en 2018, y el Sistema de Información de Desempeño Ambiental de la Construcción (SIDAC), creado en 2022.

Desde el sector gubernamental, se han identificado dos grandes líneas de intervención:

1. Fomento indirecto a través de compras públicas: Iniciativas lideradas por la Secretaría de Ciudades (SC), con fuerte apoyo de instituciones del sector académico. Se debe tomar en cuenta que Brasil es uno de los países con mayor déficit habi-

tacional en América Latina. Uno de los principales programas de vivienda social es Mi Casa Mi Vida (2009), cuya meta es construir dos millones de viviendas en cuatro años, y el programa ProMorar (2023), en colaboración con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), que se enfoca en la remodelación sostenible y resiliente de viviendas para población de bajos ingresos.

2. Projeto Construa Brasil: Impulsado por el Ministerio de Desarrollo, Industria, Comercio y Servicios (MDICS) y la Red Catarinense de Innovación (RECEPETI), en 2022, busca modernizar la industria de la construcción mediante: i) la convergencia de los códigos de obra y edificaciones y la mejoras en el proceso de obtención de permisos de construcción; ii) la difusión del uso de BIM, y iii) la promoción de la construcción industrializada. El programa contribuye a mejorar la sostenibilidad ambiental

de la industria de la construcción a través del apoyo a la innovación y la mejora en la eficiencia de diferentes procesos involucrados. Desde el sector privado, la Cámara Brasileña de la Industria de la Construcción (CBIC) lanzó en 2017 un proyecto para mapear acciones y prácticas de sostenibilidad que demuestren retorno financiero positivo. Esta iniciativa subraya la importancia de vincular la sostenibilidad ambiental con la económico-financiera.

El BIM Forum, activo desde 2017, promueve la adopción transversal de la metodología BIM en la industria, involucrando a entidades empresariales, gubernamentales y académicas. Además, grupos académicos en Brasil se dedican a la investigación y la formación en materias relacionadas con la construcción sostenible y la resiliencia climática.

Cuadro A3.1. Brasil: iniciativas que contribuyen a la construcción sostenible

Iniciativa	Año de inicio	Principales organizaciones involucradas	Sector institucional		
			Gubernamental	Empresarial	Académico/ profesional
Consejo Brasileño de Construcción Sustentable (CBCS)	2007	Sector académico, empresas, asociaciones empresariales, representantes del gobierno, profesionales			
Programa Mi Casa Mi Vida	2009	Secretaría de Ciudades (SC), Caixa, apoyo de instituciones académicas			
BIM Forum Brasil	2017	Organizaciones empresariales, gubernamentales, académicas y profesionales			
Mapeo de oportunidades de negocios en sustentabilidad	2017	Cámara Brasileña de la Industria de la Construcción (CBIC)			
Proyecto Ciudades Eficientes	2018	CBCS, municipios			
Plataforma Desempeño Energético Operacional de Edificios (DEO)	2018	CBCS, Electrobras, entre otras			
Sistema de Información de Desempeño Ambiental de la Construcción (SIDAC)	2022	Ministerio de Minas y Energía (MME), CBCS, Ministerio de Desarrollo Regional (MDR), E. Investigación Energética, Eletrobras, Procel, GIZ, asociaciones empresariales, entre otras			
Projeto Construa Brasil	2022	Ministerio de Desarrollo, Industria, Comercio y Servicios (MDICS), Red Catarinense de Innovación (RECEPETI)			
Programa ProMorar Brasil	2023	SC, apoyo de instituciones académicas y apoyo financiero del BID			

Fuente: Elaboración propia sobre la base de entrevistas realizadas (2023-24).

Nota: Se indica con azul más oscuro el sector institucional que lidera la iniciativa (gubernamental, empresarial o académico/profesional).

II. Chile

En Chile, se han identificado al menos 18 iniciativas orientadas al desarrollo de la construcción sostenible. Como se puede apreciar en el cuadro A3.2., se destaca el liderazgo del sector público, estructurado en dos grandes vertientes:

Iniciativas interministeriales: Desde la firma del Convenio Interministerial de Construcción Sustentable en 2012, suscrito inicialmente por los ministerios de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Obras Públicas (MOP) y Medio Ambiente (MMA), y posteriormente ampliado a otros ministerios, se han desarrollado varias iniciativas clave: i) Estrategia Nacional de Construcción Sustentable (2013); ii) Plan Nacional de Construcción Sustentable 2050; iii) Plan de Cambio Climático para la Infraestructura y la Edificación Pública (2017); iv) Hoja de Ruta para la Estrategia Nacional de Huella de Carbono en la Construcción (2018); v) Estándares de Construcción Sostenible (2018); vi) Hoja de Ruta de Residuos de Construcción y Demolición y Economía Circular en la Construcción (2020); vii) Certificación de Edificios (2014) y Viviendas Sustentables (2020), y viii) concursos de innovación, incluyendo Vivienda Industrializada (2022).

Iniciativas CORFO: La Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) ha jugado un rol crucial, especialmente con el programa estratégico Construye2025, iniciado en 2016. Este programa ha promovido: i) PlanBIM (2016); ii) Consejo de Construcción Industrializada (2017); iii) Hoja de Ruta de Residuos de la Construcción y Demolición y Economía Circular en la Construcción (2018); iv) concursos públicos para diseño de prototipos de vivienda orientados a la neutralidad de carbono (2023)

CORFO también impulsó la creación de dos centros tecnológicos en 2017: el Centro Interdisciplinario de Productividad y Construcción Sustentable (CIPYCS) y el Centro Tecnológico para la Innovación en Productividad y Sustentabilidad en la Construcción (CTEC). Ambos ofrecen servicios de prototipaje, vigilancia tecnológica, asesorías en BIM y LEAN *Construction*, y cursos de entrenamiento, entre otros. El CTEC desarrolló la Plataforma Pasaporte de Materiales (2023), una herramienta para registrar y validar información sobre la sustentabilidad de materiales de construcción.

El sector empresarial chileno ha jugado un papel activo, especialmente en la gestión de residuos y en la promoción de BIM. Se destacan los Acuerdos de Producción Limpia y el BIM Forum Chile. Además, la Cámara Chilena de la Construcción (CChC) ha impulsado el Compromiso y el Sello PRO, que se enfoca en un modelo de gestión empresarial sostenible que considera aspectos económicos, sociales y ambientales.

Finalmente, el sector académico en Chile también se ha involucrado en la formación y la investigación relacionadas con la construcción sostenible y resiliente, complementando así los esfuerzos gubernamentales y empresariales.

Cuadro A3.2. Chile: iniciativas que contribuyen a la construcción sostenible

Iniciativa	Año de inicio	Principales organizaciones involucradas	Sector institucional		
			Gubernamental	Empresarial	Académico/profesional
Estrategia Nacional de Construcción Sustentable	2012	Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Ministerio de Obras Públicas (MOP), Ministerio de Medio Ambiente (MMA), Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Ministerio de Desarrollo Social y Familia			
BIM Forum Chile	2015	Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), organizaciones empresariales, gubernamentales, académicas y profesionales			
Construye2025	2016	Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), CChC, MOP, Instituto Chileno de la Construcción (IC), universidades			
PlanBIM	2016	CORFO, con el apoyo de instituciones públicas, privadas y académicas			
Consejo de Construcción Industrializada	2017	Construye2025, Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción (CTEC), CChC			
Centros tecnológicos para la innovación en la construcción	2017	CORFO (financiador), empresas, sector académico (ejecutores)			
Desarrollo y actualización normativa	2017	Construye2025, Instituto Nacional de Normalización, IC, MINVU			
Código Modelo Sísmico para América Latina y el Caribe	2017	IC (coordinador), MINVU, ACHISINA, AICE, SOCHIGE, organizaciones de 16 países de ALC			
Estándares de Construcción Sostenible	2018	MINVU, otros organismos públicos, sector empresarial, sector académico			
Hoja de Ruta para la Estrategia Nacional de Huella de Carbono en la Construcción	2018	MINVU y ministerios relacionados, IC, CChC, CTEC, universidades privadas, entre otras			
Acuerdos de producción limpia	2020	CChC, CORFO, MOP, Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC), gobiernos regionales, entre otras			
Hoja de Ruta de Residuos de la Construcción y Demolición y Economía Circular en la Construcción	2020	Construye2025, MINVU, MOP, MMA, IC, CChC			
Compromiso PRO	2021	CChC			
Desafío Net Zero	2023	Construye2025, CORFO, Colegio Arquitectos de Chile			
Certificación de Viviendas y Edificios Sustentables	2022	MINVU, IC, Universidad de Chile, Asociación Oficinas de Arquitectos de Chile, Colegio de Arquitectos de Chile			
Plataforma Pasaporte de Materiales	2023	CTEC, Chile <i>Green Building Council</i>			
Concurso de innovación: Vivienda Industrializada en Chile	2022	CChC, MINVU, CTEC			
Plan de Cambio Climático para la Infraestructura y Edificación Pública	2017	MOP, con el apoyo del BID			

Fuente: Elaboración propia sobre la base de entrevistas realizadas (2023-24).

Nota: Se indica con azul más oscuro el sector institucional que lidera la iniciativa (gubernamental, empresarial o académico/profesional).

III. Costa Rica

En Costa Rica, se han identificado al menos ocho iniciativas dirigidas al desarrollo de la construcción sostenible, y se destaca el liderazgo del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). El CFIA gestiona la certificación Bandera Azul Ecológica de Construcción Sostenible (BAECS) desde 2017, que premia buenas prácticas ambientales, económicas y sociales en el diseño y la construcción de infraestructuras. Esta certificación ha sido vinculada con incentivos financieros, como líneas de crédito preferenciales del Banco de Costa Rica, y beneficios no financieros en los permisos de construcción otorgados por municipios para ampliar en un 30% la superficie posible de construir.

El CFIA también apoya a entidades gubernamentales en diversas iniciativas, como la norma Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET) (2020),⁴⁷ el proyecto de desarrollo de la Metodología de Evaluación de Riesgo Climático de la Infraestructura (MERCICR) (2023) y el Modelo de Vivienda Urbana Inclusiva y Sostenible (VUIS) (2018).

⁴⁷ Norma desarrollada en cumplimiento de los requisitos nivel 1 y nivel 2 del *Standard Council of Canada (SCC)*, sobre la base de un documento elaborado por el Instituto de Arquitectura Tropical.

Cuadro A3.3. Costa Rica: iniciativas que contribuyen a la construcción sostenible

Iniciativa	Año de inicio	Principales organizaciones involucradas	Sector institucional		
			Gubernamental	Empresarial	Académico/profesional
BIM Forum Costa Rica	2017	Cámara Costarricense de la Construcción (CCC)			
Bandera Azul Ecológica de Construcción Sostenible (BAECS)	2017	Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA)			
Modelo de Vivienda Urbana Inclusiva y Sostenible (VUIS)	2018	Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH), CFIA, Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU), Banco Hipotecario de la Vivienda (BANHVI) y otras instituciones públicas y privadas			
Directriz para la Construcción Sostenible en el Sector Público	2019	Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), CFIA, Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), Instituto Meteorológico Nacional (IMN)			
Norma Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET)	2020	CFIA, Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO)			
Estrategia Nacional BIM Costa Rica	2020	MIDEPLAN, Comisión Interinstitucional para la Implementación de la Metodología BIM (CII-BIM)			
Agenda Nacional Urbano-Ambiente (ANUA)	2021	MIVAH, MINAE			
Metodología de Evaluación de Riesgo Climático de la Infraestructura (MERCICR)	2023	MINAE, CFIA, MOPT, IMN			

Fuente: Elaboración propia sobre la base de entrevistas realizadas (2023-24).

Nota: Se indica con azul más oscuro el sector institucional que lidera la iniciativa (gubernamental, empresarial o académico/profesional).

El Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) ha emitido una Directriz para Construcción Sostenible en el Sector Público (2019), que busca promover prácticas de construcción sostenible en edificios públicos sobre la base de un documento guía elaborado por el CFIA. Además, el MINAE, junto con el Ministerio de Obras Públicas

y Transportes (MOPT), ha desarrollado la Metodología de Evaluación de Riesgo Climático para la Infraestructura (MERCICR) y la Agenda Nacional Urbano-Ambiente (ANUA), que incluye un enfoque en la descarbonización y la construcción sostenible. Desde la Dirección de Vivienda del Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos

(MIVAH), en coordinación con el CFIA, el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU), el Banco Hipotecario de la Vivienda (BANHVI) y otras organizaciones, han impulsado el VUIS a través de un concurso nacional de propuestas piloto para consolidar ciudades resilientes y sostenibles.

IV. Uruguay

En Uruguay, se han identificado ocho iniciativas orientadas a la construcción sostenible, lideradas principalmente por instituciones públicas, a menudo en colaboración con el sector empresarial, especialmente la Cámara de la Construcción del Uruguay (CCU).

Como se puede apreciar en el cuadro A3.4., varias instituciones públicas han impulsado iniciativas que promueven, de forma directa o indirecta, la construcción sostenible en Uruguay, en especial a partir de 2020. Frecuentemente, dichas iniciativas involucran también a otras organizaciones del público y, en al menos la mitad de los casos, implican la participación del sector empresarial (en particular de la CCU).

Plan Nacional de Eficiencia Energética (2015-24): Impulsado por el Ministerio de Industrias, Energía y Minería (MIEM), este plan incluye el Sistema de Evaluación de Desempeño Energético de Edificios (2016) para mejorar la eficiencia energética en edificaciones.

Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial (MVOT): Desde 2021, el MVOT ha promovido la construcción de viviendas sociales en madera, lanzando concursos públicos y desarrollando la Hoja de Ruta

Cuadro A3.4. Uruguay: iniciativas que contribuyen a la construcción sostenible

Iniciativa	Año de inicio	Principales organizaciones involucradas	Sector institucional		
			Gubernamental	Empresarial	Académico/profesional
Sistema de Evaluación de Desempeño Energético de Edificios	2016	Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM)			
BIM Forum Uruguay	2017	Cámara de la Construcción del Uruguay (CCU), Corporación Nacional para el Desarrollo (CND), Universidad de la República (UDELAR), Universidad ORT			
Proyecto Piloto BIM CAIF Aero-parque	2019	Corporación Nacional para el Desarrollo (CND), Instituto Nacional del Niño y Adolescente del Uruguay (INAU)			
Diagnóstico Circularidad de la Construcción	2020	CCU, Agencia Nacional de Desarrollo (ANDE)			
Manual para el Cálculo de Emisiones GEI en Proyectos Infraestructura	2021	CND, CCU, Ministerio de Ambiente (MA), <i>Green Climate Found</i>			
Plan Departamental de Montevideo, Gestión de Residuos de Obras Civiles	2021	Intendencia de Montevideo, MA, CCU			
Hoja de Ruta para la Construcción de Vivienda Social en Madera	2022	Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial (MVOT), apoyo del BID, participación del sector empresarial y académico			
Concursos públicos de construcción en madera	2021	MVOT, Agencia Nacional de Vivienda (ANV), MEVIR			

Fuente: Elaboración propia sobre la base de entrevistas realizadas (2023-24).

Nota: Se indica con azul más oscuro el sector institucional que lidera la iniciativa (gubernamental, empresarial o académico/profesional).

para la Construcción de Vivienda Social en Madera (2022) con el apoyo del BID.

Corporación Nacional para el Desarrollo (CND): En colaboración con el Ministerio de Ambiente (MA), la CCU y el *Green Climate*

Fund, la CND ha elaborado el Manual para el Cálculo de Emisiones GEI de Proyectos de Infraestructura (2023). También ha sido clave en la promoción de la metodología BIM en proyectos de infraestructura pública. Entre 2019 y 2021, gestionó el pro-

yecto piloto CAIF Aero-parque, que no solo incorporó BIM en sus etapas de diseño y construcción, sino que también aplicó la metodología *LEAN Construction* durante su gestión.

Intendencia de Montevideo: Impulsó el Plan Departamental de Gestión de Residuos de Obras Civiles (2021), en coordinación con el MA y la CCU.

Cámara de la Construcción del Uruguay (CCU): Además de participar en las iniciativas ya mencionadas, la CCU desarrolló un diagnóstico de la circularidad de la construcción (2020) con el apoyo de la Agencia Nacional de Desarrollo (ANDE). La CCU también coordina el BIM Forum Uruguay, junto con la CND y universidades.

Proyectos académicos: Diversas instituciones académicas en Uruguay han desarrollado iniciativas y planes de formación profesional en construcción sostenible.

A las iniciativas señaladas en cada uno de los países analizados, se suma la creación, en 2019, de la Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos (BIM Gob Latam), en la que participan Brasil, Chile, Costa Rica y Uruguay, junto con Argentina, Colombia, México y Perú. Esta red regional –creada con apoyo del BID– tiene por objetivo contribuir a la productividad de la industria de la construcción a través de la transformación digital. Sus actividades están orientadas a la coordinación de iniciativas gubernamentales a nivel nacional en esta área y al intercambio de conocimiento y buenas prácticas vinculadas con la promoción del uso de BIM en la región.

ANEXO IV.

TIPOS DE SOLUCIONES PROMOVIDAS POR PAÍS

I. Brasil

El cuadro A4.1. presenta la categorización de las iniciativas de construcción sostenible en Brasil según el tipo de solución promovida. Brasil ha desarrollado iniciativas que abarcan los seis tipos de soluciones identificadas en el estudio. Sin embargo, algunas soluciones se han promovido con mayor frecuencia que otras, lo que refleja

la tendencia observada en el gráfico 6 para todos los países analizados.

En Brasil, las iniciativas más comunes incluyen medidas para mejorar la eficiencia en la gestión, la medición y verificación de impactos ambientales, el uso de tecnologías digitales avanzadas y el diseño con criterios de sostenibilidad. Menos frecuentes son aquellas que promueven el

uso de materiales sostenibles o sistemas constructivos industrializados. Asimismo, son pocas las que incorporan criterios de resiliencia ante desastres naturales y el cambio climático.

El siguiente cuadro también revela que un tercio de las iniciativas identificadas en Brasil tienden a centrarse en un único tipo de solución, como el fomento del diseño sostenible o la promoción del uso de BIM.

Cuadro A4.1. Brasil: iniciativas identificadas según el tipo de solución

Iniciativa	Tipo de soluciones						Resiliencia
	Diseño sostenible	Medición y verificación	Gestión eficiente	Tecnologías digitales avanzadas	Material sostenible	Sistema constructivo industrializado	
Consejo Brasileño de Construcción Sostenible (CBCS)							
Programa Mi Casa Mi Vida							
BIM Forum Brasil							
Mapeo de oportunidades de negocios en sustentabilidad							
Proyecto Ciudades Eficientes							
Plataforma Desempeño Energético Operacional de Edificios (DEO)							
Sistema de Información de Desempeño Ambiental de la Construcción (SIDAC)							
Projeto Construa Brasil							
Programa ProMorar Brasil							

Fuente: Elaboración propia sobre la base de entrevistas realizadas (2023-24).

II. Chile

En el cuadro A4.2. se presenta la categorización de las iniciativas orientadas a la construcción sostenible según tipo de solución promovida en Chile. Este cuadro permite observar que, al igual que en el caso de Brasil, también en Chile se han desarrollado iniciativas de fomento a la construcción ambientalmente sostenible que fomentan los seis tipos de soluciones identificadas en el presente estudio.

En el caso de Chile, al menos la mitad de las iniciativas se relacionan con la medición y la verificación de la sustentabilidad ambiental de las edificaciones, los enfoques de gestión eficientes y las medidas de diseño arquitectónico sostenible. En consistencia con los resultados a nivel agregado, también en el caso de Chile son menos frecuentes las iniciativas que impulsan los sistemas constructivos industrializados y el uso de materiales sostenibles, aunque se identificaron al menos cinco iniciativas diferentes asociadas a cada una de dichas soluciones en el país.

Cabe destacar que el relevamiento cualitativo realizado permitió identificar varias iniciativas gubernamentales en Chile que promueven todos los tipos de soluciones para la construcción sostenible mapeados en el presente estudio. Este es el caso,

Cuadro A4.2. Chile: iniciativas identificadas según el tipo de solución

Iniciativa	Tipo de soluciones						Resiliencia
	Diseño sostenible	Medición y verificación	Gestión eficiente	Tecnologías digitales avanzadas	Material sostenible	Sistema constructivo industrializado	
Estrategia Nacional de Construcción Sustentable							
BIM Forum Chile							
Construye2025							
PlanBIM							
Consejo de Construcción Industrializada							
Centros tecnológicos para la innovación en la construcción							
Desarrollo y actualización normativa							
Código Modelo Sísmico para América Latina y el Caribe							
Estándares de Construcción Sostenible							
Hoja de Ruta para la Estrategia Nacional de Huella de Carbono en la Construcción							
Acuerdos de producción limpia							
Hoja de Ruta de Residuos de Construcción y Demolición y Economía Circular en la Construcción							
Compromiso PRO							
Desafío Net Zero							
Certificación de Viviendas y Edificios Sustentables							
Plataforma Pasaporte de Materiales							
Concurso de innovación: Vivienda Industrializada en Chile							
Plan de Cambio Climático para la Infraestructura y Edificación Pública							

Fuente: Elaboración propia sobre la base de entrevistas realizadas (2023-24).

por ejemplo, de la creación del programa Construye2025 y de los Centros Tecnológicos para la Innovación en la Construcción

por parte de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), con sus correspondientes líneas de trabajo.

III. Costa Rica

El cuadro A4.3. categoriza las iniciativas de construcción sostenible en Costa Rica según el tipo de solución promovida. En conjunto, las iniciativas identificadas cubren todos los tipos de soluciones categorizadas en el estudio, aunque se observa un fuerte enfoque en medidas de diseño sostenible y resiliencia al cambio climático, o a los desastres naturales.

En contraste, solo se identificó una iniciativa relacionada con la aplicación de sistemas constructivos industrializados, enmarcada en el desarrollo de la normativa para Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET). Además, las iniciativas en Costa Rica que involucran el uso de tecnologías digitales avanzadas en la construcción parecen estar poco integradas con otras soluciones que promueven la construcción sostenible.

Cuadro A4.3. Costa Rica: iniciativas identificadas según el tipo de solución

Iniciativa	Tipo de soluciones						Resiliencia
	Diseño sostenible	Medición y verificación	Gestión eficiente	Tecnologías digitales avanzadas	Material sostenible	Sistema constructivo industrializado	
BIM Forum Costa Rica							
Bandera Azul Ecológica de Construcción Sostenible (BAECS)							
Modelo de Vivienda Urbana Inclusiva y Sostenible (VUIS)							
Directriz para la Construcción Sostenible en el Sector Público							
Norma Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET)							
Estrategia Nacional BIM Costa Rica							
Agenda Nacional Urbano- Ambiente (ANUA)							
Metodología de Evaluación de Riesgo Climático de la Infraestructura (MERICI-CR)							

Fuente: Elaboración propia sobre la base de entrevistas realizadas (2023-24).

IV. Uruguay

En el cuadro A4.4. se presenta la categorización de las iniciativas que promueven la construcción sostenible en Uruguay según el tipo de solución. Al menos la mitad de las iniciativas identificadas están relacionadas con estrategias de medición y verificación de la sustentabilidad de las edificaciones, así como con enfoques de gestión eficiente en las etapas de diseño, construcción u operación.

Otro punto es que las iniciativas que fomentan los sistemas constructivos industrializados son menos frecuentes y se centran en concursos públicos para la construcción en madera. Es importante destacar que no se identificaron iniciativas orientadas a la adopción de criterios de resiliencia climática o ante desastres naturales en la construcción de infraestructura en Uruguay.

Además, la mayoría de las iniciativas en Uruguay (6 de 8) integran como máximo dos tipos de soluciones diferentes, y ninguna de ellas abarca los seis tipos de soluciones mapeadas en el estudio.

Cuadro A4.4. Uruguay: iniciativas identificadas según el tipo de solución

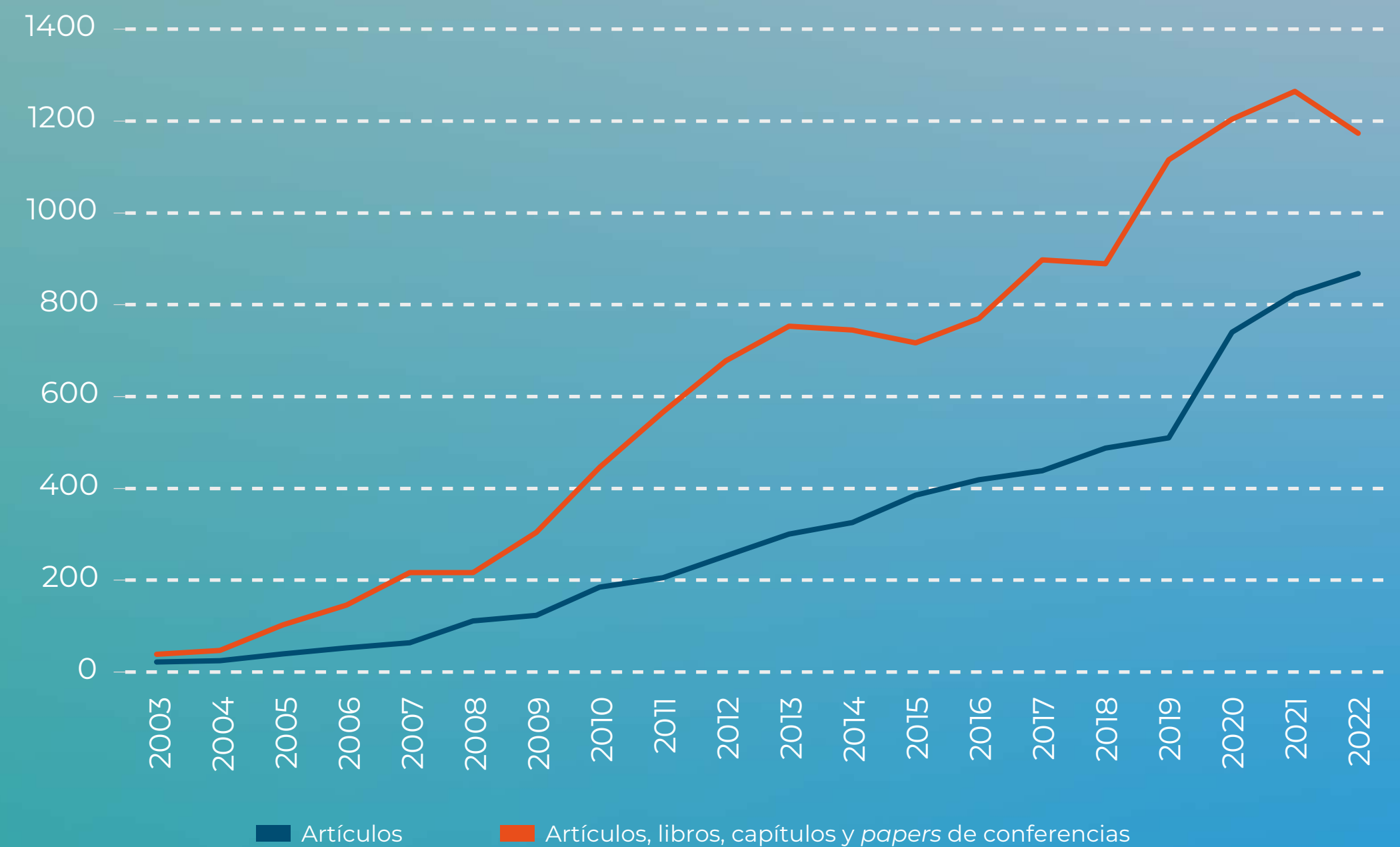
Iniciativa	Tipo de soluciones						Resiliencia
	Diseño sostenible	Medición y verificación	Gestión eficiente	Tecnologías digitales avanzadas	Material sostenible	Sistema constructivo industrializado	
Sistema de Evaluación de Desempeño Energético de Edificios	■	■	■				
BIM Forum Uruguay				■			
Proyecto Piloto BIM CAIF Aeroparque			■	■			
Diagnóstico Circularidad de la Construcción		■	■				
Manual para el Cálculo de Emisiones GEI de Proyectos Infraestructura		■					
Plan Departamental de Montevideo de Gestión de Residuos de Obras Civiles		■	■				
Hoja de Ruta para la Construcción de Vivienda Social en Madera		■			■		
Concursos Públicos de Construcción en Madera	■				■	■	

Fuente: Elaboración propia sobre la base de entrevistas realizadas (2023-24).

ANEXO V. GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO SOBRE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Asociado con la creciente preocupación respecto al impacto medioambiental de la construcción, en las últimas dos décadas ha habido un fuerte y sostenido crecimiento en la producción científico-tecnológica a nivel global asociada a la construcción sostenible (gráfico A5.1). En efecto, entre 2003 y 2022, tanto la cantidad de artículos científicos como la producción bibliográfica más general –artículos, libros, capítulos de libros y *papers* de conferencias– aumentó a una tasa promedio del 20% anual, según datos del repositorio de Scopus. Actualmente se producen aproximadamente 900 artículos y 1.200 documentos científico-tecnológicos por año a nivel global sobre construcción sostenible.

Gráfico A5.1. Publicaciones científico-tecnológicas sobre construcción sostenible a nivel global, período 2003-22



Fuente: Scopus (Portal Timbó, ANII), consultado en noviembre de 2023.

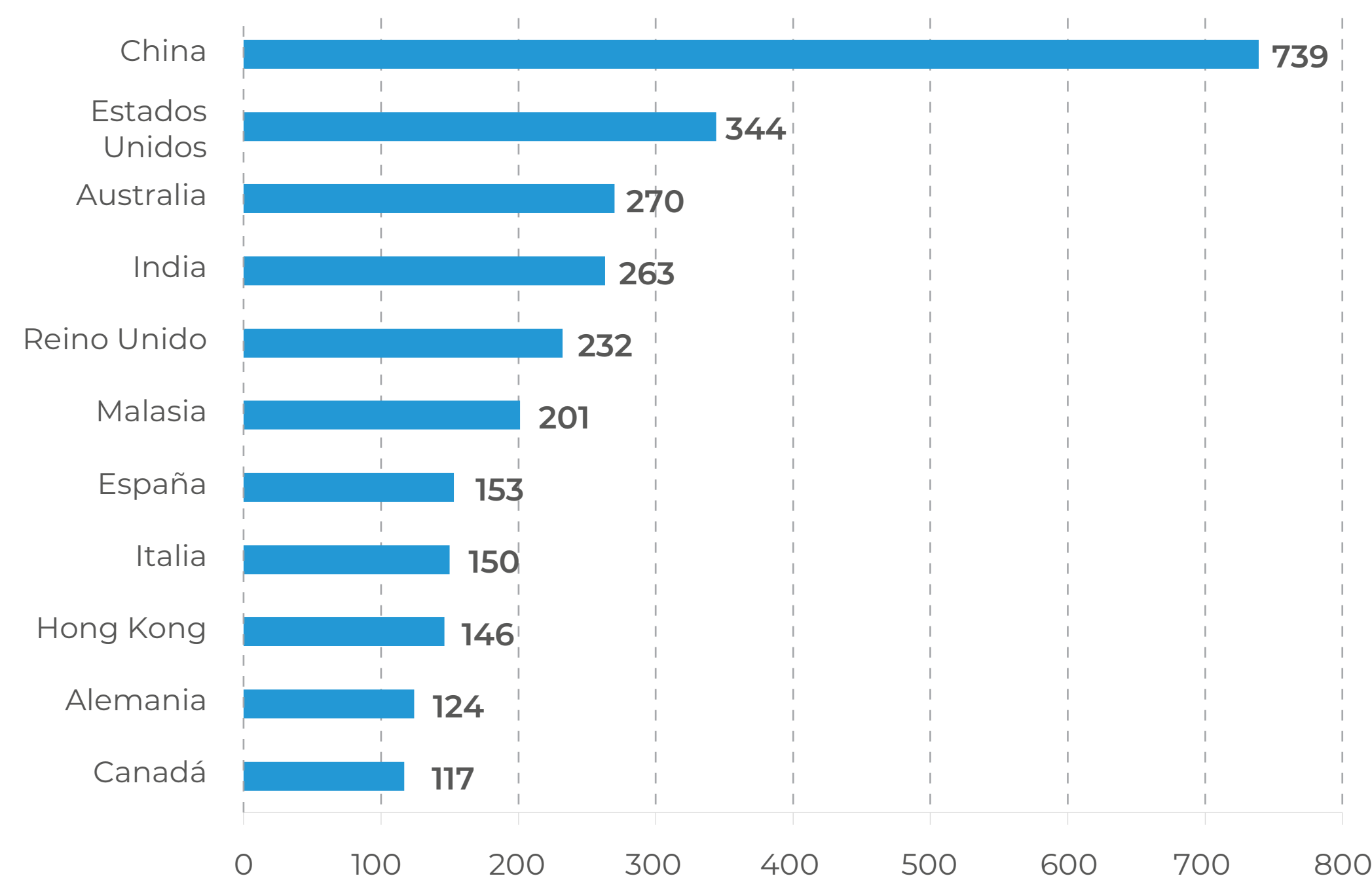
Nota: Incluye publicaciones que contienen alguna de las siguientes palabras clave: green construction, sustainable construction, eco-friendly construction, environmentally responsible construction, green buildings, environmentally sustainable construction, low-impact building, sustainable building, carbon-neutral construction, zero-emission building, net-zero building, energy-efficient building.

La aproximación al tema de la construcción sostenible desde la producción bibliográfica involucra múltiples campos del conocimiento, incluyendo la ingeniería y la arquitectura (el 66% de las publicaciones científico-tecnológicas), las ciencias medioambientales (32%), la energía (25%), las ciencias sociales (21%), las ciencias de los materiales (15%), la gestión y los negocios (12%) y las ciencias de la computación (9%), entre otras (análisis de publicaciones en Scopus [2023]).

La producción científico-tecnológica sobre construcción sostenible es liderada a nivel mundial por China, país que explica más de la quinta parte (22%) de la producción sobre el tema en los últimos cinco años (2018-22) (gráfico A5.2.). Se ubican a continuación, aunque con un volumen de producción significativamente menor, Estados Unidos, Australia, India y Reino Unido, seguido de otros países desarrollados de Asia, Europa y Norteamérica. En el lugar decimoquinto, considerando el número de publicaciones, se ubica un país que está fuera de dichas regiones: Egipto; y en el lugar 17, el primer país sudamericano: Brasil.

Las actividades de investigación científica y desarrollo tecnológico que han dado lugar a las publicaciones sobre construcción sostenible generadas en los últimos cinco años han sido, en más de la mitad de los casos, apoyadas por los gobiernos nacionales y/o comunitarios. Se destacan en este sentido la cantidad de publicaciones apoyadas por la Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China, el Programa Nacional de Investigación y Desarrollo Clave de China, el Consejo Australiano de Investigación, el Fondo Europeo de Desarrollo Regional, la Fundación Nacional de Ciencias de Estados Unidos, la Comisión Europea, la Fundación Nacional de Investigación de Corea, el Ministerio de Educación Superior de Malasia y el Programa Marco Horizonte 2020, entre otros (Scopus, 2023). De forma consistente con la tendencia a nivel global en América Latina y el Caribe (ALC), también se registra un crecimiento en la producción científico-tecnológica sobre temas vinculados la sostenibilidad de la industria de la construcción en las últimas décadas, aunque el inicio de este desarrollo es más tardío (a partir de 2005) y en una escala significativamente menor (gráfico A5.3.). Entre 2005 y 2022 la producción de artículos sobre el tema en la región

Gráfico A5.2. Publicaciones científico-tecnológicas sobre construcción sostenible. Países con mayor producción a nivel global. Producción total, período 2017-22



Fuente: Scopus (Portal Timbó, ANII), consultado en noviembre de 2023.

Nota: Corresponde a publicaciones de autores con filiación institucional en los respectivos países.

tuvo un promedio anual del 23%, aunque solo llega a representar el 3,6% de la producción anual.

La producción de conocimiento sobre construcción sostenible en ALC, además de ser marginal con relación a la producción global, también se caracteriza por estar muy concentrada geográficamente. Brasil explica prácticamente la mitad (49%) de

los artículos científico-tecnológicos producidos entre 2018 y 2022, y es un claro líder regional en el tema (gráfico A5.4.).

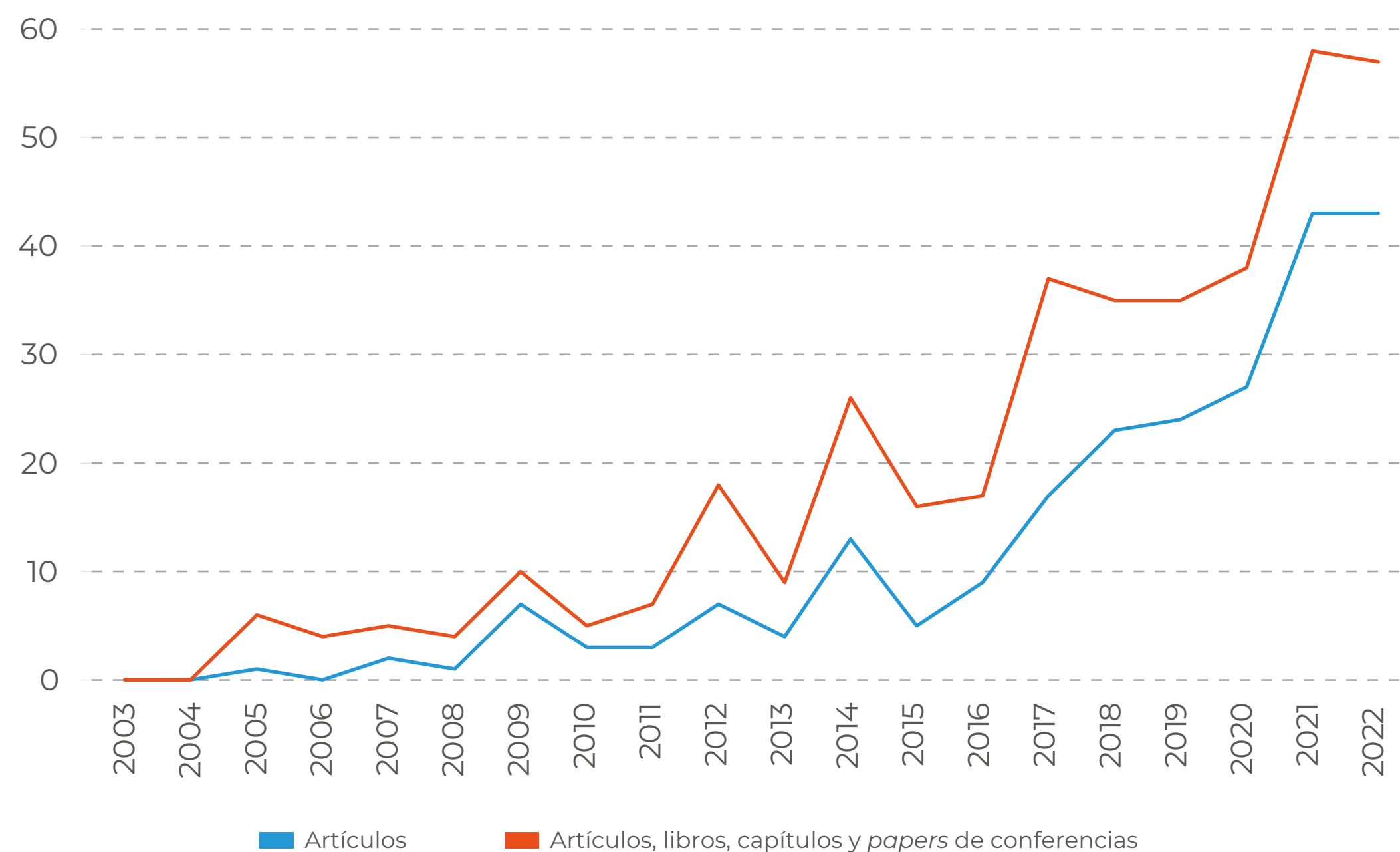
Como se puede apreciar en el gráfico A5.4., en un segundo nivel se ubican Chile, México y Colombia, con entre un 11% y un 15% de las publicaciones de la región. Ecuador, Argentina y Perú han generado entre 6 y 10 publicaciones en los últimos cinco años,

mientras que otros países de ALC solo han elaborado producciones científicas puntuales directamente vinculadas con el tema, o no han desarrollado ninguna. A modo de referencia, en 2022, los autores con filiación en países de ALC publicaron en total 43 artículos científicos sobre construcción sostenible, menos de una quinta parte de los que produjo China ese mismo año, y poco

más de la mitad de los que divulgaron India y Estados Unidos (81 y 72 artículos, respectivamente).

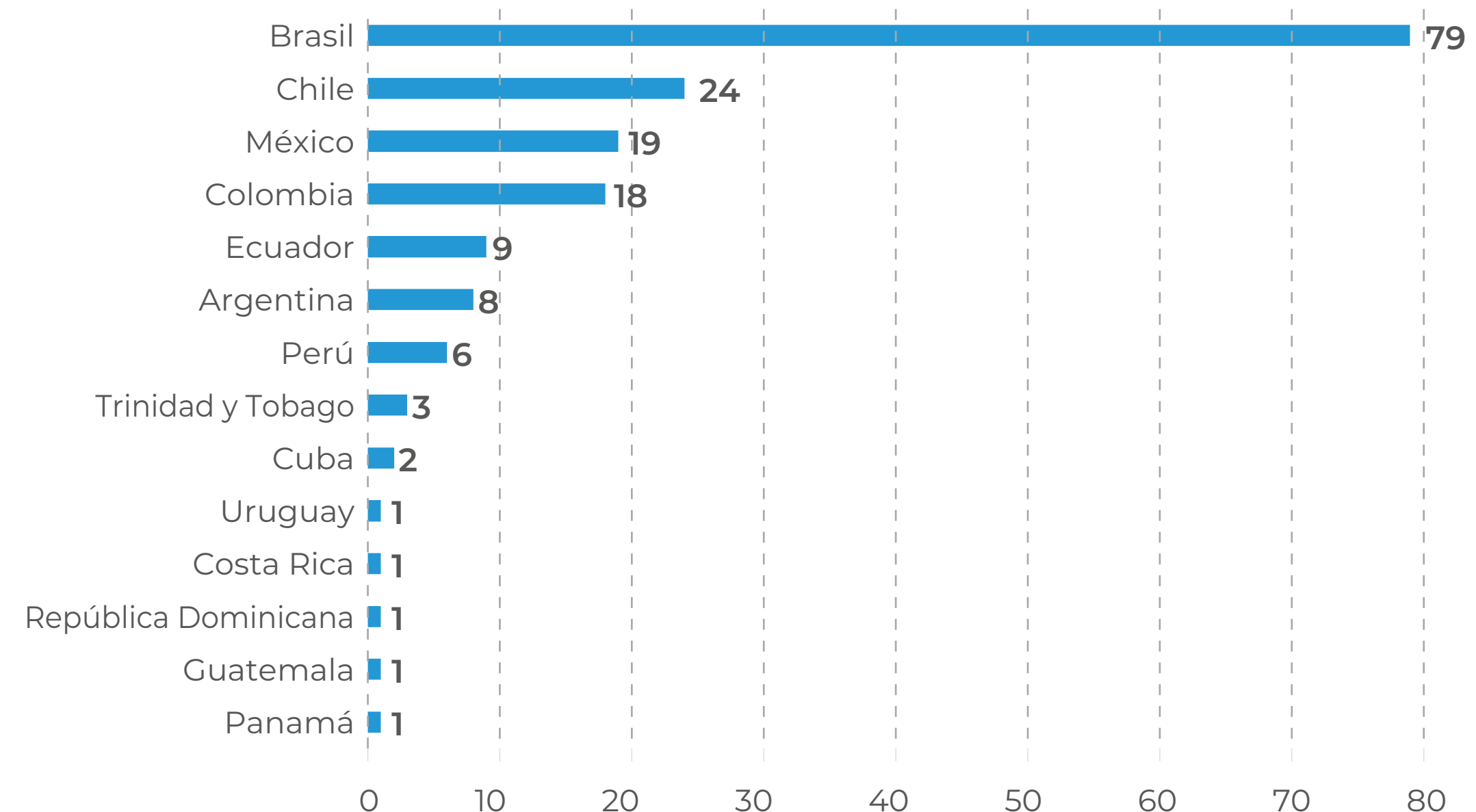
Estos resultados sugieren que, con excepción de unos pocos países, no existe una masa crítica de investigadores y/o tecnólogos que se especialicen en construcción sostenible y generen conocimiento original sobre el tema en la región.

Gráfico A5.3. Publicaciones científico-tecnológicas sobre construcción sostenible en América Latina y el Caribe, período 2003-22



Fuente: Scopus (Portal Timbó, ANII), consultado en noviembre de 2023.
Nota: Corresponde a publicaciones de autores con filiación institucional en países de la región.

Gráfico A5.4. Publicaciones científico-tecnológicas sobre construcción sostenible en países de América Latina y el Caribe. Producción total, período 2018-22



Fuente: Scopus (Portal Timbó, ANII), consultado en noviembre de 2023.
Nota: Corresponde a publicaciones de autores con filiación institucional en los respectivos países.



BID

Mejorando vidas