

Hawerroth Lohn, A., Oviedo-Haito, R. J. J. (2024). Revisión de impactos de la Industria 4.0 en la Construcción destacados en informes de consultoría. En Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas de congreso del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción* (IX ELAGEC2024).

# REVISIÓN DE IMPACTOS DE LA INDUSTRIA 4.0 EN LA CONSTRUCCIÓN DESTACADOS EN INFORMES DE CONSULTORÍA

Amanda Hawerroth Lohn <sup>1</sup> – [hawerrothamanda@gmail.com](mailto:hawerrothamanda@gmail.com)

Ricardo Juan José Oviedo Haito <sup>1</sup> - [ricardo.oviedo.haito@ufsc.br](mailto:ricardo.oviedo.haito@ufsc.br)

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

## RESUMEN

La industria de la construcción es un importante agente en la economía global, caracterizada por, históricamente, presentar dificultades para mejorar su eficiencia, calidad y sostenibilidad. Otras industrias están superando dificultades similares a través de la incorporación de tecnologías digitales, conectando los mundos físicos y digitales mediante el uso de dispositivos inteligentes. A esta tendencia se le denomina Industria 4.0. La literatura académica resalta la importancia de incorporar prácticas y tecnologías de esta tendencia a la Construcción, en la llamada Construcción 4.0. Sin embargo, poco se sabe sobre cuáles son los impactos asociados a esta tendencia. El objetivo de este trabajo es identificar impactos de la incorporación de prácticas y tecnologías de la Industria 4.0 en la Construcción. Para ello, una investigación documental se realizó a partir de 28 informes de consultoría. Los resultados incluyen una clasificación de impactos de esta tendencia en torno de: estrategia competitiva, materiales, modelos de trabajo, tecnología y sostenibilidad. Identificar estos impactos contribuye al conocimiento de las prácticas cuya integración moldeará la actuación de los agentes del sector de la construcción en los siguientes años.

## PALABRAS CLAVE

Impactos; Construcción; Industria 4.0; Construcción 4.0.

## INTRODUCCIÓN

La Construcción es uno de los mayores sectores industriales mundiales, cuya contribución a la economía mundial en 2023 representó aproximadamente 12 trillones de dólares (Blanco et al., 2023). Este sector es estudiado desde diferentes perspectivas académicas. Una de ellas es el análisis del conjunto de actividades realizadas por sus agentes económicos (relacionadas desde la extracción de materiales hasta el mantenimiento o demolición de la infraestructura construida), en conjunto con la interacción de poder entre

estos agentes. Este análisis se conoce como estudio de la cadena de valor y de las fuerzas competitivas (Porter, 1985; Porter, 1980).

La organización de la producción en esta cadena se caracteriza por una alta fragmentación entre los agentes, dadas por contrataciones basadas en el menor precio ofertado (Oviedo-Haito et al., 2014), lo que genera fraccionamiento de responsabilidades, un deficiente proceso de diseño, falta de relaciones de largo plazo, una cultura favorable al surgimiento de conflictos entre agentes, baja calidad de la construcción, malas condiciones laborales en las obras (Barrett, 2007), además de baja intensidad en el uso de tecnologías de la información y la comunicación en las distintas etapas del ciclo de vida del edificio (Arora et al., 2020; Barrett, 2007).

Otros sectores industriales, como el automotivo y la aeronáutica, han sufrido cambios mediante la adopción de tecnologías digitales (Craveiro et al., 2019), con el objetivo de mejorar la competitividad y la productividad en la industria manufacturera (Cugno et al., 2021), en la llamada Industria 4.0. Según Muñoz-La Rivera et al. (2021), la Industria 4.0 se refiere a un nuevo nivel de organización, control y desarrollo de procesos y productos, a lo largo de todo su ciclo de vida, utilizando tecnologías para optimizar los procesos de forma sincronizada y eficiente. A su aplicación en la construcción se le denomina Construcción 4.0 (Sawhney et al., 2020).

La literatura especializada resalta varios beneficios de su aplicación, incluyendo el aumento de la colaboración, aumento de la confiabilidad de plazos y costos, aumento de la seguridad y salud de los trabajadores, así como de la sostenibilidad del sector (Dallasega et al., 2018; Oesterreich y Teuteberg, 2016); reducción de ineficiencias y desperdicios, mejoría de la imagen de la industria (Sawhney et al., 2020); integración vertical y longitudinal, reducción del consumo de mano de obra, mayor flexibilidad, mejor recopilación e intercambio de datos, además de proporcionar mayor innovación, rentabilidad, eficiencia organizacional, etc. (Zimmermann, 2022).

A pesar de estos beneficios, existe una carencia de informaciones sobre lo que, en la práctica, involucra implementarla (Singh et al., 2023). En tal sentido, la literatura académica destaca diversos aspectos relativos a la dificultad para invertir en prácticas y tecnologías de la Industria 4.0 en la Construcción, incluyendo la incertidumbre sobre el retorno de la inversión (Jan et al., 2023; Singh et al., 2023), los altos costos de adopción de nuevas tecnologías (Attaran y Celik, 2023; Bazan y Estevez, 2021; Nagy et al., 2021; Prabhakar et al., 2023; Regona et al., 2022; Zhdaneev et al., 2020), los costos de mantenimiento (Jan et al., 2023), así como la falta de incentivos financieros (Čustović et al., 2023).

Esta inversión es necesaria para mejorar las competencias de los trabajadores (Almarri et al., 2021), así como para el desarrollo de plataformas tecnológicas conectadas (sensores, *softwares*, etc.), desarrollo de su infraestructura, de la gestión de datos y para mantener acciones de ciberseguridad (Attaran y Celik, 2023; Jan et al., 2023; Tamvada et al., 2022). No obstante, los costos asociados a estas acciones pueden ser inaccesibles para las pequeñas y micro empresas que componen la mayor parte del sector de la Construcción (Regona et al., 2022).

En tal sentido, contribuyendo a llenar la brecha de conocimiento sobre lo que en la práctica involucra implementar la Industria 4.0 en la Construcción, el objetivo de este trabajo es identificar impactos de la incorporación de prácticas y tecnologías de la Industria 4.0 en la Construcción, mediante la revisión de informes de consultoría entre 2016 y 2021. Con este trabajo se pretende responder la pregunta: “¿cuáles son los impactos vinculados con la implementación de tecnologías y prácticas de la Construcción 4.0 reportados en informes de consultoría?”

## **METODOLOGÍA**

El método de investigación utilizado fue el análisis documental. Para Bowen (2009), este consiste de procedimientos sistematizados para el análisis cualitativo aplicado en la revisión o evaluación de material documental que fue producido sin la intervención del investigador. Para su ejecución se siguieron las mismas etapas que en cualquier investigación cualitativa, que según Bryman (2008) incluyen: 1) Comprensión del tema de estudio y pregunta de investigación; 2) Elección de fuentes de información; 3) Recopilación de datos; 4) Análisis e interpretación de datos; 5) Redacción de hallazgos y conclusiones.

La comprensión del tema de estudio y definición de la pregunta de investigación se realizó mediante revisión bibliográfica, identificándose una brecha en lo relacionado a informaciones prácticas relacionadas a la implementación de la Industria 4.0 en la Construcción. A partir de esta definición, una fuente de información que resume prácticas actuales de la Industria 4.0 se encuentra en los informes emitidos por empresas de consultoría de actuación mundial, incluyendo BCG, Deloitte, KPMG, McKinsey, así como los publicados por el World Economic Forum. Adicionalmente, informes de otras fuentes fueron encontrados utilizando la técnica de la bola de nieve (Patton, 1990), a partir de su identificación en los trabajos académicos sobre el tema analizados para la definición de la pregunta de investigación.

El criterio de selección de cuáles informes utilizar se basó en su contenido. Específicamente, fueron visitados los *websites* de esas empresas, accedidos los informes públicos, y seleccionados los informes cuyo contenido incluyera datos identificando cambios impulsados por la Industria 4.0 en diversos sectores industriales, con énfasis en la Construcción.

La selección se realizó mediante la lectura detallada en los mismos, identificando respuestas específicas a la pregunta de la investigación. Esto se realizó mediante la recopilación de códigos cualitativos -datos o trechos de información que representan simbólicamente atributos contenidos en elementos orales, escritos o visuales (Saldaña, 2013)-. Tales códigos fueron catalogados y almacenados en una base de datos. Posteriormente, al compararlos emergieron las categorías estrategia competitiva, materiales, modelos de trabajo, tecnología y sostenibilidad. La Tabla 1 contiene los 28 informes seleccionados.

**Tabla 1.** Informes de consultoría identificados.

<b>Institución</b>	<b>Autores</b>	<b>País</b>	<b>Contexto</b>
BSG	Gerbert et al. (2016)	Global	No especificado
BSG	Rehse et al. (2021)	Alemania y Austria	No especificado
CTE	Souza et al. (2022)	Brasil	No especificado
	Raffaini y Loreto, (2020)	Brasil	Entrevistas a directivos de 270 empresas
	Álvarez y De Reyna (2020)	Global	Basado en fuentes y datos estadísticos
Deloitte	Schroeck et al. (2019)	Global	Revisión de 12 informes económicos y de consultoría
	WEF (2020b)	Global	Entrevistas con directivos de 2029 empresas en 19 países
	Meisels et al. (2021)	No especificado	Resumen de otros informes de consultoría
	Armstrong et al. (2019)	Global	Encuesta mixta, presencial y remota, 223 entrevistados
	Sávio y Aguiar (2021)	Brasil	100 encuestados y 60 entrevistados de investigación cualitativa, en 86 empresas diferentes.
	Weir et al. (2019)	Global	Encuesta a 188 empresas inmobiliarias y PropTechs
KPMG	Forsyth (2021)	Australia	Revisión de 52 documentos de mercado y consultoría
	Armstrong et al. (2021)	Global	Encuesta aplicada a 186 de la sección de ingeniería y construcción
	Weir et al. (2020)	Global	Panel virtual con aproximadamente 300 profesionales del sector Real State. Más de 100 respuestas a través de cuestionarios
	Arora et al. (2020)	Global	Análisis del desempeño económico de una muestra global de 1.040 empresas públicas
	Bertram et al. (2019)	Global	Análisis realizado a partir de trabajos previos de McKinsey
McKinsey	Barbosa et al. (2017)	Global	Encuesta a 144 profesionales del sector de la construcción y la academia
	Lund et al. (2021)	8 países	Investigación basada en datos económicos
	Ribeirinho et al. (2020)	Global	Encuesta a 400 líderes globales y datos de encuestas anteriores
World Economic Forum	WEF (2020a)	No especificado	Basado en otros trabajos y encuestas, principalmente del propio WEF
	O. Schwab y Buehler (2018)	Alemania e Inglaterra	Basado en los resultados de 2 Talleres, que reunieron a 52 representantes de 38 organizaciones

WEF (2019)	No especificado	Consultas con Directores de Recursos Humanos y otros expertos seleccionados
Bühler y Kosta (2017)	Global	10 estudios de casos, visitas a sitios y entrevistas en cantidades no especificadas
De Almeida y Solas (2016)	Global	Encuesta, con respuestas de 30 profesionales y expertos del sector
Leopold et al. (2018)	Global	Encuesta en línea, 313 respuestas
K. Schwab y Zahidi (2020)	Global	Encuesta online aplicada a una red de contactos del Foro Económico Mundial
DiChristina y Meyerson (2020)	No especificado	No especificado
DiChristina y Meyerson (2021)	No especificado	No especificado

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se componen de una clasificación propuesta de impactos potenciales de la Industria 4.0 en la Construcción, según informes de consultoría. Específicamente, estos impactos se relacionan a las categorías: estrategia competitiva, materiales, modelos de trabajo, tecnología y sostenibilidad.

### 1 ESTRATEGIA COMPETITIVA

Implementar las prácticas de la Industria 4.0 requiere la ejecución de estrategias adecuadas. Las estrategias descritas en los informes analizados fueron clasificadas en cinco categorías: a) innovación orientada a tecnologías y prácticas de la Industria 4.0; b) personalización (enfoque en el cliente); c) cambio de enfoque de productos por servicios; d) adquisiciones estratégicas (*strategic sourcing*); y e) desarrollo de nuevos modelos de negocios.

La primera estrategia es la de innovación orientada a tecnologías y prácticas de la Industria 4.0. Esta consiste en dirigir las inversiones hacia ambientes conectados e integrados mediante tecnologías digitales y automatización, enfocándose tanto en la innovación como en el desarrollo de nuevas competencias y habilidades en los trabajadores y gestores (Barbosa et al., 2017; Ribeirinho et al., 2020; Schwab y Buehler, 2018; WEF, 2020b).

La estrategia de personalización, o enfoque en el cliente, está dirigida al uso de datos (*data-driven*) para atender demandas personalizadas de clientes e inversionistas cada vez más sofisticados (Armstrong et al., 2019; Ribeirinho et al., 2020). Por ejemplo, analizar datos sobre el uso de las edificaciones habitacionales, y de su evolución, mediante la adopción de *data analytics* permite optimizar sus diseños, optimizando la gestión del ambiente construido (Ribeirinho et al., 2020).

Cambiar el enfoque de productos por servicios busca mejorar la escalabilidad e internacionalización de las ofertas (Armstrong et al., 2019; Ribeirinho et al., 2020).

Algunos ejemplos son las ofertas de constructoras relacionadas a productos modulares que, además del montaje en el sitio de obras, incluyen el diseño y fabricación de sus componentes, alterando la forma de contratación, permitiendo a los constructores participar desde la fase de diseño (Barbosa et al., 2017).

Realizar adquisiciones estratégicas (*strategic sourcing*) tiene como objetivo principal la asociación o incorporación de servicios prestados por *startups* (Ribeirinho et al., 2020; Schwab y Buehler, 2018; WEF, 2020a), que son nuevos entrantes que generalmente ofrecen servicios escalables (Betiatto & Oviedo-Haito, 2022).

Estas estrategias se combinan en el desarrollo de nuevos modelos de negocios. Estos buscan formar ecosistemas en la Construcción, representados por actividades realizadas con alta transacción de datos digitales. Entre otros, esto permite la comparación del desempeño entre empresas (*benchmarking*) y entre sus mejores prácticas (Schwab y Buehler, 2018), permitiendo la toma de decisiones fundamentada en datos. Esto requiere la adecuación de la forma de gestión de las obras, así como cambios en la gestión de riesgos, mejorando la gestión de todos los actores involucrados como proveedores y subcontratistas especializados (Schwab y Buehler, 2018).

Sin embargo, la adopción de estas estrategias requiere superar algunos obstáculos. El primero se relaciona con el contexto de la producción en la construcción. A nivel sectorial, gestionar la naturaleza compleja de su logística y operaciones (Ribeirinho et al., 2020). Esto se suma a la falta de estándares claros, relacionados a este nuevo contexto tecnológico, para sus actores principales, como es el caso de los clientes y subcontratistas (Barbosa et al., 2017). A nivel de organización de las obras, estas se caracterizan por tener una gestión y ejecución de proyectos deficiente, con bajos niveles de control sobre sus operaciones (Barbosa et al., 2017; Souza et al., 2022).

Otro obstáculo se relaciona con gestionar los cambios en la fuerza laboral. Específicamente, la construcción actual se caracteriza por su consumo intensivo de mano de obra (Ribeirinho et al., 2020). Para alterar este escenario se requiere de un gran contingente de trabajadores cualificados y especializados. No obstante, remunerar este tipo de trabajadores es oneroso (Ribeirinho et al., 2020). Súmase a esto una coyuntura de escasez general de trabajadores en la construcción y barreras para permitir el ingreso de trabajadores migrantes (Barbosa et al., 2017), en la cual no se disponen de iniciativas eficaces y masivas de capacitación (Schwab y Buehler, 2018).

Otro obstáculo identificado es la baja barrera de entrada, principalmente para constructoras (Ribeirinho et al., 2020). No obstante, esto puede convertirse en una oportunidad para empresas *startups* en el sector, como sucedió en la pandemia COVID-19, que apalancó el crecimiento de este tipo de empresas especializadas en la construcción modular de hospitales en Brasil (Baú y Oviedo-Haito, 2022).

En este contexto, tales estrategias impactan en las decisiones de las empresas del sector. Así, para Armstrong et al. (2021), algunas empresas están realizando “*benchmarking*” a partir de factores clave tales como: la adopción de tecnologías, el liderazgo en la empresa, el enfoque en innovación y en la industria, la madurez de la adopción y programas para implementación de estas tecnologías y la diversidad entre los trabajadores. Otra forma de *benchmarking* es a partir del uso de modelos de innovación.

En un estudio publicado en Brasil en 2020 (Raffaini y Loreto, 2020), en un universo de 270 representantes de empresas del sector, se identificaron medidas relacionadas a la Construcción 4.0 en tres niveles. Entre 40-60% de los entrevistados afirmó haber alterado sus procesos internos, servicios o productos para este contexto tecnológico. Entre 20-40% señalaron haber posicionado su marca y realizado inversiones en la mejorar sus canales de ventas, en la capacitación y atribución de líderes de innovación, en la creación de redes de colaboración con empresas a lo largo de la cadena de suministros, en haber mejorado las prestaciones de sus productos y en, principalmente, su relación y compromiso con sus clientes. Finalmente, entre 0-20% de los entrevistados manifestó haber desarrollado una estrategia de datos y *roadmap* tecnológico, haber alterado la estructura organizacional de la empresa, cambiado su modelo de negocios, haber participado o promovido programas de aceleración e incubación de empresas, así como haber implementado programas para desarrollo de emprendedores entre sus trabajadores.

En consecuencia, los impactos relacionados con la estrategia competitiva de las empresas para este escenario industrial pueden sintetizarse en: empresas posicionadas por diferenciación en el mercado, más eficientes y eficaces para este contexto tecnológico. Esto pasa por enfocar tanto en la innovación como en las necesidades particularizadas de los clientes, mediante el uso de tecnologías. También por disponer de un liderazgo y trabajadores capacitado, tener madurez para el desarrollo de negocios y trabajar con datos inteligentes sobre sus operaciones.

## 2 MATERIALES

Una característica destacada en este contexto tecnológico es la influencia de medidas para impulsar el desarrollo sostenible mediante la innovación y mejoría de materiales. Así, materiales con nuevas propiedades y funcionalidades están siendo promovidos (Schwab y Buehler, 2018). Los informes muestran la tendencia en la adopción de nuevos materiales fabricados a partir de nanotubos y grafeno (Schwab y Zahidi, 2020). Adicionalmente, otras innovaciones en materiales se dirigen a la mejoría de su eficiencia y prestaciones, como el aumento de su durabilidad, la reducción del uso de componentes contaminantes, o ser totalmente reciclables (Schwab y Buehler, 2018). Una de estas aplicaciones son los concretos autocicatrizantes (De Almeida y Solas, 2016) y cementos de baja huella de carbono en su ciclo de vida (DiChristina y Meyerson, 2020).

Un ejemplo se encuentra en el sensor micro encapsulado Micronal®, desarrollado por BASF y Arup, que puede incorporarse en materiales de construcción y permite la medición y gestión inteligente de sus temperaturas (De Almeida y Solas, 2016). Otro ejemplo mencionado por estos autores es el concreto autorreparable, producido mediante la adición de esporas bacterianas, que reduce los costos de vida útil hasta en un 50%. Algunos de los beneficios asociados a este abordaje se sintetizan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Beneficios asociados a la mejoría y creación de nuevos materiales

<b>Impacto del beneficio</b>	<b>Creación de nuevos materiales</b>	<b>Mejorar materiales existentes</b>
Mayor rapidez	Alteración del proceso constructivo	
Alto	Eficiencia energética	Eficiencia energética
		Facilidad de reciclaje / reutilización
Mejorado	Salud y bienestar	Salud y bienestar

Reducido	Costos a lo largo de ciclo de vida	Costos de los materiales
----------	------------------------------------	--------------------------

**Fuente:** los autores a partir de De Almeida y Solas (2016)

### 3 MODELOS DE TRABAJO

El escenario tecnológico relativo a la Construcción 4.0 requiere alteraciones en los modelos de trabajo, tanto a nivel de individuos como de organizaciones. Estas alteraciones son de diferentes naturalezas. La primera se relaciona con alteraciones en la forma de producción. Los datos apuntan al aumento de la construcción prefabricada, con énfasis en construcciones modulares (Álvarez y De Reyna, 2020; Barbosa et al., 2017; Bertram et al., 2019; Carson, 2020; Meisels et al., 2021; Ribeirinho et al., 2020), donde el proceso de construcción será más dependiente de subproductos y componentes de mayor valor agregado (productos industrializados).

Esto implica en, para determinados segmentos del mercado, la diseminación de edificaciones como productos terminados, relativos a determinadas marcas (como sucede en la industria automotiva), llevados de fábrica para su montaje e instalación final en obra (Ribeirinho et al., 2020). Según estos autores, este escenario provocará que la oferta de estos productos se concentre en pocos responsables, altamente especializados, tanto para su manufactura como para su instalación final en obra.

Para hacer este escenario viable se requiere de la homologación de reglamentos y códigos de construcción, tanto dentro de cada país como entre países, permitiendo tratar a la Construcción de forma estandarizada (Ribeirinho et al., 2020). Complementariamente, los modelos de trabajo deben orientarse a la digitalización de las operaciones, permitiendo la gestión con base en datos gerenciados en tiempo real (Barbosa et al., 2017; Ribeirinho et al., 2020), así como la automatización de tales operaciones (WEF, 2019).

Otra perspectiva se vincula con estrategias para acelerar la transformación digital. Una de ellas es la automatización de las operaciones por medio de la digitalización (Schwab y Zahidi, 2020). Para tales autores, esto requiere de la alteración de la cadena de valor en las organizaciones y obras. Una alternativa radica en la adopción de transacciones virtuales (por ejemplo, *e-commerce*) (Lund et al., 2021), que implica en la desintermediación entre los agentes, agilizando las adquisiciones mediante el uso de canales directos, como *marketplaces*, y también normalizando el uso de pagos digitales (Ribeirinho et al., 2020).

La tercera perspectiva se relaciona al impacto de la digitalización en los trabajadores. Los datos indican la necesidad de implementar acciones de tanto capacitación, de recualificación profesional (Schwab y Zahidi, 2020), como de atracción y retención de profesionales clave (Schwab y Buehler, 2018; WEF, 2020b), creándose una cultura de aprendizaje ágil y personalizada, mejorando la experiencia de los trabajadores mediante la determinación de métricas de desempeño (WEF, 2019).

En la práctica esto produce dos escenarios. En el primero, la disminución en la demanda por trabajos de menor valor agregado, así como el incremento de nuevos puestos de trabajo; ambos resultantes de la digitalización y automatización (Schwab y Zahidi, 2020). Sin embargo, el segundo escenario implica en la migración desde construcciones más

tradicionales por prefabricadas, originando el aumento en la demanda de puestos de trabajo especializados en prefabricación (Armstrong et al., 2019; Schwab y Zahidi, 2020).

**Tabla 2.** Impactos estimados por alteraciones en los modelos de trabajo debidas a la Construcción 4.0

Impacto provocado por	0-20%	40-60%	Autores
Reducción de costos de servicios		Reducción de ineficiencias como retrabajos	(Rehse et al., 2021)
Reducción de costos y plazos	Construcción modular		(Bertram et al., 2019)
Reducción de costos y aumento en productividad (medidas)	Capacitación		Porcentaje acumulado por el conjunto de estas medidas (de forma global)
	Colaboración y contratación		
	Diseño e ingeniería		
	Construcción en el sitio de obras		
	Gestión de suministros		
	Nuevas tecnologías		(Barbosa et al., 2017)

**Fuente:** los autores

Para Barbosa et al. (2017), este tipo de medidas representarían, en forma acumulada, un impacto de entre el 48-60% de aumento en productividad y de entre 27-38% en reducción de costos en la Construcción, así como aumentaría la confiabilidad en los plazos de obra. Un detalle mayor sobre la composición de tales impactos se muestra en la Tabla 2.

En síntesis, los datos destacan la importancia de repensar los puestos y formas de trabajo (Barbosa et al., 2017; WEF, 2019) en función de alteraciones en la cadena de valor debidas a la migración hacia una construcción más dependiente de productos industrializados y con una gestión más digital y ágil.

#### 4 TECNOLOGÍA

El concepto de Industria 4.0 tiene su base en una transformación tecnológica, donde nuevas aplicaciones emergen para unir los mundos físicos y digitales (medio ciber-físico). En tal sentido, los datos apuntan a la adopción masiva de un amplio espectro de tecnologías, que incluyen a las digitales, de materiales, de procesos gerenciales, empresariales y de fabricación (Barbosa et al., 2017; Forsyth, 2021; Leopold et al., 2018; Ribeiro et al., 2020; Schwab y Zahidi, 2020; Schwab y Buehler, 2018). Con relación a la digitalización, los datos contienen la necesidad de optimizar la eficiencia de las obras, reduciendo incertidumbres (Arora et al., 2020).

En tal sentido, la recomendación se dirige a maximizar el uso de datos digitales a lo largo de los procesos, tanto internos como a lo largo de la cadena de valor, o de suministros, de la Construcción (De Almeida y Solas, 2016; Lund et al., 2021; O. Schwab y Buehler, 2018). Estas se dan mediante la digitalización de productos, de procesos de fabricación, de canales de venta y de asistencia técnica; así como también mediante la interacción y colaboración entre los trabajadores (Arora et al., 2020; De Almeida y Solas, 2016; Lund

et al., 2021; Ribeirinho et al., 2020) dada por el uso de tecnologías digitales. Una manera de acelerar esta transformación pasa por la incorporación de *startups* de construcción (Álvarez y De Reyna, 2020). Tales datos digitales permitirán aprovechar el uso de dispositivos inteligentes, habilitando operaciones inteligentes que conecten los sistemas de gestión de las obras en las diferentes etapas de sus ciclos de vida, como diseño, producción, operación y mantenimiento (Arora et al., 2020; Barbosa et al., 2017; De Almeida y Solas, 2016; Gerbert et al., 2016; Meisels et al., 2021; Rehse et al., 2021; Schroeck et al., 2019).

Varias aplicaciones a la construcción surgen del uso de datos digitales. Para los clientes, la valorización de edificios inteligentes, *usando Internet of things* (IOT), que les permitan usar edificios más eficientes en términos de consumo de energía (Ribeirinho et al., 2020). En la gestión, la colaboración en tiempo real entre los diferentes trabajadores (Barbosa et al., 2017; De Almeida y Solas, 2016), así como la gestión fundamentada en indicadores mediante identificación de tendencias obtenidas a partir de tecnologías como *Cloud y Edge computing, Big Data, Machine learning y Data analytics* (Álvarez y De Reyna, 2020; Armstrong et al., 2021; Barbosa et al., 2017; Carson, 2020; Forsyth, 2021; Leopold et al., 2018; Raffaini y Loreto, 2020; Sávio y Aguiar, 2021; K. Schwab y Zahidi, 2020; WEF, 2020b).

En diseños, el desarrollo de diseños modulares (Armstrong et al., 2019) y generativos a partir del uso de Inteligencia artificial (Álvarez y De Reyna, 2020; Armstrong et al., 2021; Lund et al., 2021; Schwab y Zahidi, 2020; WEF, 2020b). En planeamiento, el uso de herramientas de planeamiento que usen datos obtenidos en tiempo real (De Almeida y Solas, 2016). En supervisión y control, el uso de levantamientos 3D e inspecciones automatizados por medio del uso de sensores y vehículos aéreos no tripulados – drones (Álvarez y De Reyna, 2020; Armstrong et al., 2021; Arora et al., 2020; Barbosa et al., 2017; De Almeida y Solas, 2016; Gerbert et al., 2016; Raffaini y Loreto, 2020; Schwab y Buehler, 2018), para monitoreo y control riguroso (Gerbert et al., 2016), así como acciones de telemedicina en el trabajo (DiChristina y Meyerson, 2020). En gestión de suministros se prevé la masificación del uso de comercio electrónico para adquisiciones (Leopold et al., 2018; Schwab y Zahidi, 2020).

En torno de la producción fueron identificadas dos vertientes principales: la de fabricación y la de apoyo a la producción. La fabricación se relaciona con la manufactura aditiva (impresión 3D) de edificaciones o de sus partes (Álvarez y De Reyna, 2020; Armstrong et al., 2021; Carson, 2020; De Almeida y Solas, 2016; DiChristina y Meyerson, 2021; Gerbert et al., 2016; Leopold et al., 2018; WEF, 2020b), la mayor mecanización y uso de robots en las actividades (Lund et al., 2021; Raffaini y Loreto, 2020), así como también el uso de vehículos autónomos (Álvarez y De Reyna, 2020; De Almeida y Solas, 2016; Gerbert et al., 2016; Leopold et al., 2018; Lund et al., 2021) en, por ejemplo, movimientos de tierras.

Como apoyo a la producción se tienen aplicaciones relativas al uso de sensores remotos, como es el caso de biomarcadores *Wireless* (DiChristina y Meyerson, 2021), uso de dispositivos móviles (Raffaini y Loreto, 2020) y vestibles (*weareables*) (Leopold et al., 2018). En lo referente al uso, operación y mantenimiento de productos construidos, especial atención será dirigida al monitoreo de la condición de utilización y necesidad de

mantenimiento preventivo, con base en datos colectados por sensores, como en el caso de instalaciones eléctricas, mecánicas e hidráulicas (Arora et al., 2020; Gerbert et al., 2016).

El uso de tecnologías de modelamiento (Álvarez y De Reyna, 2020; Armstrong et al., 2021; Arora et al., 2020; Carson, 2020; De Almeida y Solas, 2016; Gerbert et al., 2016; Raffaini y Loreto, 2020), como es el caso de *Building information modeling* – BIM, y de virtualización como es el de las realidades mixtas, extendidas y virtuales (Álvarez y De Reyna, 2020; Armstrong et al., 2021; Carson, 2020; Forsyth, 2021; Leopold et al., 2018; Rehse et al., 2021; Schwab y Zahidi, 2020; WEF, 2020b) es transversal a varias etapas del ciclo de vida de las construcciones, en aplicaciones que van desde visitas virtuales a departamentos, creación de escenarios de planeamiento, control de la producción y operaciones de mantenimiento.

No obstante, esta transformación requiere también de una alta disponibilidad y consumo de recursos físicos, como los relacionados a la gran demanda por generación y almacenamiento de energía eléctrica (Leopold et al., 2018; Schwab y Zahidi, 2020), así como cuidados con la ciberseguridad de los datos (Álvarez y De Reyna, 2020; Forsyth, 2021, 2021; Raffaini y Loreto, 2020; Sávio y Aguiar, 2021; WEF, 2020b).

En suma, la integración de estas tecnologías con las prácticas y procesos en la Construcción es determinante para alcanzar los impactos esperados de la implementación de la Industria 4.0 en la Construcción. En tal sentido, conforme Meisels et al. (2021), este potencial se alcanzará cuando se cuente con una “construcción conectada”. Para tales autores, este escenario de integración entre tecnologías y procesos, actualmente, se destaca en aplicaciones como la gestión de suministros y control de almacenes.

## **5 SOSTENIBILIDAD**

La preocupación con el desarrollo sostenible se refuerza con la transformación asociada a la Construcción 4.0. Los datos indican la implementación de prácticas ambientales, sociales, y de gobernanza (ESG) (Ribeirinho et al., 2020; Weir et al., 2020), enfatizando en la preocupación con una menor huella de carbono a lo largo del ciclo de vida de las construcciones. En atención a criterios ESG, emergen mayores exigencias por parte de clientes para acciones de sostenibilidad (Ribeirinho et al., 2020), generando mayor demanda por certificaciones ambientales y de seguridad, salud y bien estar en el trabajo (Souza et al., 2022). Estos últimos autores destacan esta característica, principalmente, para el segmento habitacional.

Asimismo, esta demanda está provocando que los inversionistas consideren criterios ESG al momento de asignar recursos (Armstrong et al., 2021), priorizando “verdaderos activos sostenibles” (Weir et al., 2020). De esta forma, se identifica la necesidad de desarrollar plataformas comunes y la elaboración de informes que permitan a los propietarios acompañar la huella de carbono, la gestión de personas y las contribuciones comunitarias alcanzadas en los proyectos de construcción (Armstrong et al., 2021; Weir et al., 2020). Esto impacta en la necesidad de reglamentos más estrictos en términos de seguridad y salud en el trabajo, así como en términos de sostenibilidad (Ribeirinho et al., 2020), impulsando el desarrollo de productos con menor huella de carbono a lo largo del ciclo de vida de las edificaciones (Schwab y Buehler, 2018), em estrategias consideradas como

“*green construction*” (Arora et al., 2020), incentivando la utilización de, por ejemplo, cementos de baja huella de carbono (DiChristina y Meyerson, 2020).

No obstante, a pesar de los criterios de sostenibilidad ser factores clave en la toma de decisiones en la Construcción, su uso se encuentra aún en una fase inicial, aunque en rápido desarrollo (Ribeirinho et al., 2020).

## 6 DISCUSIÓN

El análisis de los informes evaluados muestra un escenario cambiante, debido a las alteraciones en términos de la digitalización, automatización, mejoría de los materiales, procesos y prácticas utilizados en la Construcción. Estas alteraciones afectan a sus agentes actuantes, requiriendo adaptaciones en sus estrategias competitivas, materiales utilizados, modelos de trabajo y tecnología empleados en la Industria, buscando promover su desarrollo sostenible. Estos hallazgos fueron clasificados en función de cinco categorías: estrategia competitiva, materiales, modelos de trabajo, tecnología y sostenibilidad.

Con relación a las tecnologías, los informes detallan oportunidades de integración entre los mundos físicos y digitales, mediante la incorporación de tecnologías que avancen en la automatización de tareas e integración entre los agentes de todas las etapas del ciclo de vida de la construcción, coincidiendo con lo discutido en la literatura académica (Craveiro et al., 2019; Omrany et al., 2023; Sawhney, Riley, y Irizarry, 2020; Tamvada et al., 2022; Turner et al., 2021).

Este contexto provoca alteraciones en los modelos de trabajo, pues implica en una nueva organización de las tareas, creando nuevos puestos tanto digitales -por ejemplo, operador de *drone*, analista de datos, etc.- (García de Soto et al., 2019), como también especializados en la producción más industrializada, usando productos prefabricados -por ejemplo, montador de estructuras modulares-.

Con relación a la estrategia competitiva, se destaca la necesidad de orientar los esfuerzos de las empresas hacia los clientes, personalizando sus soluciones a partir de la toma de decisiones basada en datos recopilados y procesados de forma automática. Esta orientación genera nuevas fuentes de ventajas competitivas. Por ejemplo, la incorporación de Inteligencia Artificial genera una nueva dinámica de sustitución y colaboración con los trabajadores, lo que puede hacer obsoletas las fuentes tradicionales de ventajas competitivas (Krakowski et al., 2022). Estos, y otros cambios, puede acelerarse mediante la incorporación o asociación con *startups* del sector, una estrategia que puede ser impulsada mediante el desarrollo de ecosistemas de innovación e incubación (Rocha et al., 2019). Con relación a los materiales, se destaca la evolución en el uso de materiales con nuevas o mejoradas prestaciones -como los llamados materiales “inteligentes”-, así como el uso intensivo de materiales industrializados / prefabricados.

Cabe destacar que los beneficios del uso de la prefabricación son indispensables para alcanzar nuevos niveles de eficiencia en los sitios de obra. No obstante, el aumento de la eficiencia en la producción tiene que venir acompañado de un aumento en la eficiencia de su gestión, lo cual sí es dependiente de las tecnologías digitales asociadas a la Industria 4.0 o, en otras palabras, es dependiente de trabajar con objetos inteligentes. Específicamente, en el ámbito de la Construcción, Niu et al. (2016) destacan que un objeto se vuelve inteligente cuando es dotado de capacidades de detección, procesamiento y

comunicación para que tengan autonomía y conciencia, y puedan interactuar con el entorno para permitir una mejor toma de decisiones.

Sin embargo, en lo relativo a la sostenibilidad, este punto genera una dicotomía. Por un lado, objetos inteligentes pueden ser utilizados para gestionar el consumo energético de edificaciones (Wei y Li, 2011). Por otro, el trabajo con este tipo de objetos genera una de las mayores preocupaciones ambientales actuales, que es el aumento en el consumo de energía, como en asociado al uso de *blockchain* (Perera et al., 2020).

## CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo fue identificar impactos de la incorporación de prácticas y tecnologías de la Industria 4.0 en la Construcción, con base en informes de consultoría. Con este fin se analizaron 28 informes, identificando impactos en las categorías: estrategia competitiva, materiales, modelos de trabajo, tecnología y sostenibilidad. Entre ellos, se destaca el potencial de aumento de productividad y ahorro de costos asociado a los cambios en los modelos de trabajo relacionados con el escenario tecnológico de la Industria 4.0 en la Construcción. En suma, los informes destacan impactos como:

- **Estrategia competitiva:** cinco tipos identificados, siendo a) innovación orientada a tecnologías y prácticas de la Industria 4.0; b) personalización (enfoque en el cliente); c) cambio de enfoque de productos por servicios; d) adquisiciones estratégicas (*strategic sourcing*); y e) desarrollo de nuevos modelos de negocios. Entre estos se destaca la necesidad de adecuar los modelos de negocio para el uso de tecnologías conectadas, estableciéndose una estrategia de uso de datos.
- **Materiales:** mejores prestaciones y alteraciones en los procesos constructivos debidas a la creación de mejores materiales o mejoría de las propiedades de los materiales existentes.
- **Modelos de trabajo:** mejorías de hasta un 60% en la reducción de plazos, costos; así como aumento potencial de 60% en la productividad relacionadas con la implementación de construcción modular, capacitación, colaboración y gestión de suministros, entre otras, alteradas por la incorporación de las prácticas y uso de datos digitales relativos a la Industria 4.0.
- **Tecnología:** alteraciones originadas por el uso de dispositivos inteligentes en aplicaciones para mejorar las prestaciones del ambiente construido, toma de decisiones y predicciones basadas en datos recopilados por dispositivos inteligentes en tiempo real, para tanto operaciones de producción (por ejemplo, actividades en el sitio de obras) como de apoyo (por ejemplo, diseño y mantenimiento).
- **Sostenibilidad:** financiamiento de actividades sostenibles, que muestren impactos en la reducción de la huella de carbono en las actividades a lo largo del ciclo de vida de la Construcción.

Este trabajo destaca, también, la importancia de utilizar informes de consultoría como fuentes para suplementar informaciones secundarias, en adición a las fuentes oriundas del medio académico. La importancia radica en la cantidad y diversidad de análisis estadísticos, económicos y en la recopilación de prácticas en empresas de referencia mundial, lo que sirve para identificar las mejores prácticas (*benchmarking*) en utilización.

Este trabajo se limita al analizar informes de consultoría como fuentes de información, en la forma de una revisión. Trabajos futuros pueden incluir la complementación y consolidación de estos hallazgos a partir de verificaciones en campo y la discusión en profundidad con la literatura académica.

## REFERENCIAS

- Almarri, K., Boussabaine, H., & Al Nauimi, H. (2021). The influence of risks on the outturn cost of ICT infrastructure network projects. *Construction Innovation*, 23(1), 85–104. <https://doi.org/10.1108/CI-05-2020-0079>
- Álvarez, L., & De Reyna, G. (2020). *Construction Predictions 2020 | Deloitte Central Europe*. Deloitte Touche Tohmatsu Limited. <https://www2.deloitte.com/ce/en/pages/real-estate/articles/construction-predictions-2020.html>
- Armstrong, G., Gilge, C., & Max, K. (2019). *Future-Ready Index: Leaders and followers in the engineering & construction industry* (p. 44) [Global Construction Survey 2019]. KPMG International. <https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2019/04/global-construction-survey-future-ready.html>
- Armstrong, G., Gilge, C., & Max, K. (2021). *No turning back—An industry ready to transcend* (p. 47) [Global Construction Survey 2021]. KPMG International. <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2021/08/global-construction-survey1.pdf>
- Arora, N., Batra, G., Teulieres, M., Varanasi, S., & Wong, T. (2020). *Construction and building technology: Poised for a breakthrough? McKinsey & Company*. McKinsey. <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/construction-and-building-technology-poised-for-a-breakthrough>
- Attaran, M., & Celik, B. G. (2023). Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities. *Decision Analytics Journal*, 6, 100165. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100165>
- BARBOSA, F., WOETZEL, J., MISCHKE, J., RIBEIRINHO, M. J., SRIDHAR, M., PARSONS, M., & BROWN, S. (2017). *Reinventing construction: A route to higher productivity*. McKinsey Global Institute.
- Barrett, P. (2007). Revaluing Construction: A holistic model. *Building Research & Information*, 35(3), 268–286. <https://doi.org/10.1080/09613210601068286>
- Baú, G., & Oviedo-Haito, R. J. J. (2022). Mapping activities and inputs of modular construction with steel 3D modules in Brazil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1101(4), 042002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/4/042002>
- Bazan, P., & Estevez, E. (2021). Industry 4.0 and business process management: State of the art and new challenges. *Business Process Management Journal*, 28(1), 62–80. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-04-2020-0163>
- Bertram, N., Fuchs, S., Mischke, J., Palter, R., Strube, G., & Woetzel, J. (2019). *Modular construction: From projects to products*. McKinsey & Company: Capital Projects & Infrastructure. <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products>
- Betiatto, P., & Oviedo-Haito, R. J. J. (2022). Innovation profile of services offered by Brazilian construction startups. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1101(8), 082006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/8/082006>

- Blanco, J. L., Rockhill, D., Sanghvi, A., & Torres, A. (2023). *From start-up to scale-up: Accelerating growth in construction technology*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/private-capital/our-insights/from-start-up-to-scale-up-accelerating-growth-in-construction-technology>
- Bowen, G. A. (2009). Document Analysis as a Qualitative Research Method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27–40. <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
- Bryman, A. (2008). *Social Research Methods* (Third). Oxford University Press.
- Bühler, M. M., & Kosta, I. (2017). *Shaping the Future of Construction: Inspiring innovators redefine the industry* [World Economic Forum]. The Boston Consulting Group Inc. <https://www.weforum.org/reports/shaping-the-future-of-construction-inspiring-innovators-redefine-the-industry/>
- Carson, K. (2020, October 3). Digitalization & Automation in the Construction Trades. *Seattle Jobs Initiative*. <https://www.seattlejobsinitiative.com/digitalization-automation-in-the-construction-trades/>
- Craveiro, F., Duarte, J. P., Bartolo, H., & Bartolo, P. J. (2019). Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. *Automation in Construction*, 103, 251–267. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.011>
- Cugno, M., Castagnoli, R., & Büchi, G. (2021). Openness to Industry 4.0 and performance: The impact of barriers and incentives. *Technological Forecasting and Social Change*, 168, 120756. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120756>
- Čustović, I., Cao, J., & Hall, D. M. (2023). Cloud manufacturing for industrialized construction: Opportunities and challenges for a new manufacturing model. *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience*, 2(1), 100027. <https://doi.org/10.1016/j.iintel.2023.100027>
- Dallasega, P., Rauch, E., & Linder, C. (2018). Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 99, 205–225. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.039>
- De Almeida, P. R., & Solas, M. Z. (2016). *Shaping the future of construction: A Breakthrough in Mindset and Technology* (p. 64). World Economic Forum. <https://www.weforum.org/projects/future-of-construction/>
- DiChristina, M., & Meyerson, B. S. (2020). *Top 10 Emerging Technologies of 2020*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/reports/top-10-emerging-technologies-2020/>
- DiChristina, M., & Meyerson, B. S. (2021). *Top 10 Emerging Technologies of 2021*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/reports/top-10-emerging-technologies-of-2021/>
- Forsyth, L. (2021). *Modernizing government: Global trends* (p. 41). KPMG International. <https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2021/04/modernizing-government-global-trends.html>
- García de Soto, B., Agustí-Juan, I., Joss, S., & Hunhevicz, J. (2019). Implications of Construction 4.0 to the workforce and organizational structures. *International Journal of Construction Management*, 0(0), 1–13. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1616414>
- Gerbert, P., Castagnino, S., Rothballer, C., Renz, A., & Filitz, R. (2016). *Digital in Engineering and Construction: The transformative Power of Building Information Modeling* (p. 22). The Boston Consulting Group Inc.
- Jan, Z., Ahamed, F., Mayer, W., Patel, N., Grossmann, G., Stumptner, M., & Kuusk, A. (2023). Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of

- applications, challenges, and opportunities. *Expert Systems with Applications*, 216, 119456. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119456>
- Krakowski, S., Luger, J., & Raisch, S. (2022). Artificial intelligence and the changing sources of competitive advantage. *Strategic Management Journal*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1002/smj.3387>
- Leopold, T. A., Ratcheva, V. S., & Zahidi, S. (2018). *The Future of Jobs Report 2018* (p. 147). World Economic Forum. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2018/>
- Lund, S., Madgavkar, A., Manyika, J., Smit, S., Ellingrud, K., Meaney, M., & Robinson, O. (2021). *The future of work after COVID-19* (p. 32). McKinsey Global Institute. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/the-future-of-work-after-covid-19>
- Meisels, M., Henderson, P., Alami, S., & Hussain, A. (2021). *The future of the construction industry: Preparing for fundamental shifts in connected construction* (p. 8). Deloitte Touche Tohmatsu Limited. <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/energy-and-resources/articles/future-of-construction-industry.html>
- Muñoz-La Rivera, F., Mora-Serrano, J., Valero, I., & Oñate, E. (2021). Methodological-Technological Framework for Construction 4.0. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(2), 689–711. <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09455-9>
- Nagy, O., Papp, I., & Szabó, R. Z. (2021). Construction 4.0 Organisational Level Challenges and Solutions. *Sustainability*, 13(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/su132112321>
- Niu, Y., Lu, W., Chen, K., Huang, G. G., & Anumba, C. (2016). Smart Construction Objects. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(4), 04015070. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000550](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000550)
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121–139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Omrany, H., Al-Obaidi, K. M., Husain, A., & Ghaffarianhoseini, A. (2023). Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review of Current Implementations, Enabling Technologies, and Future Directions. *Sustainability*, 15(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/su151410908>
- Oviedo-Haito, R. J., Jiménez, J., Cardoso, F. F., & Pellicer, E. (2014). Survival Factors for Subcontractors in Economic Downturns. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(3), 04013056. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000811](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000811)
- Patton, M. Q. (1990). *Qualitative evaluation and research methods (2nd ed.)*. Sage Publications, Inc.
- Perera, S., Nanayakkara, S., Rodrigo, M. N. N., Senaratne, S., & Weinand, R. (2020). Blockchain technology: Is it hype or real in the construction industry? *Journal of Industrial Information Integration*, 17, 100125. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100125>
- Porter, M. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press.
- Porter, M. E. (1980). *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. Free Press.

- Prabhakar, V. V., Belarmin Xavier, C. S., & Abubeker, K. M. (2023). A Review on Challenges and Solutions in the Implementation of Ai, IoT and Blockchain in Construction Industry. *Materials Today: Proceedings*.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.535>
- Raffaini, E., & Loreto, B. (2020). *Construção do Amanhã*. Deloitte Brazil & Terracotta ventures. <https://www2.deloitte.com/br/pt/pages/real-estate/articles/construcao-amanha.html>
- Regona, M., Yigitcanlar, T., Xia, B., & Li, R. Y. M. (2022). Opportunities and Adoption Challenges of AI in the Construction Industry: A PRISMA Review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(1), 45.  
<https://doi.org/10.3390/joitmc8010045>
- Rehse, O., Hoffman, S., & Kosanke, C. (2021, January 8). *Tapping into the Transformative Power of Service 4.0*. BCG Global.  
<https://www.bcg.com/publications/2016/tapping-into-the-transformative-power-of-service-4>
- Ribeirinho, M. J., Mischke, J., Strube, G., Sjödin, E., Anderson, T., Blanco, J. L., Palter, R., & Rockhill, D. (2020). *The next normal in construction: How disruption is reshaping the world's largest ecosystem*. McKinsey & Company.  
<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-next-normal-in-construction-how-disruption-is-reshaping-the-worlds-largest-ecosystem>
- Rocha, C. F., Mamédio, D. F., & Quandt, C. O. (2019). Startups and the innovation ecosystem in Industry 4.0. *Technology Analysis & Strategic Management*, 31(12), 1474–1487. <https://doi.org/10.1080/09537325.2019.1628938>
- Saldaña, J. M. (2013). *The Coding Manual for Qualitative Researchers* (Edición: Second). SAGE Publications Ltd.
- Sávio, L., & Aguiar, M. (2021). *Indústria 4.0 no Brasil: Cenário e perspectivas* (p. 21). KPMG Consultoria Ltda.  
<https://home.kpmg/br/pt/home/insights/2021/07/industria-4-0.html>
- Sawhney, A., Riley, M., & Irizarry, J. (2020). *Construction 4.0: An Innovation Platform for the Built Environment*. Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780429398100>
- Schroeck, M., Kwan, A., Kawamura, J., Stefanita, C., & Sharma, D. (2019). *Digital industrial transformation—Reinventing to win in industry* (p. 12). Deloitte Touche Tohmatsu Limited.  
<https://www2.deloitte.com/xe/en/insights/focus/industry-4-0/digital-industrial-transformation-industrial-internet-of-things.html>
- Schwab, K., & Zahidi, S. (2020). *The Future of Jobs Report 2020* (p. 163). World Economic Forum. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020/>
- Schwab, O., & Buehler, M. M. (2018). *Shaping the Future of Construction: Future Scenarios and Implications for the Industry*. The Boston Consulting Group Inc. <https://www.weforum.org/reports/future-scenarios-and-implications-for-the-industry/>
- Singh, A., Kumar, V., Verma, P., & Kandasamy, J. (2023). Identification and severity assessment of challenges in the adoption of industry 4.0 in Indian construction industry. *Asia Pacific Management Review*, 28(3), 299–315.  
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2022.10.007>
- Souza, R. de, Filippi, G. A. de, Hino, M., Lazzarini, R., Oliveira, W., Tschiptschin, M., & Menezes, M. (2022). *Tendências da Construção Civil para 2022* (p. 46). <https://materiais.cte.com.br/cte-e-book-tendencias-da-construcao-civil-2022>

- Tamvada, J. P., Narula, S., Audretsch, D., Puppala, H., & Kumar, A. (2022). Adopting new technology is a distant dream? The risks of implementing Industry 4.0 in emerging economy SMEs. *Technological Forecasting and Social Change*, 185, 122088. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122088>
- Turner, C., Oyekan, J., & Stergioulas, L. K. (2021). Distributed Manufacturing: A New Digital Framework for Sustainable Modular Construction. *Sustainability*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/su13031515>
- WEF. (2019). *HR4.0: Shaping People Strategies in the Fourth Industrial Revolution* (p. 38). World Economic Forum. <https://www.weforum.org/reports/hr4-0-shaping-people-strategies-in-the-fourth-industrial-revolution/>
- WEF. (2020a). *New Paradigm for Business of Data* (p. 24). World Economic Forum. <https://www.weforum.org/reports/new-paradigm-for-business-of-data/>
- WEF. (2020b). *The Fourth Industrial Revolution: At the intersection of readiness and responsibility*. Deloitte Touche Tohmatsu Limited. <https://www2.deloitte.com/ch/en/pages/risk/articles/industry-4-0-intersection-of-readiness-and-responsibility.html>
- Wei, C., & Li, Y. (2011). Design of energy consumption monitoring and energy-saving management system of intelligent building based on the Internet of things. *2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)*, 3650–3652. <https://doi.org/10.1109/ICECC.2011.6066758>
- Weir, A., Grunewald, S., Schecker, Y., Grönloh, H., Williams, G., Virgo, N., Burns, L., Li, J., Chemouny, R., Volckens, H., Patel, C., Kato, J., Mehta, S., Kreemer, P., Hong Beng, T., & Pyle, A. (2020). *Real estate in the new reality* (p. 20). KPMG International. <https://home.kpmg/pt/en/home/insights/2020/08/real-estate-in-the-new-reality.html>
- Weir, A., Pyle, A., & Grunewald, S. (2019). *Is your digital future in the right hands? An annual review of the real estate industry's journey into the digital age* (KPMG Global PropTech Survey Global PropTech Survey 2019; p. 36). KPMG International. <https://home.kpmg/es/es/home/tendencias/2019/11/is-your-digital-future-in-the-right-hands.html>
- Zhdaneev, O. V., Korenev, V. V., & Lyadov, A. S. (2020). Opportunities and Challenges to Deploy Industry 4.0 Technologies in the Russian Oil Refining and Petrochemical Industries. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 93(12), 1926–1930. <https://doi.org/10.1134/S1070427220120150>
- Zimmermann, J. (2022). *Caracterização das fontes de vantagem competitiva vinculadas com a Construção 4.0* [TCC (graduação), Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia Civil]. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/243179>