

BIM Research Trends in the Americas: A Systematic Literature Review

Harold Gaspar Cano Condori¹ 

¹Universidad Continental, Perú, hcano@continental.edu.pe

Abstract: *The objective of this review is to thoroughly examine the characteristics of research related to BIM (Building Information Modeling) in the Americas over the past five years. Two classifications were used for this purpose: the first divided the articles into theoretical and application-based studies, while the second classification considered 12 categories. These categories were established based on the clustering of the main topics and trends identified, using a clustering analysis. The search and selection of articles were conducted using the SCOPUS database and the PRISMA methodology. The findings revealed that the most researched topics in the Americas related to the BIM methodology are “data integration” studies, which aim to incorporate complementary information into BIM, such as climate data, virtual reality, and others, and “specific projects,” which focus on the specific applications of BIM in case studies. These categories represent 23.88% and 16.42% of the total, respectively. In third place, the category “people” was identified, which includes research evaluating the human factor, accounting for 13.43% of the total.*

Keywords: *BIM, Americas, research, trends, construction*

Tendencias de la investigación BIM en América: Una revisión sistemática de la literatura

Harold Gaspar Cano Condori¹ 

¹Universidad Continental, Perú, hcano@continental.edu.pe

Resumen: El objetivo de esta revisión es conocer en detalle las características de la investigación relacionada con BIM (Building Information Modeling) en el continente americano en los últimos 5 años, para ello se trabajaron dos clasificaciones, la primera dividió los artículos en teóricos y en artículos de aplicación, la segunda clasificación tomó en cuenta 12 categorías, estas categorías fueron obtenidas en base al agrupamiento de los principales temas y tendencias encontrados, para esto se hizo un análisis de agrupamientos, la búsqueda y selección de los artículos considero la base de datos SCOPUS y la metodología PRISMA, se encontró que los temas más investigados en el continente americano y relacionados con la metodología BIM son las investigaciones del tipo “integración de datos” que buscan incluir en BIM información complementaria como datos de tipo climático, realidad virtual, entre otros y la de tipo “proyectos específicos” que considera aplicaciones específicas de BIM en casos de estudio, ambas categorías representan el 23.88% y 16.42% del total respectivamente, en tercer lugar se identificó a la categoría “personas” que toma en cuenta investigaciones que evalúan el factor humano con el 13.43% del total.

Palabras clave: BIM, América, investigación, tendencias, construcción

I. INTRODUCCIÓN

Building Information Modeling (BIM) es una herramienta que centraliza y gestiona la información de los proyectos de construcción mediante el desarrollo de modelos y gemelos digitales, su implementación ha revolucionado la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC, por sus siglas en inglés: Architecture, Engineering, and Construction) [1].

La adopción e implementación de BIM, tiene una serie de ventajas, [2], [3] y [4], hay evidencia de que las innovaciones BIM, pueden mejorar la gestión de residuos en la construcción. También se hace referencia al ahorro de costos y plazos informando que el 75% de quienes adoptan BIM tienen retornos de inversión positivos [5].

A pesar de sus conocidas ventajas, la adopción e implementación de BIM no es uniforme en todos los países. Mientras que en algunos de ellos las fases de implementación están en etapas tempranas, en otros se está normando ya la obligatoriedad del uso de BIM en el sector público [6].

En el caso del Reyno Unido, BIM es obligatorio para todos los proyectos públicos, en Alemania, BIM es obligatorio para proyectos que superan los 100 millones de euros desde el año 2017 y en España, BIM es obligatorio para proyectos que superan los 2 millones de euros desde el año 2018[6].

En Latinoamérica esta adopción e implementación esta aun en proceso y aunque varios países de la región como Chile, Brasil y Perú tienen planes para esta implementación como son “Planbim”, “BIM-BR” y “Plan BIM” respectivamente, algunos países de la región como Paraguay tienen aún avances incipientes[7].

Está claro entonces que a pesar del incremento del uso de BIM en países desarrollados, la adopción de esta tecnología en países en vías de desarrollo aun es baja [4]. Esta diferencia en la adopción de BIM se ve afectada por distintos factores como el sector público, el privado y el académico [7][4], esta investigación está enfocada en este último.

En ese sentido y dado el interés que tiene la academia sobre la implementación e investigación BIM en los paises en desarrollo [4] [8], es fundamental comprender el estado actual de la investigación relacionada con BIM en el continente americano. Esto implica identificar los aspectos de BIM que han recibido mayor atención en los últimos cinco años, analizar las tendencias actuales y determinar qué países han mostrado un mayor interés y desarrollo en este ámbito. Obtener esta perspectiva permitirá una visión más clara y completa sobre el impacto y el avance de BIM en la región.

II. METODOLOGÍA

Para la búsqueda y selección de los artículos en esta revisión fue tomada en cuenta la última declaración Prisma (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) [9], en base a ella se pudo tener un registro transparente de los pasos que se detallan en la Fig. 1.

En la etapa de identificación, se buscó publicaciones en la base de datos de SCOPUS teniendo en cuenta los siguientes terminos: "BIM implementation", "Building Information Modeling implementation", "adoption of BIM", "use of BIM", "BIM application", "BIM case study", "BIM practices", "BIM in practice", "BIM projects", "Building Information Modeling applications", con la combinación de estos términos en ecuaciones de búsqueda se obtuvieron un total de 2574 investigaciones.

En la etapa de cribado, se descartaron aquellos artículos que no cumplían con los siguientes requisitos: haber sido publicada entre 2020 y 2025, estar comprendido en las áreas de estudio de: ingeniería, ciencias de los materiales, gestión, energía y ciencias de la decisión; se consideraron únicamente

artículos originales, dejando de lado otro tipo de publicaciones, en cuanto a la distribución geográfica, se tuvieron únicamente artículos relacionados al continente americano. Luego de considerar estos criterios, se obtuvo un total de 87 estudios. En la tabla I se puede verificar el listado de los criterios de inclusión de este artículo.

TABLA I
 CRITERIOS DE INCLUSION

C1	El artículo está relacionado a la implementación o investigación de BIM en general.
C2	El artículo es un artículo original, no de revisión, ni otros similares.
C3	El artículo fue publicado entre los años 2020 y 2025.
C4	El artículo está disponible en su versión completa (Open access).
C5	El artículo contiene entre sus palabras clave las descritas anteriormente.
C6	El artículo es de áreas afines a la construcción, ingeniería y Arquitectura.
c7	El artículo considera la participación de uno o más investigadores del continente americano.

Luego de la recuperación de estas 87 investigaciones y en esta misma etapa, se descartaron 10 por no ser de acceso abierto (open access), 9 por ser paper review y 1 por ser de un tema distinto al aquí considerado.

Finalmente, en la etapa de inclusión se obtuvieron un total de 67 artículos.

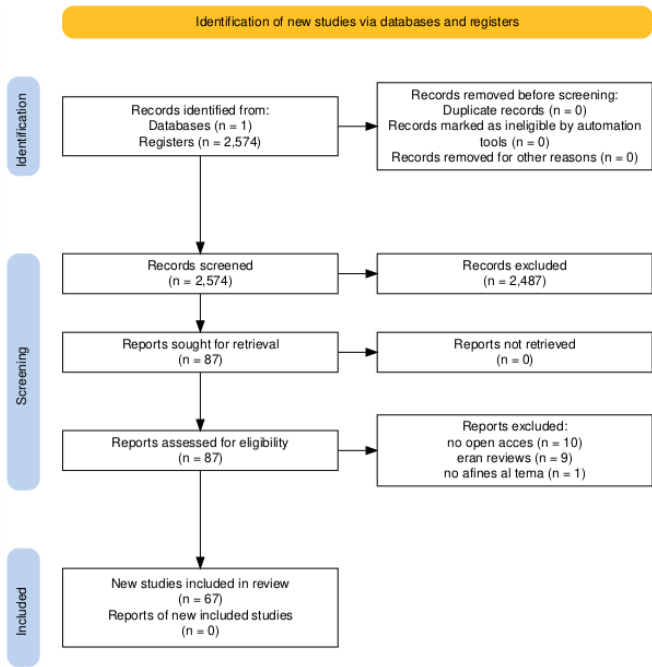


Fig. 1 Diagrama de flujo PRISMA [9]

III. RESULTADOS

En la tabla II se muestran los autores, títulos y números de citas de los 67 artículos en base a los cuales se detallan los resultados de esta revisión.

TABLA II
 PUBLICACIONES SELECCIONADAS

Autor	Publicación	citas
Foster et al. 2023[10]	Compatibility of Sustainable Facility Management and Building Information Modeling Applications: The Role of Naming Conventions	1
Azevedo et al. 2021[11]	Development of BIM (building information modeling) concept applied to projects of Substations integrated with the geographic intelligence system	1
Haider et al. 2020[12]	Cost comparison of a building project by manual and BIM	17
Ly et al. 2024[13]	Critical Risk Factors of Stakeholder Collaboration Impacting BIM Implementation in High-Rise Residential Building Projects Under the DBB System: A Delphi Survey	0
Schery et al. 2023[14]	BIM critical factors and benefits for public sector: from a systematic review to an empirical fuzzy multicriteria approach	5
Atencio et al. 2024[15]	Integrating Web-Based Weather Data into Building Information Modeling Models through Robot Process Automation	0
Zadeh et al. 2023[16]	Exploring BIM Implementation Challenges in Complex Renovation Projects: A Case Study of UBC's BRDF Expansion	2
Morales et al. 2022[17]	Potential Application of BIM in RFI in Building Projects	10
Cavieres-Lagos et al. 2024[18]	Integration of BIM Tools for the Facility Management of Railway Bridges	0
Liu et al. 2024[19]	BIM-based building performance assessment of green buildings - A case study from China	8
Hochscheid et al. 2023[20]	Practitioners' Concerns about Their Liability toward BIM Collaborative Digital Mockups: Case Study in Civil Engineering	5
Stride et al. 2020[21]	The use of building information modelling by quantity surveyors in facilities management roles	15
Alizadehsalehi et al. 2021[22]	Assessment of AEC students' performance using BIM-into-VR	56
Lee et al. 2020[23]	Practical analysis of BIM tasks for modular construction projects in South Korea	11

Lee et al. 2021[24]	Rules and validation processes for interoperable BIM data exchange	31
Adel et al. 2022[25]	Integration of Building Information Modeling (BIM) and Virtual Design and Construction (VDC) with Stick-Built Construction to Implement Digital Construction: A Canadian General Contractor's Perspective	9
Edirisinghe et al. 2021[26]	An actor–network approach to developing a life cycle bim maturity model (Lcbmm)	14
Rojas et al. 2023[27]	IDM for the Conceptual Evaluation Process of Industrialized Timber Projects	1
Osorio-Sandoval et al. 2022[28]	Framework for BIM-Based Simulation of Construction Operations Implemented in a Game Engine	7
Radončić et al. 2021[29]	Designing a state-of-the-art monitoring system in challenging operating conditions	1
Ren et al. 2021[30]	A New Framework to Address BIM Interoperability in the AEC Domain from Technical and Process Dimensions	30
Colmenero et al. 2024[31]	Sustainable Built Environments: Building Information Modeling, Biomaterials, and Regenerative Practices in Mexico	4
Carvalho et al. 2021[32]	Assessing life cycle environmental and economic impacts of building construction solutions with BIM	32
Zhang et al. 2023[33]	Development of a BIM-Enabled Automated Cost Segregation System	1
Forcael et al. 2020[34]	Behavior and performance of bim users in a collaborative work environment	17
Hasanain et al. 2022[35]	BIM-based model for sustainable built environment in Saudi Arabia	12
Avendaño et al. 2022[36]	Integration of BIM in Steel Building Projects (BIM-DFE): A Delphi Survey	4
Pavón et al. 2021[37]	Use of bim-fm to transform large conventional public buildings into efficient and smart sustainable buildings	23
Godes et al. 2024[38]	Optimizing Evacuation Efficiency in Buildings: A BIM-Based Automated Approach to Sustainable Design	0
Rajabi et al. 2022[39]	Underlying Factors and Strategies for Organizational BIM Capabilities: The Case of Iran	32
Waqar et al. 2024[40]	Examining the impact of BIM implementation on external environment of AEC industry: A PEST analysis perspective	10
Alzarrad et al. 2021[41]	4D BIM Simulation Guideline for Construction Visualization and Analysis of Renovation Projects: A Case Study	9
Li et al. 2020[42]	Improving tolerance control on modular construction project with 3d laser scanning and bim: A case study of removable floodwall project	46
Castañeda et al. 2021[43]	BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design	31
Zhang et al. 2020[44]	Measuring value-added-oriented bim climate in construction projects: Dimensions and indicators	4
Cuellar et al. 2021[45]	Building Information Modelling- (BIM-) Based Generative Design for Drywall Installation Planning in Prefabricated Construction	15
Karaz et al. 2024[46]	Mitigating Making-Do Practices Using the Last Planner System and BIM: A System Dynamic Analysis	0
Anderson et al. 2021[47]	A socio-technical intervention in bim projects - An experimental study in global virtual teams	8
Dos et al. 2023[48]	Compatibility of design through BIM methodology	0
Mahmoud et al. 2022[49]	Barriers, Strategies, and Best Practices for BIM Adoption in Quebec Prefabrication Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs)	25
Silva et al. 2022[50]	Guidelines for the Implementation of BIM for Post-Occupancy Management of Social Housing in Brazil	3
Lee et al. 2023[51]	a parametric approach towards semi-automated 3d as-built modeling	4
Arrotéia et al. 2021[52]	Barriers to BIM Adoption in Brazil	34
Belay et al. 2021[53]	Enhancing BIM implementation in the Ethiopian public construction sector: An empirical study	28
Liu et al. 2024[54]	HVAC Design Optimization for Pharmaceutical Facilities with BIM and CFD	2
Singh et al. 2020[55]	System Identification-Enhanced Visualization Tool for Infrastructure Monitoring and Maintenance	27
Bahreini et al. 2024[56]	Ontology for BIM-Based Robotic Navigation and Inspection Tasks	1
Omer et al. 2022[57]	Constructive and Destructive Leadership Behaviors, Skills, Styles and Traits in BIM-Based Construction Projects	34
Uz et al. 2024[58]	integration of bim data and real-time game engine applications: case studies in construction safety management	0
Paneru et al. 2023[59]	An Exploratory Investigation of Implementation of Building Information Modeling in Nepalese Architecture–Engineering–Construction Industry	8
Pishdad et al. 2024[60]	analysis of 5d bim for cost estimation, cost control, and payments	0
De Assis et al. 2023[61]	Requirements for BIM implementation in AEC companies: a Brazilian case study	1
De Paula et al. 2022[62]	Sources of Challenges for Sustainability in the Building Design—The Relationship between Designers and Clients	4
Kang et al. 2020[63]	Rule-based scan-to-BIM mapping pipeline in the plumbing system	13

Baldauf et al. 2020 [64]	Using building information modelling to manage client requirements in social housing projects	18
Tran et al. 2023[65]	A Human Detection Approach for Intrusion in Hazardous Areas Using 4D-BIM-Based Spatial-Temporal Analysis and Computer Vision	5
Belay et al. 2021[66]	Comparison of BIM Adoption Models between Public and Private Sectors through Empirical Investigation	5
Rivera et al. 2024[67]	Consequences in cost and time in construction projects due to the low level of BIM methodology use; [Consecuencias en el costo y plazo de proyectos de construcción debido al bajo nivel de uso de la metodología BIM]	0
Vaz et al. 2024 [68]	Building Information Modeling/Building Energy Simulation Integration Based on Quantitative and Interpretative Interoperability Analysis	1
Jangam et al. 2024[69]	A BIM-Based Approach for Assessing Occupational Health Risks in a Building Construction Project	0
Ji et al. 2023[70]	The Effect of Personal Characteristics on Spatial Perception in BIM-Based Virtual Environments: Age, Gender, Education, and Gaming Experience	1
Majzoub et al. 2021[71]	Probability of winning the tender when proposing using bim strategy: A case study in saudi arabia	13
Ozcan-Deniz et al. 2023[72]	Building Information Modeling (BIM) Implementation in Public–Private Partnership (PPP) Projects †	0
Belay et al. 2021[73]	Key BIM Adoption Drivers to Improve Performance of Infrastructure Projects in the Ethiopian Construction Sector: A Structural Equation Modeling Approach	6
Michaud et al. 2021[74]	A taxonomy of sources of waste in bim information flows	4
Asgari et al. 2021[75]	A multi-criteria optimization study for locating industrial warehouses with the integration of BIM and GIS data	18
Sanchís-Pedregosa et al. 2020[76]	Bim: A technology acceptance model in Peru	31

A. Resultados del Estudio Bibliométrico

La evolución del número de publicaciones y el número de citas se muestran en las Fig. 2 y 3, si no tomamos en cuenta el aumento en la cantidad de publicaciones en 2021, podremos afirmar que en los últimos 5 años ha habido un incremento sostenido en las publicaciones relacionadas a BIM en América.

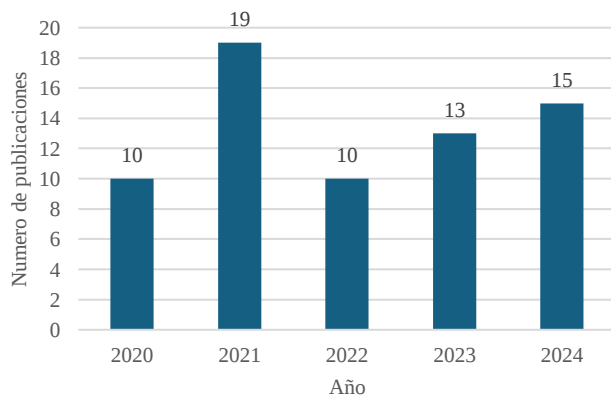


Fig. 2 Numero de publicaciones por año.

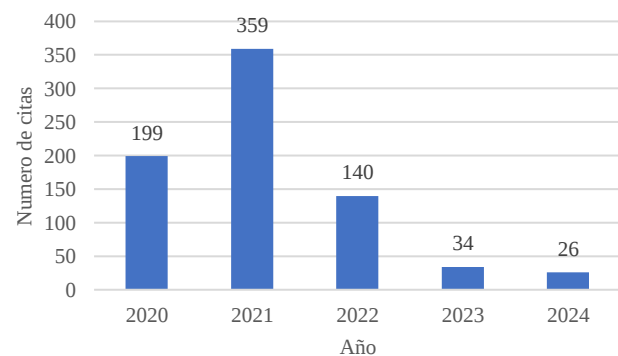


Fig. 3 Numero de citas por año.

Por otro lado, el descenso en el número de citas según pasan los años es coherente, puesto que se espera que tenga que pasar cierto tiempo antes que una publicación sea revisada y citada.

La Fig. 4 muestra la distribución de publicaciones en los países del continente americano en los que se ha encontrado artículos relacionados a la implementación y adopción de BIM, se puede apreciar que el país que más publicaciones ha tenido es Estados Unidos con un total de 31 artículos y 417 citas, en Sudamérica Chile es uno de los países que más ha investigado sobre el tema, con un total de 6 publicaciones y 32 citas después de Brasil que es el primero con 14 artículos y 121 citas, la distribución geográfica de estos resultados está en línea con lo mencionado por [7], estudio en el que se menciona que varios de los países aquí listados tienen ya un plan para la implementación de BIM.

Los artículos de esta revisión se clasificaron inicialmente en *teóricos* y artículo de *aplicación*. Se consideraron como *teóricos* aquellos que fueron formulados en base a encuestas, entrevistas y análisis documentales, mientras que los de *aplicación* contemplaron el modelado o aplicación de la metodología BIM en entornos reales o simulados, en base a esta diferenciación se muestra la Fig. 7, en la que se puede ver que Brasil ha desarrollado 5 investigaciones teóricas y 6 de aplicación.

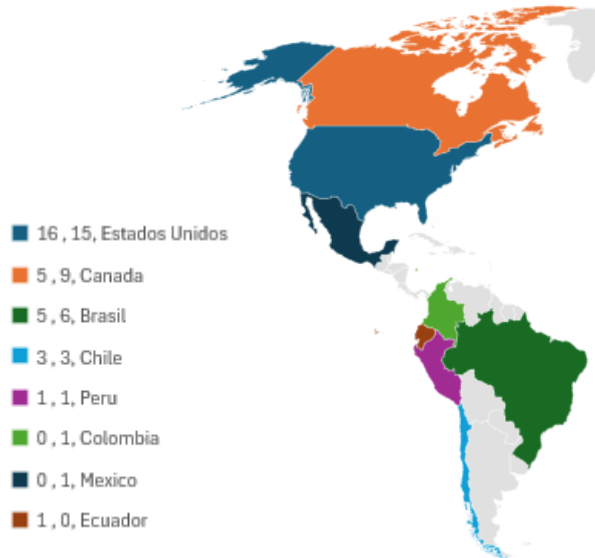


Fig. 7 Número de artículos teóricos y de aplicación por país.

Con el fin de tener más claridad sobre los temas más investigados y teniendo como referencia el análisis de agrupamientos de la Fig. 6, se clasificaron las investigaciones de manera más detallada, se agruparon artículos que trataron sobre:

gestión y mantenimiento: aquí se consideraron estudios que tomaron en cuenta la gestión de edificios, mantenimiento de subestaciones de energía eléctrica, licitaciones, mantenimiento de infraestructura ferroviaria [10], [11], [13], [14] y [18] están en esta categoría.

Costo: incluye artículos relacionados a la optimización en el cálculo de cantidades de obra, gestión de presupuestos o el control dinámico del costo de una construcción [12], [33], [60].

Integración de datos: considera la adición de información a la metodología de BIM ya establecida, entre ellos están los datos climáticos, consultas RFI, datos de realidad virtual, VDC, ciclo de vida del proyecto, impacto ambiental, sistema last planner, datos de compatibilidad, información as built, monitoreo estructural, BES (simulación energética), Gis y análisis multicriterio [15], [17], [22], [24], [25], [26], [30], [32], [35], [46], [48], [51], [55], [68], [74], [75].

Proyectos específicos: toma en cuenta la aplicación de BIM a proyectos específicos como proyectos de renovación, construcción modular, madera industrializada, trenes subterráneos, construcción en acero, muros contra

inundaciones, edificaciones prefabricadas, sistemas de calefacción y redes de tuberías[16], [23], [27], [29], [36], [41], [42], [45], [49], [54], [63].

Ecología y sostenibilidad: abarca investigaciones que tienen como tema principal los edificios ecológicos y la inclusión en el proceso BIM de materiales reciclados o biomateriales[19], [31].

Personas: comprende artículos que toman en cuenta el factor humano como centro de sus investigaciones, aquí los investigadores quisieron conocer el punto de vista de los profesionales que usan BIM, sus perspectivas, comportamiento, capacidad organizativa, clima organizacional, interacción entre equipos multinacionales, perfiles de liderazgo y relaciones diseñador-cliente [20], [21], [34], [39], [40], [44], [47], [57], [62].

Simulaciones: agrupa estudios que combinaron BIM con la simulación realista usando motores de juegos para describir gráficamente ciertos eventos de los proyectos, como incidentes de seguridad, vías de evacuación, esto incluye también simulaciones de probabilidad de obtener licitaciones.[28], [58], [70], [71].

Transformación: considera la adecuación/conversión de edificios existentes antiguos a edificios inteligentes usando BIM[37].

Seguridad: incorpora la supervisión y detección de intrusiones en áreas peligrosas, salud ocupacional y evacuación[38], [56], [65], [69].

Vial: toma en cuenta estudios que tratan sobre la intersecciones y modelado de carreteras [43].

Vivienda social: trata sobre el modelado y la gestión de requisitos para la obtención de vivienda social.[50], [64].

Adopción de BIM: es una categoría que incluye estudios relacionados a la adopción de BIM en distintos países, considerando las barreras u oportunidades de casos específicos, así como el estudio de las consecuencias de no adoptar esta metodología [52], [53], [59], [61], [66], [67], [72], [73], [76].

En base a clasificación descrita, se muestra la Fig. 8, en la que se puede ver que el país que más categorías ha investigado es Estados Unidos, este ha abarcado casi el total de las categorías, exceptuando ecología y sostenibilidad, transformación, vial y vivienda social, en las que no ha tenido publicaciones, en este país las categorías más estudiadas fueron integración de datos y personas, cada una con 6 artículos. En Sudamérica los países que más categorías han estudiado son Brasil y Chile, la categoría más estudiada en Brasil ha sido la de integración de datos con 4 publicaciones, así como en Chile con 2, en este último país también predominó la categoría proyectos específicos también con 2 publicaciones

A nivel sudamericano la categoría más estudiada fue la de integración de datos con 6 publicaciones, seguida por la de adopción BIM con 4 y gestión y mantenimiento en tercer lugar con 3. Mientras que a nivel norteamericano la categoría más estudiada también fue la de integración de datos con 10

publicaciones seguida de proyectos específicos con 9 y personas con 7.

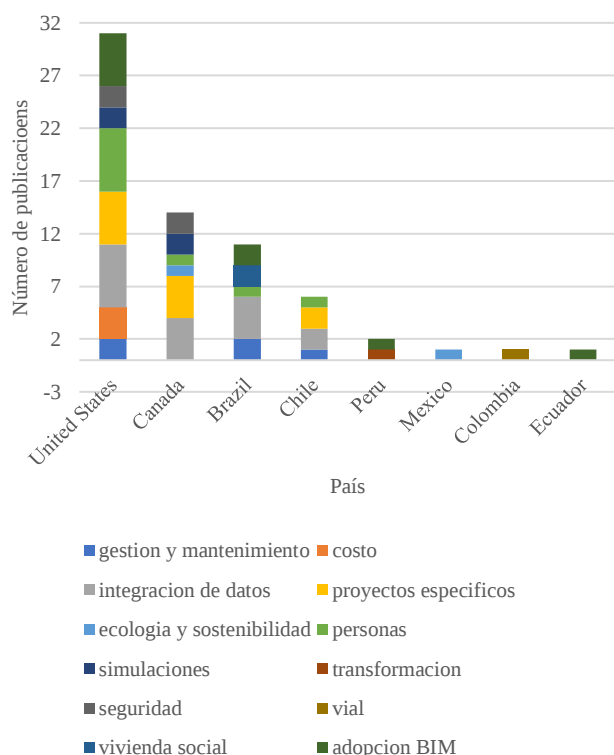


Fig. 8 Principales categorías estudiadas en cada país

III. CONCLUSIONES

La evidencia obtenida sugiere una fuerte relación entre el dinamismo del ámbito académico (número de publicaciones) en una determinada región y los esfuerzos para la implementación de BIM. Estados Unidos, Canadá, Brasil y Chile son los países que más han investigado sobre BIM en los últimos 5 años, con porcentajes de 46.27%, 20.89%, 16.42% y 8.9% del total, respectivamente, estos resultados se ven respaldados para los países sudamericanos por el estudio llevado a cabo por el banco de desarrollo de América Latina en 2023[7].

En el continente americano las investigaciones relacionadas con BIM han mantenido un cierto equilibrio entre investigaciones teóricas con 31 artículos y aplicadas con 36, representando ambas 46.27% y 53.73% del total respectivamente.

Las investigaciones del tipo *integración de datos* y *proyectos específicos*, son las más numerosas en el continente americano, representando el 23.88% y 16.42% del total respectivamente.

Se considera positivo que gran parte de la investigación 13.43% del total, este orientada a evaluar, medir y considerar el factor humano como parte de la metodología BIM en el continente.

Aunque el número de publicaciones e impacto puede ser considerado como un indicador del grado de implementación de BIM en un determinado país, no se descarta que este enfoque pueda mejorarse al considerar la influencia de otras variables como número de habitantes entre otras.

REFERENCIAS

- [1] J. Wangchuk, S. Banihashemi, H. Abbasianjahromi, and M. F. Antwi-Afari, "Building Information Modelling in Hydropower Infrastructures: Design, Engineering and Management Perspectives," Jul. 01, 2024, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/infrastructures9070098.
- [2] O. O. Akinade et al., "Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment," J Clean Prod, vol. 180, pp. 375–385, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.022.
- [3] J. Won, J. C. P. Cheng, and G. Lee, "Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea," Waste Management, vol. 49, pp. 170–180, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.wasman.2015.12.026.
- [4] B. Ariono, M. Wasesa, and W. Dhewanto, "The Drivers, Barriers, and Enablers of Building Information Modeling (BIM) Innovation in Developing Countries: Insights from Systematic Literature Review and Comparative Analysis," Nov. 01, 2022, MDPI. doi: 10.3390/buildings12111912.
- [5] R. Agarwal, S. Chandrasekaran, and M. Sridhar, "Imagining construction's digital future."
- [6] A. S. Borkowski, W. Drozd, and K. Zima, "The Status of the Implementation of the Building Information Modeling Mandate in Poland: A Literature Review," Oct. 01, 2024, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/ijgi13100343.
- [7] A. De Bim En, A. Latina, and Y. El Caribe, PANORAMA GENERAL DEL. 2023. [Online]. Available: www.maiocchpublicidad.es
- [8] T. Umar, "Challenges of BIM implementation in GCC construction industry," Engineering, Construction and Architectural Management, vol. 29, no. 3, pp. 1139–1168, Mar. 2022, doi: 10.1108/ECAM-11-2019-0608.
- [9] N. R. Haddaway, M. J. Page, C. C. Pritchard, and L. A. McGuinness, "PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis," Campbell Systematic Reviews, vol. 18, no. 2, Jun. 2022, doi: 10.1002/cl2.1230.
- [10] J. D. Foster, J. W. Everett, and W. T. Riddell, "Compatibility of Sustainable Facility Management and Building Information Modeling Applications: The Role of Naming Conventions," Sustainability (Switzerland), vol. 15, no. 2, Jan. 2023, doi: 10.3390/su15021482.
- [11] D. M. Azevedo et al., "Development of BIM (building information modeling) concept applied to projects of Substations integrated with the geographic intelligence system," WSEAS Transactions on Power Systems, vol. 16, pp. 1–7, 2021, doi: 10.37394/232016.2021.16.1.
- [12] U. Haider, U. Khan, A. Nazir, and M. Humayon, "Cost comparison of a building project by manual and BIM," Civil Engineering Journal (Iran), vol. 6, no. 1, pp. 34–49, Jan. 2020, doi: 10.28991/cej-2020-03091451.
- [13] D. H. Ly, H. Moon, H. Shin, and Y. Ahn, "Critical Risk Factors of Stakeholder Collaboration Impacting BIM Implementation in High-Rise Residential Building Projects Under the DBB System: A Delphi Survey," Advances in Civil Engineering, vol. 2024, 2024, doi: 10.1155/2024/9888982.
- [14] C. A. D. Schery et al., "BIM critical factors and benefits for public sector: from a systematic review to an empirical fuzzy multicriteria approach," Brazilian Journal of Operations and Production Management, vol. 20, no. 3, Aug. 2023, doi: 10.14488/BJOPM.1837.2023.
- [15] E. Atencio, F. Lozano, I. Alfaro, J. A. Lozano-Galant, and F. Muñoz-La Rivera, "Integrating Web-Based Weather Data into Building Information Modeling Models through Robot Process Automation," Applied Sciences (Switzerland), vol. 14, no. 19, Oct. 2024, doi: 10.3390/app14199109.
- [16] P. A. Zadeh, S. Han, and S. Staub-French, "Exploring BIM Implementation Challenges in Complex Renovation Projects: A Case Study of UBC's

- BRDF Expansion,” *Applied Sciences* (Switzerland), vol. 13, no. 23, Dec. 2023, doi: 10.3390/app132312563.
- [17] F. Morales, R. F. Herrera, F. M. La Rivera, E. Atencio, and M. Nuñez, “Potential Application of BIM in RFI in Building Projects,” *Buildings*, vol. 12, no. 2, Feb. 2022, doi: 10.3390/buildings12020145.
- [18] S. Cavieres-Lagos, F. Muñoz La Rivera, E. Atencio, and R. F. Herrera, “Integration of BIM Tools for the Facility Management of Railway Bridges,” *Applied Sciences* (Switzerland), vol. 14, no. 14, Jul. 2024, doi: 10.3390/app14146209.
- [19] Y. Liu, W. Pedrycz, M. Deveci, and Z. S. Chen, “BIM-based building performance assessment of green buildings - A case study from China,” *Appl Energy*, vol. 373, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.123977.
- [20] E. Hochscheid, M. Falardeau, J. Lapalme, C. Botton, and L. Rivest, “Practitioners’ Concerns about Their Liability toward BIM Collaborative Digital Mockups: Case Study in Civil Engineering,” *J Constr Eng Manag*, vol. 149, no. 9, Sep. 2023, doi: 10.1061/jcemd4.coeng-12764.
- [21] M. Stride, C. K. H. Hon, R. Liu, and B. Xia, “The use of building information modelling by quantity surveyors in facilities management roles,” *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 27, no. 8, pp. 1795–1812, Oct. 2020, doi: 10.1108/ECAM-11-2019-0660.
- [22] S. Alizadehsalehi, A. Hadavi, and J. C. Huang, “Assessment of AEC students’ performance using BIM-into-VR,” *Applied Sciences* (Switzerland), vol. 11, no. 7, Apr. 2021, doi: 10.3390/app11073225.
- [23] M. Lee, D. Lee, T. Kim, and U. K. Lee, “Practical analysis of BIM tasks for modular construction projects in South Korea,” *Sustainability* (Switzerland), vol. 12, no. 17, Sep. 2020, doi: 10.3390/SU12176900.
- [24] Y. C. Lee, C. M. Eastman, and W. Solihin, “Rules and validation processes for interoperable BIM data exchange,” *J Comput Des Eng*, vol. 8, no. 1, pp. 97–114, Feb. 2021, doi: 10.1093/jcde/qwaa064.
- [25] M. Adel, Z. Cheng, and Z. Lei, “Integration of Building Information Modeling (BIM) and Virtual Design and Construction (VDC) with Stick-Built Construction to Implement Digital Construction: A Canadian General Contractor’s Perspective,” *Buildings*, vol. 12, no. 9, Sep. 2022, doi: 10.3390/buildings12091337.
- [26] R. Edirisinghe, Z. Pablo, C. Anumba, and S. Tereno, “An actor–network approach to developing a life cycle bim maturity model (Lcbmm),” *Sustainability* (Switzerland), vol. 13, no. 23, Dec. 2021, doi: 10.3390/su132313273.
- [27] C. Rojas Wettling, C. Mourgues Alvarez, and P. Guindos Bretones, “IDM for the Conceptual Evaluation Process of Industrialized Timber Projects,” *Advances in Civil Engineering*, vol. 2023, 2023, doi: 10.1155/2023/9200255.
- [28] C. A. Osorio-Sandoval, W. Tizani, E. Pereira, J. Ninić, and C. Koch, “Framework for BIM-Based Simulation of Construction Operations Implemented in a Game Engine,” *Buildings*, vol. 12, no. 8, Aug. 2022, doi: 10.3390/buildings12081199.
- [29] N. Radončić, E. Sattlegger, X. Lacourse-Dontigny, and T. Mitsch, “Designing a state-of-the-art monitoring system in challenging operating conditions,” *Geomechanics and Tunnelbau*, vol. 14, no. 1, pp. 54–62, Feb. 2021, doi: 10.1002/geot.202000053.
- [30] R. Ren and J. Zhang, “A New Framework to Address BIM Interoperability in the AEC Domain from Technical and Process Dimensions,” *Advances in Civil Engineering*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/8824613.
- [31] F. Colmenero Fonseca, R. Rodríguez Pérez, J. Perlaza Rodríguez, J. F. Palomino Bernal, and J. Cárcel-Carrasco, “Sustainable Built Environments: Building Information Modeling, Biomaterials, and Regenerative Practices in Mexico,” *Buildings*, vol. 14, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.3390/buildings14010202.
- [32] J. P. Carvalho, F. S. Villaschi, and L. Bragança, “Assessing life cycle environmental and economic impacts of building construction solutions with BIM,” *Sustainability* (Switzerland), vol. 13, no. 16, Aug. 2021, doi: 10.3390/su13168914.
- [33] C. Zhang, D. Kumar, H. Li, R. Zhou, L. Lv, and J. Tian, “Development of a BIM-Enabled Automated Cost Segregation System,” *Buildings*, vol. 13, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.3390/buildings13071805.
- [34] E. Forcael, A. Martínez-Rocamora, J. Sepúlveda-Morales, R. García-Alvarado, A. Nope-Bernal, and F. Leighton, “Behavior and performance of bim users in a collaborative work environment,” *Applied Sciences* (Switzerland), vol. 10, no. 6, Mar. 2020, doi: 10.3390/app10062199.
- [35] F. A. Hasanain and N. O. Nawari, “BIM-based model for sustainable built environment in Saudi Arabia,” *Front Built Environ*, vol. 8, Nov. 2022, doi: 10.3389/fbuil.2022.950484.
- [36] J. I. Avendaño, S. Zlatanova, P. Pérez, A. Domingo, and C. Correa, “Integration of BIM in Steel Building Projects (BIM-DFE): A Delphi Survey,” *Buildings*, vol. 12, no. 9, Sep. 2022, doi: 10.3390/buildings12091439.
- [37] R. M. Pavón, M. G. Alberti, A. A. A. Álvarez, and I. Del Rosario Chiyón Carrasco, “Use of bim-fm to transform large conventional public buildings into efficient and smart sustainable buildings,” *Energies* (Basel), vol. 14, no. 11, Jun. 2021, doi: 10.3390/en14113127.
- [38] C. R. Godes, S. A. Rodrigazo, J. Cho, Y. Song, and J. Yeon, “Optimizing Evacuation Efficiency in Buildings: A BIM-Based Automated Approach to Sustainable Design,” *Sustainability* (Switzerland), vol. 16, no. 21, Nov. 2024, doi: 10.3390/su16219240.
- [39] M. S. Rajabi, M. Rezaeiashtiani, A. R. Radzi, A. Famili, A. Rezaeiashtiani, and R. A. Rahman, “Underlying Factors and Strategies for Organizational BIM Capabilities: The Case of Iran,” *Applied System Innovation*, vol. 5, no. 6, Dec. 2022, doi: 10.3390/asi5060109.
- [40] A. Waqar et al., “Examining the impact of BIM implementation on external environment of AEC industry: A PEST analysis perspective,” *Developments in the Built Environment*, vol. 17, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.dibe.2024.100347.
- [41] M. A. Alzarrad, G. P. Moynihan, A. Parajuli, and M. Mehra, “4D BIM Simulation Guideline for Construction Visualization and Analysis of Renovation Projects: A Case Study,” *Front Built Environ*, vol. 7, Mar. 2021, doi: 10.3389/fbuil.2021.617031.
- [42] H. Li, C. Zhang, S. Song, S. Demirkessen, and R. Chang, “Improving tolerance control on modular construction project with 3d laser scanning and bim: A case study of removable floodwall project,” *Applied Sciences* (Switzerland), vol. 10, no. 23, pp. 1–21, Dec. 2020, doi: 10.3390/app10238680.
- [43] K. Castañeda, O. Sánchez, R. F. Herrera, E. Pellicer, and H. Porras, “BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design,” *Autom Constr*, vol. 131, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103911.
- [44] L. Zhang, J. Yuan, N. Xia, Y. Ning, J. Ma, and M. J. Skibniewski, “Measuring value-added-oriented bim climate in construction projects: Dimensions and indicators,” *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 26, no. 8, pp. 800–818, Nov. 2020, doi: 10.3846/jcem.2020.13893.
- [45] J. D. Cuellar Lobo, Z. Lei, H. Liu, H. X. Li, and S. Han, “Building Information Modelling- (BIM-) Based Generative Design for Drywall Installation Planning in Prefabricated Construction,” *Advances in Civil Engineering*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/6638236.
- [46] M. Karaz, J. Manuel, C. Teixeira, and T. Gondim Do Amaral, “Practices Using the Last Planner System and BIM: A System Dynamic Mitigating Making-Do Practices Using the Last Planner System and BIM: A System Dynamic Analysis,” 2024, doi: 10.3390/buildings.
- [47] A. Anderson and S. Ramalingam, “A socio-technical intervention in bim projects - An experimental study in global virtual teams,” *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 26, pp. 489–504, Jul. 2021, doi: 10.36680/j.itcon.2021.026.
- [48] D. F. A. Dos Santos, M. E. C. Ferreira, and M. P. Ferreira, “Compatibility of design through BIM methodology,” *Revista Ingenieria de Construcción*, vol. 38, no. 1, pp. 80–89, 2023, doi: 10.7764/RIC.00053.21.
- [49] B. Ben Mahmoud, N. Lehoux, P. Blanchet, and C. Cloutier, “Barriers, Strategies, and Best Practices for BIM Adoption in Quebec Prefabrication Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs),” *Buildings*, vol. 12, no. 4, Apr. 2022, doi: 10.3390/buildings12040390.
- [50] M. C. da C. Silva et al., “Guidelines for the Implementation of BIM for Post-Occupancy Management of Social Housing in Brazil,” *Energies* (Basel), vol. 15, no. 18, Sep. 2022, doi: 10.3390/en15186802.
- [51] Y. C. Lee, J. W. Ma, and F. Leite, “A PARAMETRIC APPROACH TOWARDS SEMI-AUTOMATED 3D AS-BUILT MODELING,” *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 28, pp. 806–825, 2023, doi: 10.36680/j.itcon.2023.041.
- [52] A. V. Arrotéia, R. C. Freitas, and S. B. Melhado, “Barriers to BIM Adoption in Brazil,” *Front Built Environ*, vol. 7, Mar. 2021, doi: 10.3389/fbuil.2021.520154.

- [53] S. Belay, J. Goedert, A. Woldeesenbet, and S. Rokooei, "Enhancing BIM implementation in the Ethiopian public construction sector: An empirical study," *Cogent Eng.*, vol. 8, no. 1, 2021, doi: 10.1080/23311916.2021.1886476.
- [54] L. Liu and Y. Huang, "HVAC Design Optimization for Pharmaceutical Facilities with BIM and CFD," *Buildings*, vol. 14, no. 6, Jun. 2024, doi: 10.3390/buildings14061627.
- [55] P. Singh and A. Sadhu, "System Identification-Enhanced Visualization Tool for Infrastructure Monitoring and Maintenance," *Front Built Environ*, vol. 6, May 2020, doi: 10.3389/fbuil.2020.00076.
- [56] F. Bahreini, M. Nasrollahi, A. Taher, and A. Hammad, "Ontology for BIM-Based Robotic Navigation and Inspection Tasks," *Buildings*, vol. 14, no. 8, Aug. 2024, doi: 10.3390/buildings14082274.
- [57] M. M. Omer, N. M. A. Mohd-Ezazee, Y. S. Lee, M. S. Rajabi, and R. A. Rahman, "Constructive and Destructive Leadership Behaviors, Skills, Styles and Traits in BIM-Based Construction Projects," *Buildings*, vol. 12, no. 12, Dec. 2022, doi: 10.3390/buildings12122068.
- [58] A. A. Uz Zaman, A. Abdelaty, and H. R. Sobuz, "INTEGRATION OF BIM DATA AND REAL-TIME GAME ENGINE APPLICATIONS: CASE STUDIES IN CONSTRUCTION SAFETY MANAGEMENT," *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 29, pp. 117–140, 2024, doi: 10.36680/j.itcon.2024.007.
- [59] S. Paneru, P. Ghimire, A. Kandel, S. Thapa, N. Koirala, and M. Karki, "An Exploratory Investigation of Implementation of Building Information Modeling in Nepalese Architecture–Engineering–Construction Industry," *Buildings*, vol. 13, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.3390/buildings13020552.
- [60] P. Pishdad and I. O. Onungwa, "ANALYSIS OF 5D BIM FOR COST ESTIMATION, COST CONTROL, AND PAYMENTS," *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 29, pp. 525–548, 2024, doi: 10.36680/j.itcon.2024.024.
- [61] A. K. de Assis Santos Wanderley, A. C. Lordsleem, and J. H. A. Rocha, "Requirements for BIM implementation in AEC companies: a Brazilian case study," *Revista de la Construccion*, vol. 22, no. 2, pp. 455–473, 2023, doi: 10.7764/RDLC.22.2.455.
- [62] N. de Paula, L. K. Jyo, and S. B. Melhado, "Sources of Challenges for Sustainability in the Building Design—The Relationship between Designers and Clients," *Buildings*, vol. 12, no. 10, Oct. 2022, doi: 10.3390/buildings12101725.
- [63] T. Kang, S. Patil, K. Kang, D. Koo, and J. Kim, "Rule-based scan-to-BIM mapping pipeline in the plumbing system," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 21, pp. 1–17, Nov. 2020, doi: 10.3390/app10217422.
- [64] J. P. Baldauf, C. T. Formoso, P. Tzortzopoulos, L. I. G. Miron, and J. Soliman, "Using building information modelling to manage client requirements in social housing projects," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 7, Apr. 2020, doi: 10.3390/su12072804.
- [65] S. V. T. Tran et al., "A Human Detection Approach for Intrusion in Hazardous Areas Using 4D-BIM-Based Spatial-Temporal Analysis and Computer Vision," *Buildings*, vol. 13, no. 9, Sep. 2023, doi: 10.3390/buildings13092313.
- [66] S. Belay, J. Goedert, A. Woldeesenbet, and S. Rokooei, "Comparison of BIM Adoption Models between Public and Private Sectors through Empirical Investigation," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/5577654.
- [67] A. Rivera, S. Saigua, T. Castillo, A. Andrade, and A. Zárate, "Consequences in cost and time in construction projects due to the low level of BIM methodology use," *Revista Ingenieria de Construccion*, vol. 39, no. 2, pp. 151–160, 2024, doi: 10.7764/RIC.00107.21.
- [68] C. F. Vaz, L. L. de F. Guilherme, A. C. F. Maciel, A. L. De Araujo, B. B. F. Da Costa, and A. N. Haddad, "Building Information Modeling/Building Energy Simulation Integration Based on Quantitative and Interpretative Interoperability Analysis," *Infrastructures (Basel)*, vol. 9, no. 5, May 2024, doi: 10.3390/infrastructures9050084.
- [69] A. Jangam, D. Cheriyan, and J. H. Choi, "A BIM-Based Approach for Assessing Occupational Health Risks in a Building Construction Project," *Buildings*, vol. 14, no. 2, Feb. 2024, doi: 10.3390/buildings14020476.
- [70] B. Ji, J. Kang, C. Kim, S. Kim, Y. Song, and J. Yeon, "The Effect of Personal Characteristics on Spatial Perception in BIM-Based Virtual Environments: Age, Gender, Education, and Gaming Experience," *Buildings*, vol. 13, no. 8, Aug. 2023, doi: 10.3390/buildings13082103.
- [71] M. Majzoub and A. Eweda, "Probability of winning the tender when proposing using bim strategy: A case study in Saudi Arabia," *Buildings*, vol. 11, no. 7, Jul. 2021, doi: 10.3390/buildings11070306.
- [72] G. Ozcan-Deniz and Z. Lokhandwala, "Building Information Modeling (BIM) Implementation in Public–Private Partnership (PPP) Projects †," *Engineering Proceedings*, vol. 53, no. 1, 2023, doi: 10.3390/IOCB2023-15189.
- [73] S. Belay, J. Goedert, A. Woldeesenbet, S. Rokooei, J. Matos, and H. Sousa, "Key BIM Adoption Drivers to Improve Performance of Infrastructure Projects in the Ethiopian Construction Sector: A Structural Equation Modeling Approach," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/7473176.
- [74] M. Michaud, J. Meyer, D. Forgues, and C. Ouellet-Plamondon, "A taxonomy of sources of waste in bim information flows," *Buildings*, vol. 11, no. 7, Jul. 2021, doi: 10.3390/buildings11070291.
- [75] M. Asgari Siahboomy, H. Sarvari, D. W. M. Chan, H. Nassereddine, and Z. Chen, "A multi-criteria optimization study for locating industrial warehouses with the integration of BIM and GIS data," *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 17, no. 5–6, pp. 478–495, 2021, doi: 10.1080/17452007.2021.1881880.
- [76] C. Sanchis-Pedregosa, J. M. Vizcarra-Aparicio, and A. L. Leal-Rodríguez, "Bim: A technology acceptance model in Peru," *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 25, pp. 99–108, 2020, doi: 10.36680/j.itcon.2020.006.