

Atencio, E. (2024). Mejorando la gestión de la organización del sector de arquitectura, ingeniería y construcción mediante la arquitectura empresarial: una revisión de literatura. En Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción (IX ELAGEC2024)*.

MEJORANDO LA GESTIÓN DE LA ORGANIZACIÓN DEL SECTOR DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN MEDIANTE LA ARQUITECTURA EMPRESARIAL: UNA REVISIÓN DE LITERATURA

Edison Atencio C. ¹ – edison.atencio@pucv.cl

¹*Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.*

RESUMEN

La Arquitectura Empresarial (AE) es un enfoque sistémico que alinea los activos tecnológicos, el personal, las operaciones y los proyectos de una organización con sus objetivos estratégicos. Al considerar la organización como un sistema interrelacionado, la AE mejora la alineación entre tecnología y metas empresariales, optimiza la toma de decisiones, y apoya la transformación digital. Aunque tradicionalmente se ha aplicado en sectores como TI, finanzas y servicios públicos, la AE tiene un gran potencial en la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AIC). Este documento revisa la literatura sobre las aplicaciones de la AE en el sector AIC, explorando cómo puede enfrentar desafíos relacionados con la productividad y digitalización. A pesar de su adopción limitada y en fases iniciales, la AE podría mejorar la eficiencia de los proyectos, la gestión de recursos y fomentar la innovación, impulsando la productividad y el avance tecnológico en la industria AIC.

PALABRAS CLAVE

Arquitectura empresarial; pensamiento sistémico; system thinking; interoperabilidad, governance

INTRODUCCIÓN

La industria de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AIC) se enfrenta a una creciente complejidad impulsada por avances tecnológicos, exigencias de los clientes y cambios

regulatorios (Lafhaj et al., 2024). Para abordar esta complejidad, es esencial adoptar un enfoque holístico que permita una gestión integrada, donde el pensamiento sistémico surge como una alternativa apropiada. Este enfoque permite gestionar de manera efectiva la complejidad de productos y proyectos en entornos multifuncionales y dinámicos (Mawby & Stupples, 2002).

Por otra parte, la productividad y la digitalización son desafíos clave en el sector AIC. A pesar del potencial de herramientas como el Building Information Modeling (BIM) y las tecnologías de la Industria 4.0, su adopción se ve obstaculizada por costos iniciales elevados, falta de personal capacitado, resistencia al cambio y problemas de interoperabilidad (Muñoz-La Rivera et al., 2021). La naturaleza fragmentada de la industria AIC, con múltiples partes interesadas, complica la integración de estas tecnologías. La investigación sugiere que la digitalización puede mejorar significativamente la productividad, pero la variabilidad en su adopción destaca la necesidad de políticas y prácticas estandarizadas (Zawada et al., 2024).

La Arquitectura Empresarial (AE) se presenta como una disciplina de gestión efectiva para abordar la complejidad organizacional en la industria AIC (Atencio et al., 2024; Atencio, Bustos, et al., 2022) Basada en el pensamiento sistémico, la AE proporciona una perspectiva estratégica para la alineación, gobernanza y optimización de los elementos organizacionales, apoyando la toma de decisiones a largo plazo y promoviendo la flexibilidad y adaptabilidad (Lankhorst, 2009). Marco de referencias como ArchiMate, TOGAF, y otros, ofrecen metodologías estructuradas para implementar AE, facilitando la integración de tecnologías emergentes y procesos innovadores en las operaciones estratégicas (Gonzalez-Lopez & Bustos, 2019).

El objetivo de este trabajo es explorar las oportunidades de mejora en la gestión organizacional en el sector AIC a través de la aplicación de AE. A través de una revisión de la literatura y el uso del marco de referencia ArchiMate, se identifican y analizan las contribuciones de AE a la AIC, organizándolas en diferentes capas de arquitectura empresarial. La investigación destaca cómo la AE puede mejorar la colaboración, la eficiencia operativa, la planificación estratégica y la toma de decisiones en el sector AIC, proporcionando una guía robusta para la adopción de tecnologías avanzadas y prácticas de gestión integradas.

BACKGROUND

COMPLEJIDAD DE LA INDUSTRIA DE LA AIC

La industria AIC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) enfrenta una complejidad creciente debido a los avances tecnológicos, las demandas exigentes de los clientes y la evolución de las regulaciones (Wood et al., 2013). Para abordar esta complejidad, es necesario un cambio de paradigma hacia el pensamiento sistémico y los modelos de gestión integrados (Jonkers & Shahroudi, 2020). Estos modelos deben incorporar procesos multifuncionales y entornos dinámicos para gestionar de manera efectiva la complejidad de productos y proyectos. La industria también se está moviendo hacia la sostenibilidad ambiental, lo que requiere que las empresas adapten sus prácticas de gestión e implementen enfoques de ciclo de vida para una mejor toma de decisiones

(Dalla Valle, 2021). Las prácticas tradicionales de ingeniería y gestión de proyectos pueden beneficiarse del reconocimiento de enfoques como el pensamiento sistémico (Atencio et al., 2022). Este enfoque ha ganado prominencia como una perspectiva útil en el campo de la gestión de proyectos debido a sus numerosos beneficios (Faraji et al., 2022; PMI, 2021). Estos beneficios incluyen proporcionar una visión holística, abordar la complejidad, revelar patrones y estructuras subyacentes, reducir los silos, promover la adaptabilidad, fomentar el pensamiento a largo plazo, facilitar una mejor toma de decisiones, cultivar el aprendizaje continuo y promover la colaboración interdisciplinaria (Arnold & Wade, 2015; Hossain et al., 2020).

En general, un enfoque holístico que combine el pensamiento sistémico, la gestión integrada y las consideraciones de sostenibilidad es crucial para gestionar la complejidad en el sector AEC.

PRODUCTIVIDAD Y DIGITALIZACIÓN

El sector de la AEC enfrenta importantes desafíos en productividad y digitalización. A pesar del potencial de herramientas como el Building Information Modeling (BIM) y las tecnologías de la Industria 4.0, su adopción está obstaculizada por varias barreras. Estos desafíos incluyen los altos costos iniciales de implementación, la falta de personal capacitado, la resistencia al cambio y problemas de interoperabilidad entre diferentes herramientas digitales (Brozovsky et al., 2024). Además, la naturaleza fragmentada de la industria AEC, con múltiples partes interesadas involucradas en los proyectos, complica la integración sin problemas de estas tecnologías (Jalaei & Jrade, 2014). Aunque los estudios han demostrado que la digitalización puede llevar a importantes mejoras en la productividad, la variabilidad en las tasas de adopción entre regiones y empresas indica la necesidad de prácticas y políticas estandarizadas para apoyar esta transición (Chen et al., 2024). La investigación continua y los esfuerzos colaborativos entre las partes interesadas de la industria son cruciales para superar estos desafíos y desbloquear el potencial completo de la digitalización en el sector AEC (Johnson & Laepple, 2022).

Estos desafíos también aplican al tipo de organización, donde un enfoque de pensamiento sistémico puede ayudar a manejarlos mejor, dado que la AEC es compleja, conviven diferentes recursos y existe un permanente remapeo organizacional debido a su orientación a proyectos (Atencio, Mancini, et al., 2022). Este enfoque permite una mejor comprensión de las interrelaciones y dinámicas dentro de las organizaciones, facilitando la identificación de áreas clave para la mejora y la implementación de soluciones integradas.

ARQUITECTURA EMPRESARIAL

La Arquitectura Empresarial (AE) se reconoce una disciplina de gestión para abordar la complejidad de los componentes organizacionales y que proviene del pensamiento sistémico (Lankhorst, 2009; Atencio et al., 2024). Proporciona una perspectiva estratégica sobre la alineación, gobernanza y optimización de estos elementos para alcanzar objetivos organizacionales (Atencio, Bustos, et al., 2022).

El concepto de "arquitectura" proviene del diseño de componentes de un edificio, realizado por un arquitecto, donde todos los elementos trabajan juntos para lograr un objetivo (Lankhorst, 2009; Atencio et al., 2024). En ingeniería de sistemas, la arquitectura

se define como los "conceptos fundamentales de un sistema en su entorno, incorporados en sus elementos, relaciones y principios de diseño y evolución" (ISO/IEC/IEEE© Std. 42010:2011, 2011).

La ingeniería empresarial ve las empresas como sistemas diseñados para adaptarse y rediseñarse sistemáticamente, caracterizadas como "cualquier colección de organizaciones con un conjunto común de objetivos y/o una sola línea de fondo" (The Open Group, 2018). Este enfoque arquitectónico se utiliza para diseñar empresas con componentes interconectados que trabajan juntos para alcanzar objetivos organizacionales (Lankhorst, 2009).

Consolidando los conceptos de arquitectura y empresa, la AE se puede definir como "*la lógica organizativa para los procesos empresariales y la infraestructura de TI, que refleja los requisitos de integración y estandarización del modelo operativo de la empresa, proporcionando una visión a largo plazo para construir capacidades y no solo satisfacer necesidades inmediatas*" AE se basa en la estabilidad de elementos fundamentales del negocio y TI, asegurando la preservación de estos componentes mientras promueve flexibilidad y adaptabilidad. La falta de una arquitectura robusta puede impedir la excelencia empresarial (H. Jonkers et al., 2004; Gonzalez-Lopez & Bustos, 2019).

La aplicación de la AE se facilita a través del uso de un *marco de referencia*, que corresponde a un conjunto de convenciones, principios y prácticas para una descripción arquitectónica, que debe aplicarse en un dominio específico (Gonzalez-Lopez & Bustos, 2019). Para realizar la descripción y el marco de referencia arquitectónico, se puede identificar un conjunto de modelos, conocidos como lenguajes de descripción de arquitectura (Gonzalez-Lopez & Bustos, 2019; ISO/IEC/IEEE© Std. 42010:2011, 2011).

Entre los marco de referencias más reconocidos se encuentran Zachman, TOGAF, DoDAF, GERAM y FEAF. Zachman (Zachman, 1987), desarrollado por John Zachman en 1987, es uno de los primeros marco de referencias y proporciona una matriz para organizar descripciones arquitectónicas, aunque su adopción práctica es limitada. TOGAF (OMG, 2023), creado por The Open Group, es ampliamente utilizado debido a su metodología detallada conocida como el Método de Desarrollo de Arquitectura (ADM) y su enfoque iterativo. DoDAF (Defense, 2010), utilizado por el Departamento de Defensa de los EE. UU., se centra en la interoperabilidad y estandarización en contextos militares. GERAM (IFIP, 1999) proporciona una referencia unificada para integrar metodologías y herramientas de AE, pero es menos conocido y utilizado. FEAF, desarrollado por el gobierno federal de los EE. UU., busca mejorar la eficiencia de los servicios gubernamentales a través de la estandarización, siendo utilizado principalmente en el sector público estadounidense. ArchiMate (The Open Group, 2021), un lenguaje de modelado estandarizado por The Open Group, ha ganado popularidad por su facilidad de uso y capacidad para integrarse con otros marco de referencias, especialmente TOGAF, proporcionando una representación gráfica clara de las arquitecturas. La combinación de TOGAF y ArchiMate ha emergido como la más popular y adoptada en la industria, debido a su metodología robusta y representación visual efectiva.

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La metodología de revisión de literatura utilizada en este trabajo utiliza las capas de ArchiMate como marco de referencia y estructura de agrupación del contenido. Este marco de referencia es seleccionado por su amplia adopción en la literatura como referencia, su cobertura y compatibilidad, como lo releva el trabajo de (Atencio et al., 2024). Esta metodología aplicada se resume en la Figura 1.

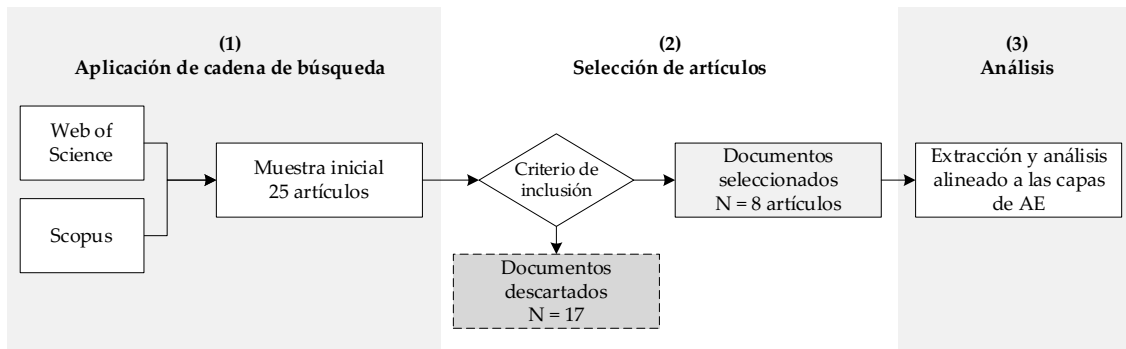


Figura 1. Metodología.

La metodología presentada en Figura 1 se basa en el procedimiento presentado por (Atencio, Bustos, et al., 2022) para revisión de literatura en el campo de AE se adapta en los siguientes tres pasos:

- (1) Un grupo de 25 artículos son obtenidos desde las fuentes Scopus y Web of Science (Wos) usando el siguiente string de búsqueda:

TITLE-ABS-KEY ("enterprise architecture" AND ("architecture sector" OR "engineering sector" OR "construction sector" OR "AEC" OR "building sector" OR "infrastructure sector" OR "construction industry" OR "engineering projects" OR "building projects" OR "infrastructure projects" OR "AEC industry" OR "AEC sector" OR "architecture, engineering and construction"))

- (2) Los resúmenes de los artículos analizados de manera de descartar aquellos que no tengan una mención explícita a algún aspecto de la industria de la AIC como también, a la AE. De este proceso resulta una selección de 8 artículos: un artículo, un capítulo de libro, cinco artículos de conferencia y un artículo de revisión de literatura.
- (3) Las aplicaciones y/o contribuciones de la AE a la AEC son extraídos de los artículos organizándolos según las diferentes capas de una arquitectura empresarial según el marco de referencia de AE ArchiMate, el cual es seleccionado como referencia siguiendo el criterio de (Atencio et al., 2024). Este criterio evalúa y pondera en un marco de referencia de AE la cobertura de

componentes organizacionales, la facilidad de modelamiento, la perspectiva de ciclo de vida, la prevalencia de investigadores y la aplicación en el campo de gestión de proyectos. Este último criterio es relevante considerando que la industria AEC es eminentemente compuesta por organizaciones orientadas a proyectos (Atencio et al., 2023). En este sentido, el trabajo de (Atencio et al., 2024) muestra que ArchiMate otorga una apropiada cobertura de recursos para el modelamiento de este tipo de organizaciones.

ArchiMate estructura sus componentes en cinco capas, como se muestra en la Figura 2:

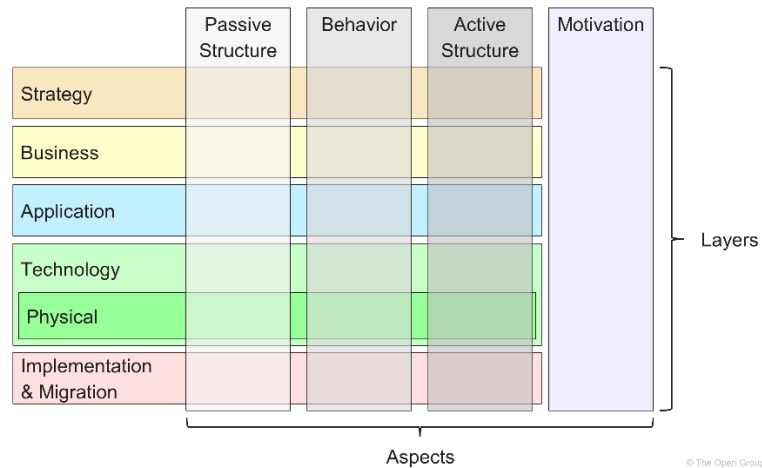


Figura 2. Estructura de ArchiMate.

ArchiMate permite modelar una empresa desde diferentes puntos de vista a través de varias capas y aspectos. Las capas clave de ArchiMate son la capa de Negocio, la capa de Aplicación y la capa de Tecnología/Física. La capa de Negocio se enfoca en los procesos, funciones y servicios que realiza la organización y los actores involucrados, representando la estructura activa, el comportamiento y la estructura pasiva de la empresa. La capa de Aplicación describe los sistemas de software que apoyan los procesos de negocio, incluyendo componentes de aplicaciones y sus interacciones. La capa de Tecnología/Física abarca la infraestructura tecnológica y física, como servidores, redes y otros dispositivos, que soportan las aplicaciones y procesos de negocio. ArchiMate utiliza tres aspectos para estos niveles: la estructura activa (actores y componentes), el comportamiento (procesos y funciones) y la estructura pasiva (objetos de información y datos), inspirándose en el lenguaje natural para facilitar su comprensión y uso.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan aplicaciones y/o contribuciones de la AE a la AEC agrupadas según las primeras cuatro capas de ArchiMate.

Tabla 1. Aplicaciones de la AE en la AEC.

Autor/es (año)	Estrategia	Negocios	Aplicaciones	Tecnología/Física
(Atencio, Muñoz-La Rivera, et al., 2022)	La colaboración entre BIM y la Arquitectura Empresarial (AE) puede gestionar la complejidad organizativa y de los proyectos en el sector AEC. Ayuda a alcanzar los objetivos estratégicos de la organización y mejorar la madurez de la colaboración e interoperabilidad en los proyectos.	Se releva la relación entre BIM y AE conectándose la gestión de roles y responsabilidades dentro de los proyectos de construcción. Esto incluye la representación de directrices y normas de construcción, lo cual permite una mejor integración de los procesos empresariales y las actividades asistidas por máquinas.	La integración de BIM con AE se manifiesta en la mejora del intercambio de datos y la interoperabilidad entre diferentes sistemas y herramientas. Las aplicaciones de software de BIM, como las Clases de Fundación de la Industria (IFC), facilitan la identificación y gestión de objetos de construcción, permitiendo una integración más fluida con las aplicaciones de planificación de recursos empresariales (ERP) y otras tecnologías de gestión de proyectos.	En la capa de tecnología, el enfoque está en la infraestructura tecnológica necesaria para soportar las aplicaciones de BIM y las actividades del proyecto. La interoperabilidad y el intercambio de datos son cruciales para la integración efectiva de BIM y AE, lo que permite una gestión más eficiente de los proyectos de construcción y una mejor toma de decisiones basada en datos precisos y actualizados.
(Valeev et al., 2021)	La AE permite una mejor distribución de recursos entre diferentes proyectos de construcción, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo costos. También facilita la planificación a largo plazo mediante la creación de un entorno de información unificado que apoya la toma de decisiones estratégicas.	La integración de modelos de procesos empresariales optimiza la ejecución de trabajos simultáneos en múltiples proyectos, aumentando la eficiencia de gestión en una empresa geográficamente distribuida. Por otro lado, la implementación de patrones para la programación de trabajos y la gestión de recursos mejora la capacidad de la empresa para cumplir con los plazos y los presupuestos de los proyectos.	La AE permite describir y desarrollar sistemas de información distribuidos que permite la recolección, almacenamiento y transmisión de datos de manera eficiente, facilitando la coordinación entre diferentes unidades de la empresa. Se puede complementar con modelos matemáticos para optimizar los recursos necesarios en cada sitio de construcción, mejorando la exactitud en la planificación y la ejecución de proyectos.	La AE promueve la adopción de tecnologías avanzadas y prácticas de gestión de la Industria 4.0, mejorando la capacidad de la empresa para competir en un mercado global.
(León Girón, 2020)	La incorporación de la dimensión geográfica ayuda a alinear las estrategias de la empresa con sus objetivos geoespaciales, optimizando la planificación y ejecución de proyectos. Así también permite definir y alcanzar objetivos estratégicos específicos relacionados con la geografía, como la ubicación	La AE facilita la integración de procesos clave como la evaluación de avances de obra, análisis de urbanismo y estudios de medio ambiente, mejorando la eficiencia y efectividad de estos procesos. Así también ayuda a mejorar la gestión del conocimiento dentro de las organizaciones al integrar datos geográficos en los procesos de negocio, lo que permite una mejor toma de decisiones y planificación.	La integración de SIG y otras tecnologías geoespaciales en la arquitectura empresarial permite un análisis más preciso y detallado de los datos geográficos, apoyando la toma de decisiones y la planificación de proyectos. Por otro lado, la adopción de BIM en combinación con datos geoespaciales mejora la precisión y la eficiencia en la gestión de proyectos de construcción.	En la AE se define la infraestructura tecnológica necesaria para soportar los sistemas de información geográfica y otras aplicaciones geoespaciales, asegurando que la tecnología esté alineada con los requisitos del negocio. Así también promueve la adopción de nuevas tecnologías geoespaciales, como el análisis espacial y la visualización geográfica, que mejoran la eficiencia y efectividad en la

	óptima de nuevos proyectos de construcción.			gestión de proyectos de construcción.
(Zykov, 2018)		La AE permite describir toma de decisiones descentralizada y centralizada, transparencia de proceso e información unificada. Así también permite la transferencia de operaciones rutinarias de humanos a máquinas, servicios mejorados y control para los humanos	La AE permite explicitar los límites de las responsabilidades entre humanos y máquinas.	Sin menciones
(Yun, 2016)	El diseño de nivel superior propuesto se enfoca en establecer estándares uniformes y planificar de manera unificada la gestión de la información de costos en la industria AEC. Esto implica una visión global y coherente que facilita la coordinación funcional y el intercambio de recursos.	La AE se aplica para desarrollar un sistema integrado de gestión de costos del proyecto que abarca desde la estimación inicial hasta la finalización del proyecto. Este sistema apoya la toma de decisiones y la supervisión del cumplimiento de los objetivos económicos.	Se destaca la necesidad de sistemas de procesamiento y análisis de información que puedan integrar y analizar datos de costos en diversas etapas del proyecto. Esto incluye subsistemas para la recolección, análisis y distribución de información sobre precios y costos.	Se subraya la importancia de utilizar plataformas de tecnología de la información, como redes e internet, para mejorar la recopilación y distribución de datos de costos del proyecto. La implementación de bases de datos unificadas y el uso de tecnologías de red permiten la integración y el intercambio de datos a nivel nacional.
(Underwood et al., 2008)	La AE mejora la planificación y gestión de recursos a nivel estratégico, permitiendo una mejor alineación de los objetivos empresariales con los proyectos de construcción.	La implementación de un ERP enmarcada en una AE permite integrar procesos únicos como la estimación de costos, la gestión de contratos y la gestión de proyectos, optimizando el flujo de trabajo y la colaboración entre diferentes departamentos.	Los módulos de ERP específicos para construcción, como la gestión de ofertas y la planificación de proyectos, están interconectados, facilitando la coordinación y el seguimiento de proyectos.	La estructura tecnológica del ERP (descrita en la AE) permite la integración de bases de datos centralizadas y la replicación de datos, asegurando la disponibilidad de información en tiempo real.
(Ireland, 2007)	La AE podría aplicarse en la industria de la construcción. Se podría realizar una investigación para identificar los elementos comunes de una arquitectura empresarial de construcción, que debería incluir al menos: visión y misión de la empresa, propuestas de valor, información del cliente objetivo, canales de distribución,	Sin menciones	Sin menciones	Sin menciones

enlaces con varios clientes, la configuración de valor, competencias clave, la red de socios, datos de costos y cronogramas, el modelo de ingresos para la empresa, reglas para operar el negocio, incluyendo delegaciones, procesos de la empresa, descripciones de puestos y escalas salariales, y lecciones aprendidas, entre otros. La configuración de TI para apoyar estas funciones es crucial.

(Goh, 2006)

Se resalta la necesidad de una visión integral de las operaciones clave del negocio con herramientas que enlacen la estrategia empresarial con la ejecución operativa. AE puede proporcionar una guía para integrar tecnologías emergentes y procesos innovadores en las operaciones estratégicas de las empresas constructoras.

AE se aplica para gestionar roles y responsabilidades en proyectos de construcción, donde se propone enfoques de modelado de procesos de negocio (BPM). Esto incluye la representación de directrices y normas de construcción en un formato que pueda ser integrado tanto por actividades humanas como por sistemas asistidos por máquinas. Este enfoque mejora la eficiencia en la gestión de proyectos y facilita la colaboración entre diferentes actores dentro del proyecto.

AE se centra en la integración de aplicaciones de software que soportan los componentes del negocio a través de servicios de aplicación. En el sector AEC, esto se traduce en la integración de herramientas de BIM con otros sistemas de gestión empresarial como ERP (Enterprise Resource Planning). Esto facilita la interoperabilidad y el intercambio de datos, mejorando la eficiencia en la gestión de proyectos y permitiendo una toma de decisiones más informada basada en datos precisos y actualizados.

En el contexto de la construcción, esto podría implicar el uso de sensores contextuales y agentes inteligentes para automatizar y analizar información, mejorando la eficiencia y reduciendo errores en las operaciones del sitio de construcción.

CAPA DE ESTRATEGIA

La estrategia de la AE en el sector AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) se enfoca en gestionar la complejidad organizativa y de los proyectos mediante la colaboración entre BIM y AE. Esta colaboración ayuda a alcanzar los objetivos estratégicos de la organización y mejora la eficiencia operativa al optimizar la distribución de recursos y la planificación a largo plazo. La inclusión de la dimensión geográfica permite alinear las estrategias empresariales con los objetivos geoespaciales, mejorando la toma de decisiones y la ejecución de proyectos. Además, la AE promueve una visión integral de las operaciones del negocio, proporcionando una guía para integrar tecnologías emergentes y procesos innovadores.

CAPA DE NEGOCIOS

En la capa de negocios, la AE facilita la integración de roles y responsabilidades dentro de los proyectos de construcción, mejorando la gestión de procesos empresariales y la eficiencia operativa. La adopción de modelos de procesos empresariales y sistemas integrados de gestión de costos optimiza la ejecución de trabajos simultáneos, la estimación de costos, la gestión de contratos y la coordinación entre departamentos. La AE también permite una mejor gestión del conocimiento y una mayor transparencia en los procesos, apoyando tanto la toma de decisiones centralizada como descentralizada.

CAPA DE APLICACIÓN

La integración de BIM con AE mejora el intercambio de datos y la interoperabilidad entre diferentes sistemas y herramientas, facilitando la gestión de objetos de construcción y la planificación de recursos empresariales. Los sistemas de información distribuidos permiten una recolección y transmisión de datos eficiente, mejorando la coordinación y optimización de recursos en los sitios de construcción. Además, la adopción de tecnologías geoespaciales y sistemas de ERP específicos para la construcción facilita la planificación y seguimiento de proyectos, optimizando el flujo de trabajo y la colaboración entre diferentes unidades.

CAPA DE TECNOLOGÍA/ FÍSICO

En la capa tecnológica, el enfoque está en la infraestructura necesaria para soportar las aplicaciones de BIM y otras tecnologías avanzadas. La interoperabilidad y el intercambio de datos son cruciales para una gestión eficiente de los proyectos. La AE promueve el uso de plataformas de tecnología de la información, redes e internet para mejorar la recopilación y distribución de datos, así como la adopción de nuevas tecnologías geoespaciales y sensores contextuales que automatizan y analizan información en tiempo real. Esto mejora la eficiencia, reduce errores en las operaciones del sitio de construcción y permite una toma de decisiones basada en datos precisos y actualizados.

DISCUSIÓN

El presente estudio revela que la implementación de la AE en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AIC) ha comenzado a abordar ciertas brechas críticas en la gestión y planificación de proyectos, pero aún queda un camino considerable por recorrer. En general, la aplicación de AE en la AIC ha permitido mejorar la eficiencia en la gestión de recursos y procesos, especialmente en entornos distribuidos geográficamente, donde la complejidad de la coordinación y optimización de recursos es particularmente alta.

Por ejemplo, el estudio de (Valeev et al., 2021) destaca cómo la AE, basada en el marco de Gartner, ha permitido a las empresas de construcción optimizar la planificación de recursos al integrar sistemas de gestión de información distribuidos. Este enfoque ha mejorado significativamente la coordinación entre los diferentes actores involucrados en proyectos de construcción distribuidos, como gerentes de sitios, ingenieros de suministro y diseñadores. El uso de modelos matemáticos para la optimización de recursos, como la distribución de trabajadores y materiales entre múltiples proyectos simultáneos,

representa un avance en la gestión de empresas constructoras de gran escala (Valeev et al., 2021).

Asimismo, (Yun, 2016) aborda la implementación de AE en el contexto de la gestión de costos de proyectos. Este trabajo subraya la importancia de la AE para la estandarización y automatización de la información de costos, un área tradicionalmente caracterizada por una alta fragmentación y falta de integración. La AE permite la creación de sistemas de información más coherentes y accesibles, lo que facilita una mejor toma de decisiones a nivel gerencial. Sin embargo, aunque se han logrado avances significativos en la gestión de costos mediante AE persisten desafíos en la integración completa de estos sistemas con otros procesos clave en la construcción (Yun, 2016).

Por otro lado, (Goh, 2006) explora cómo la AE puede ser aplicada para mejorar la gestión del ciclo de vida de proyectos de construcción. Aquí, la AE ayuda a conectar de manera más efectiva las fases de diseño, construcción y operación, proporcionando una visión más integrada de todo el proyecto. A pesar de estas mejoras, el estudio también señala la falta de adopción generalizada de estas prácticas, lo que indica una brecha significativa en la implementación práctica de AE en toda la industria (Valeev et al., 2021).

En términos de brechas cubiertas, estos estudios demuestran que la AE ha permitido avances en áreas como la optimización de la planificación de recursos, la mejora en la gestión de costos, y la integración de fases del ciclo de vida de proyectos. No obstante, una brecha crítica que persiste es la adopción limitada y la falta de estandarización en la implementación de AE en la AIC. A pesar de que se han identificado beneficios claros, la falta de marcos regulatorios y la resistencia al cambio dentro de la industria han limitado su aplicación más amplia.

Para futuras investigaciones, es fundamental explorar cómo superar estas barreras de adopción y cómo la AE puede ser utilizada no solo para optimizar procesos individuales, sino también para transformar digitalmente toda la industria de la AIC. Además, es necesario investigar la integración de AE con tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas (IoT), que podrían potenciar aún más su impacto en la AIC. Estas investigaciones futuras no solo deberían centrarse en los aspectos técnicos, sino también en los factores organizacionales y culturales que pueden facilitar o dificultar la adopción de AE en esta industria.

Como contribución teórica, este trabajo amplía el cuerpo de conocimiento existente al integrar las prácticas de AE con las necesidades específicas del sector AIC, destacando cómo los principios de AE pueden abordar la complejidad organizacional y de proyecto inherente a esta industria. Esto se alinea con las investigaciones previas (Atencio et al., 2023; Lankhorst, 2009) que sugieren que la AE, al estar basada en un enfoque de pensamiento sistémico, tiene un potencial significativo para mejorar la alineación estratégica y operativa en contextos multifuncionales y dinámicos.

Como contribución práctica, esta investigación muestra que la implementación de AE en la AIC no solo optimiza la eficiencia operativa y la planificación estratégica, sino que también facilita la adopción de tecnologías avanzadas como BIM y sistemas de gestión de proyectos, fomentando una mayor interoperabilidad y colaboración entre los actores involucrados. Estas contribuciones son particularmente relevantes en el contexto de la

digitalización y la transformación tecnológica del sector, donde las aplicaciones de AE han mostrado ser una herramienta efectiva para superar barreras relacionadas con la fragmentación y la resistencia al cambio.

CONCLUSIONES

El objetivo principal de este artículo fue explorar cómo la Arquitectura Empresarial (AE) permite abordar los desafíos de gestión organizacional en el sector de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AIC). Para cumplir con este objetivo, se llevó a cabo una revisión de literatura que identificó y analizó las contribuciones de la AE a la AIC, organizándolas en diferentes capas de arquitectura empresarial.

Este estudio tiene varias implicaciones prácticas para el sector AIC. La implementación de AE proporciona un marco robusto para la adopción de tecnologías avanzadas y prácticas de gestión integradas, lo que puede mejorar significativamente la colaboración, la eficiencia operativa, la planificación estratégica y la toma de decisiones. Además, la adopción de un enfoque holístico basado en el pensamiento sistémico es crucial para gestionar la complejidad y la variabilidad del sector, lo que puede conducir a una mayor productividad y sostenibilidad en la industria AIC.

La baja cantidad de artículos encontrados constituye a su vez una limitación de este estudio lo cual muestra a su vez las escasas investigaciones de AE aplicada a la AIC. Futuros estudios podrían expandir el alcance a aspectos relacionados a la AE como Business Process Management (BPM, gestión de procesos de negocio) y BPA (Business Process Architecture, Arquitectura de Procesos de Negocio) que si bien, se enfocan en una capa particular de la AE, constituyen enfoques de gestión sistémicos de amplia adherencia práctica como de investigación.

Futuros estudios podrían enfocarse en casos prácticos de implementación de AE en proyectos específicos dentro del sector AIC para validar los hallazgos teóricos de este estudio. Además, se recomienda investigar cómo la integración de nuevas tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas (IoT), dentro del marco de AE puede seguir mejorando la gestión de proyectos y operaciones en la industria. También sería beneficioso explorar la capacitación y desarrollo de personal para superar las barreras de adopción de AE y tecnologías relacionadas en el sector AIC.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a los integrantes del equipo TIMS (Technology, Innovation, Management and Sustainability) de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

REFERENCIAS

- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A definition of systems thinking: A systems approach. *Procedia Computer Science*, 44(C), 669–678.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050>

- Atencio, E., Bustos, G., & Mancini, M. (2022). Enterprise Architecture Approach for Project Management and Project-Based Organizations: A Review. *Sustainability*, 14(16), 9801. <https://doi.org/10.3390/su14169801>
- Atencio, E., Mancini, M., & Bustos, G. (2022). Integration Between Star Model components for Project-Based Organizations design: a network analysis. 5th IEOM European Conference on Industrial Engineering and Operations Management. <https://doi.org/https://doi.org/10.46254/EU05.20220395>
- Atencio, E., Mancini, M., & Bustos, G. (2023). Enterprise Architecture modelling for PBO: A case study. 13th IEOM International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. <https://doi.org/https://doi.org/10.46254/AN13.20230191>
- Atencio, E., Mancini, M., & Bustos, G. (2024). Enterprise architecture approach for project-based organizations modeling, design, and analysis: an ontology-driven tool proposal. *Alexandria Engineering Journal*, 98, 312–327. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.04.052>
- Atencio, E., Muñoz-La Rivera, F., Mancini, M., & Bustos, G. (2022). Towards the Integration Between Construction Projects and the Organization: The Connections Between BIM and Enterprise Architecture. In E. Favari & F. Cartoni (Eds.), *Complexity and Sustainability in Megaprojects - MerIT* (pp. 161–176). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30879-6_13
- Brozovsky, J., Labonnote, N., & Vigren, O. (2024). Digital technologies in architecture, engineering, and construction. *Automation in Construction*, 158(August 2023), 105212. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105212>
- Chen, X., Chang-Richards, A., Ling, F. Y. Y., Yiu, T. W., Pelosi, A., & Yang, N. (2024). Digital technologies in the AEC sector: a comparative study of digital competence among industry practitioners. *International Journal of Construction Management*, 0(0), 1–14. <https://doi.org/10.1080/15623599.2024.2304453>
- Dalla Valle, A. (2021). Change management towards life cycle AE(C) practice. In *Springer Briefs in Applied Sciences and Technology* (Issue C). https://doi.org/10.1007/978-3-030-69981-9_3
- Defense, U. D. of. (n.d.). The DoDAF Architecture Framework Version 2.02. Retrieved September 19, 2023, from <https://dodcio.defense.gov/library/dod-architecture-framework/>
- Faraji, A., Rashidi, M., Perera, S., & Samali, B. (2022). Applicability-Compatibility Analysis of PMBOK Seventh Edition from the Perspective of the Construction Industry Distinctive Peculiarities. *Buildings*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/buildings12020210>
- Goh, B. H. (2006). Intelligent enterprises for construction: Bridging the technology and knowledge gAps through innovation and education. *IFIP International Federation for Information Processing*, 205, 119–131. https://doi.org/10.1007/0-387-34456-x_12

- Gonzalez-Lopez, F., & Bustos, G. (2019). Integration of business process architectures within enterprise architecture approaches: A literature review. *EMJ - Engineering Management Journal*, 31(2), 127–140.
<https://doi.org/10.1080/10429247.2018.1522565>
- Hossain, N. U. I., Dayarathna, V. L., Nagahi, M., & Jaradat, R. (2020). Systems thinking: A review and bibliometric analysis. *Systems*, 8(3), 1–26.
<https://doi.org/10.3390/systems8030023>
- IFIP. (1999). GERAM: Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology IFIP-IFAC Task Force on Architectures for Enterprise Integration The Operator 4.0-Towards Socially Sustainable Factories of the Future View project (Issue January, pp. 0–31). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35937.33120>
- Ireland, V. (2007). Some neglected variables in construction management research contributing to a competitive advantage research approach. *CME 2007 Conference - Construction Management and Economics: “Past, Present and Future,”* 837–851.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84877590572&partnerID=40&md5=49cb71abb26dda91b6fb1d51e5a176fe>
- ISO/IEC/IEEE© Std. 42010:2011. (2011). INTERNATIONAL STANDARD ISO / IEC / IEEE Systems and software engineering — Architecture description. ISO/IEC/IEEE 26515 First Edition 2011-12-01; Corrected Version 2012-03-15, 2012.
- Jalaei, F., & Jrade, A. (2014). Dimensions of interoperability in the AEC industry. *Construction Research Congress 2014*, 2008, 140–149.
- Johnson, R. E., & Laepple, E. S. (2022). Digital Innovation and Organizational Change in Design Practice. *Proceedings of the 23th Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture (ACADIA)*, 179–183.
<https://doi.org/10.52842/conf.acadia.2003.179>
- Jonkers, H., Lankhorst, M. M., Hoppenbrouwers, S., Arnhem, H., & Bonsangue, M. (2004). *Concepts For Modeling Enterprise Architectures*. May 2014.
<https://doi.org/10.1142/S0218843004000985>
- Jonkers, R. K., & Shahroudi, K. E. (2020). Complexity, Systems Thinking and an Integrated Systems Engineering and Project Management Model. *INCOSE International Symposium*, 30(1), 546–560. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2020.00739.x>
- Lafhaj, Z., Rebai, S., AlBalkhy, W., Hamdi, O., Mossman, A., & Alves Da Costa, A. (2024). Complexity in Construction Projects: A Literature Review. *Buildings*, 14(3).
<https://doi.org/10.3390/buildings14030680>
- Lankhorst, M. (2009). Enterprise architecture at work. In *Enterprise Architecture at Work (Fourth)*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01310-2>
- León Girón, C. (2020). Modelo de Arquitectura Empresarial Orientado a la Industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción. 2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), June, 24–27.

<https://web.unican.es/portal-investigador/publicaciones/detalle-publicacion?p=LIB2978>

- Mawby, D., & Stupples, D. (2002). Systems thinking for managing projects. *IEEE International Engineering Management Conference*, 1(0), 344–349. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2001.tb02283.x>
- 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>
- OMG. (2023). The Open Group - Standards Development Organization. <https://www.omg.org/>
- PMI. (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge - PMBOK 7th edition (Issue July).
- The Open Group. (2018). The TOGAF standard - version 9.2. TOGAF Library, 9.2, 504. <http://pubs.opengroup.org/architecture/togaf9-doc/arch/>
- The Open Group. (2021). The ArchiMate® Specification. <https://www.opengroup.org/archimate-home>
- Underwood, J., Kuruoglu, M., Acikalin, U., & Isikdag, U. (2008). Evaluating the integrative function of ERP systems used within the construction industry. *EWork and EBusiness in Architecture, Engineering and Construction*, May 2014, 245–254. <https://doi.org/10.1201/9780203883327.ch28>
- Valeev, S. S., Kondratyeva, N. V., Karimov, R. R., Verkhoturov, M. A., Islamgulov, T. V., & Shekhtman, L. I. (2021). Production planning in a construction company as an element of Gartner enterprise architecture. *CEUR Workshop Proceedings*, 2913, 198–208. <https://doi.org/10.47350/iccs-de.2021.15>
- Wood, H. L., Piroozfar, P., & Farr, E. R. P. (2013). Understanding complexity in the AEC industry. *Proceedings 29th Annual Association of Researchers in Construction Management Conference, ARCOM 2013*, September, 859–869.
- Yun, Y. (2016). Thoughts on the Engineering Project Cost Information of the Top-Level Design. *Proceedings - 8th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA 2015*, 1063–1066. <https://doi.org/10.1109/ICICTA.2015.267>
- Zachman, J. A. (1987). Framework for information systems architecture. In *IBM Systems Journal* (Vol. 38, Issue 2, pp. 454–470). <https://doi.org/10.1147/sj.382.0454>
- Zawada, K., Rybak-Niedziółka, K., Donderewicz, M., & Starzyk, A. (2024). Digitization of AEC Industries Based on BIM and 4.0 Technologies. *Buildings*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/buildings14051350>
- Zykov, S. V. (2018). The agile way. In *Smart Innovation, Systems and Technologies* (Vol. 92). https://doi.org/10.1007/978-3-319-77917-1_1