

Estado del Arte sobre las Tendencias BIM Integradas a la Analítica de Datos e
Inteligencia Artificial en la Gestión de la Construcción

Verónica Hernández Jalkn y Juan Vizcaino Piña

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Guillermo Mejía Aguilar

Doctor en Gerencia de Proyectos de Construcción

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

Principalmente a Dios, por darme la fortaleza y entendimiento para afrontar cada etapa de la carrera. A mi madre por ser mi motor y apoyo, ya que, gracias a su sacrificio me he ido formando como una persona íntegra y correcta. A mi tía, por el apoyo y las enseñanzas que me ha brindado todos estos años, las cuales me ha orientado a ser una persona honesta y luchadora. A mis hermanas y mi sobrina, quienes son mi motivación para seguir creciendo profesionalmente.

Juan David Vizcaino Piña

Principalmente a Dios, por guiarme en este camino lleno de grandes retos y darme la capacidad para seguir adelante. Mis padres, por brindarme la oportunidad de ser una mujer con estudios, aun conociendo los sacrificios económicos que esto implicaría. Les doy infinitas gracias por apoyarme y permitir ser quien soy ahora, una profesional con grandes sueños. A mis hermanas Natalia Hernandez y Helena Hernandez por estar siempre conmigo, dándome aliento y fortaleza para ser capaz de sobrepasar cualquier obstáculo que haya implicado esta aventura universitaria. A mi hermosa Mariana Pérez Jalkn por darme la alegría y motivación, porque gracias a mis frutos estaré ahí para darle un mejor futuro y apoyo. Por último, a amigos más cercanos, por escucharme siempre en mis momentos de angustias, cuando las cosas se tornaban difíciles, me daban fortalezas y me recordaban mis objetivos para llegar a la meta. Muchas gracias, los adoro.

Veronica Hernandez Jalkn

Agradecimientos

Primeramente, a nuestro director, Guillermo Mejía Aguilar, por todo el tiempo y dedicación como guía durante la ejecución del presente proyecto.

Al Semillero de Investigación en Materiales y Estructuras de Construcción – INME.

A nuestro segundo hogar, la Universidad Industrial de Santander, por forjarnos como personas integra y profesionales con carácter y liderazgo.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Marco Teórico	13
1.1. Building Information Modeling –BIM	13
1.2. Inteligencia Artificial IA en la Industria de la Construcción.	15
2. Objetivos y Alcance del Estudio	18
2.1. Objetivo General	18
2.2. Objetivos Específicos	19
2.3. Alcance- Resultados Esperados	19
3. Metodología	20
3.1. Fase 1: Selección de Literatura	20
3.1.1. Scopus	20
3.1.2. AACE International	22
3.2. Fases 2: Análisis con VOSviewer	24
3.3. Fase 3: Análisis por el Software Orange	26
3.4. Fase 4. Categorización de los Artículos	28
3.5. Fase 5: Análisis de Texto a través del Software Power BI + Microsoft Azure	29
4. Resultados y Discusión	32
4.1. Categorización por Procesos	33
4.1.1. Categoría Management	34
4.1.2. Categoría Design	36
4.1.3. Categoría Analysis	38

4.1.4. Análisis comparativo SCOPUS vs AACE.....	39
4.2. Categorización por Temática.	40
4.2.1. Temáticas BIM, AI y Analytics dentro del Proceso Management.	40
4.2.3. Temáticas BIM, AI y Analytics dentro del Proceso Analysis.	49
4.2.4. Análisis Comparativo SCOPUS vs AACE.	55
4.3. Mapa Temático Basado en SCOPUS.....	56
5. Conclusiones	57
Referencias Bibliográficas	59

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Resultados de la búsqueda de los 174 artículos obtenidos de la base de datos Scopus.	21
Tabla 2. Resultados de la búsqueda de los 100 artículos obtenidos de la AACE International, tabla completa anexo 2.	23
Tabla 3. Resultados de las temáticas abordadas dentro del proceso Management, base de datos SCOPUS.	41
Tabla 4. Resultados de las temáticas abordadas dentro del proceso Management, base de datos AACE.....	43
Tabla 5. Resultados de las temáticas abordadas dentro del proceso Design, base de datos SCOPUS.	46
Tabla 6. Resultados de las temáticas abordadas dentro del proceso Design, base de datos AACE.	48
Tabla 7. Resultados de las temáticas abordadas dentro del proceso Analysis, base de datos SCOPUS.	50
Tabla 8. Resultados de las temáticas abordadas dentro del proceso Analysis, base de datos AACE.	52

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Bibliometric analysis: BIM & [Analytics – AI].	11
Figura 2. Mapa de redes Bibliométricas (Network visualization) VOSviewer, ver en anexo 3..	24
Figura 3. Mapa de redes Bibliométricas (Overlay visualization) VOSviewer	25
Figura 4. Flujo de trabajo con los 174 artículos obtenidos por la base de datos SCOPUS.	27
Figura 5. Flujo de trabajo para categorizar los 151 artículos.....	28
Figura 6. Códigos en lenguaje M para la conexión de Power BI Desktop con Azure y extracción de frases clave del texto.	30
Figura 7. Nube de palabras (Word Cloud) de las palabras de mayor relevancia dentro de la columna Abstract.	30
Figura 8. Agrupación de los artículos por 5 cluster POWER BI.	31
Figura 9. Mapa de redes Bibliométricas SCOPUS (Network visualization) VOSviewer.	32
Figura 10. Procesos abordados en los 151 artículos de la base de datos SCOPUS	33
Figura 11. Procesos abordados en los 100 artículos de la AACE Internacional.....	33
Figura 12. Implementación de Temáticas en el proceso Managament, SCOPUS.....	43
Figura 13. Implementación de Temáticas en el proceso Managament, AACE.	45
Figura 14. Implementación de Temáticas en el proceso Design, SCOPUS	47
Figura 15. Implementación de Temáticas en el proceso Design, AACE.....	49
Figura 16. Implementación de Temáticas en el proceso Analysis, SCOPUS.....	52
Figura 17. Implementación de Temáticas en el proceso Analysis y AACE	54
Figura 18. Comparación de temáticas abordadas en SCOPUS y la AACE.....	55
Figura 19. Mapa temático XMind de los artículos más citados, ver en anexo 6	56

Lista de Apéndices

(Los apéndices están adjuntos y pueden ser visualizados en la base de datos de la biblioteca UIS)

Apéndice A. Resultados de la búsqueda de los 151 artículos obtenidos de la base de datos SCOPUS.

Apéndice B. Resultados de la búsqueda de los 100 artículos obtenidos de la ACCE International.

Apéndice C. Mapa de redes Bibliométricas SCOPUS.

Apéndice D. Flujo de trabajo con los 174 artículos obtenidos por la base de datos SCOPUS.

Apéndice E. Flujo de trabajo para categorizar los 151 artículos.

Apéndice F. Mapa temático XMind de los artículos más citados.

Resumen

Título: Estado del arte sobre las tendencias BIM integradas a la analítica de datos e inteligencia artificial en la gestión de la construcción*

Autor: Verónica Hernandez Jalkn y Juan Vizcaino Piña**

Palabras Clave: BIM, Analítica de datos, Inteligencia artificial, Gestión de la construcción.

Descripción: La implementación de nuevas temáticas que involucran la metodología BIM, además de su relación con la inteligencia artificial (AI) y la analítica de datos-DA ha sido de gran potencial para mejorar de una manera eficiente la administración de los datos y el aprovechamiento de la información de un proyecto. La intención de abordar estos temas en publicaciones académicas y en el campo profesional dentro de las áreas de conocimiento de la gestión de proyectos de construcción no ha sido de gran auge, sin embargo, se ha evidenciado un crecimiento exponencial en los últimos años, tomando una mayor importancia. El propósito de esta investigación es realizar una revisión del estado del arte sobre las publicaciones pertenecientes a la base de datos SCOPUS y la AACE Internacional; Para llevar esto a cabo se hizo uso de softwares que trabajan con la minería de datos como lo son VosViewer, Orange, entre otros, con el objetivo de indagar sobre las tendencias que han tenido dichas publicaciones en los últimos años, fortaleciendo la gran importancia que tiene la implementación de estas nuevas metodologías que integran BIM, AI y DA. Este trabajo presenta una comparación del interés que han tenido los profesionales y la parte académica sobre esta metodología y herramienta tecnológica, analizando los temas de mayor recurrencia que se han venido investigando en la gestión de proyectos de construcción y las ventajas del uso de estas para mejorar la toma de decisiones, dando un mayor aprovechamiento al uso de estas nuevas herramientas.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar. Ph.D en Gerencia de Proyectos de Construcción.

Abstract

Title: State of the art on BIM trends and data analytics and artificial intelligence in construction management *

Author(s): Verónica Hernandez Jalkn and Juan Vizcaino Piña **

Key Words: BIM, Data analytics, Artificial intelligence, Construction management.

Description: The implementation of new topics involving BIM methodology, in addition to its relationship with artificial intelligence (AI) and data analytics-(DA) has been of great potential to efficiently improve data management and the use of project information. The intention to address these issues in academic publications and in the professional field within the areas of knowledge of construction project management has not been of great boom, however, an exponential growth has been evidenced in recent years, taking on greater importance. The purpose of this research is to carry out a review of the state of the art on the publications belonging to the SCOPUS database and the AACE International; To carry this out, we made use of software that work with data mining such as VosViewer, Orange, among others, in order to inquire about the trends that have had these publications in recent years, strengthening the great importance of the implementation of these new methodologies that integrate BIM, AI and DA. This work presents a comparison of the interest that professionals and academics have had in this methodology and technological tool, analyzing the most recurrent topics that have been investigated in the management of construction projects and the advantages of using them to improve decision making, giving a greater advantage to the use of these new tools.

* Degree Work

**Faculty of Physical-mechanical Engineering. Civil Engineering School. Director: Guillermo Mejía Aguilar. Ph.D in Construction Project Management.

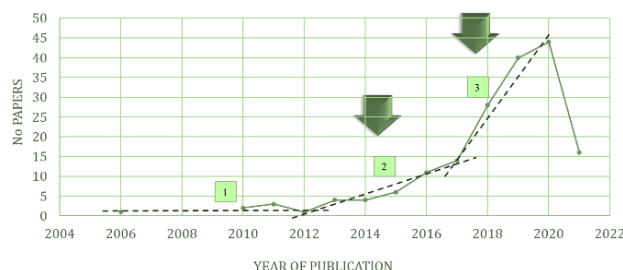
Introducción

El modelado de información de construcción (BIM) ha cambiado drásticamente la forma como nos relacionamos con un proyecto, como representamos su información, y como lo gestionamos, permitiéndonos recopilar y analizar con mayor eficiencia los datos y la información que se generan durante su ciclo de vida. El uso de nuevas metodologías, como el BIM, su relación con la inteligencia artificial (IA) y la analítica de datos-DA (Data Analytics), mejora eficientemente la administración de los datos y la información de un proyecto, integrando diferentes áreas de conocimiento de gestión, diseño y análisis de proyectos, logrando facilitar y teniendo mayor eficiencia en la toma de decisiones.

Un análisis y revisión preliminar de literatura especializada muestra el crecimiento del interés de estas temáticas a lo largo del tiempo, como se aprecia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** A partir de la siguiente ecuación de búsqueda en la base de datos Scopus: BIM AND (ANALYTICS OR "ARTIFICIAL INTELIGENCE" OR AI))), realizada el 21 de marzo del 2021, se observa un incremento considerable en las publicaciones sobre estas temáticas, lo cual sería interesante indagar sobre las tendencias actuales que aborda la gestión de la construcción.

Figura 1.

Bibliometric analysis: BIM & [Analytics – AI].



Nota. Búsqueda realizada el 21 de marzo del 2021

En los últimos años de publicaciones se puede evidenciar los beneficios que aporta la implementación de esta metodología BIM, como lo demuestran algunos estudios. Marzouk & Enaba (2019), argumentan que las herramientas BIM facilitan el análisis de datos sobre el desempeño en proyectos de construcción, haciendo énfasis en como BIM ayuda significativamente a organizar y unificar los datos en un proyecto y muestra, además, como se ha expandido rápidamente la necesidad de usar estas herramientas en conjunto con la IA y la minería de datos. Adicionalmente, se argumenta que la integración BIM mejora la toma de decisiones en el modelado y el diseño, pudiendo detectar rápidamente fallas en la construcción (Ram, Afridi, & Khan, 2019). BIM está ganando terreno en todo el mundo, aportando significativamente en la reducción de costos durante el ciclo de vida de un proyecto y en los tiempos de finalización reducidos (Arthur, Lark, & Li, 2017).

Sin embargo, no hay muchas publicaciones que aborden esta metodología BIM y su implementación con IA y DA en las áreas de conocimiento de la gestión de proyectos de construcción. Por ende, es necesario comenzar a entender cuáles podrían ser las ventajas de usar herramientas, soluciones tecnológicas y metodológicas que integren BIM, IA y DA. Por consiguiente, el presente trabajo de investigación pretende contribuir con dicha intención.

1. Marco Teórico

Para establecer un marco conceptual que permita poner en común las diferentes acepciones de los conceptos abordados en este estudio, se proponen las siguientes definiciones de los temas centrales a investigar:

1.1. Building Information Modeling –BIM

El modelado de información de construcción –BIM (Building Information Modeling) es el proceso, práctica y la construcción virtual a lo largo del ciclo de vida de la construcción [4]. Se trata de una metodología diferente en el modo de analizar las construcciones, es decir, como funcionan y se ejecutan (Choclán Gámez, Soler Severino, & González Márquez, 2014). BIM no solamente hace referencia a un software, sino a un recurso de conocimientos que nos permite obtener información en un diseño en 3D, con el fin de visualizar y organizar todos los datos de la construcción antes que este se lleve a cabo en tiempo real. BIM, a lo largo del tiempo, nos ha traído diversos beneficios, logrando reducir incertidumbres para así permitir la finalización exitosa de los proyectos de construcción (Memon, Rahman, Memon, & Iffah Azm).

Cabe señalar que las herramientas BIM facilitan la toma de decisiones en varios aspectos de los proyectos de construcción, ya que permite interactuar con cada uno de los interesados la información o datos del proyecto de manera oportuna desde diversas estaciones de trabajo, lo cual resulta ser conveniente y ventajoso para la ejecución y rendimiento del proyecto (Yin, Liu, Chen, & Al-Hussein, 2019). Asimismo, cuando se inicia la vida del proyecto la información se enriquece de manera constante hasta entregar en funcionamiento lo proyectado (Ocampo, 2015). Lo más interesante es que, BIM puede ser utilizado a lo largo del ciclo de vida de un proyecto de construcción; BIM estaría en su diseño, planificación, construcción, funcionamiento, reparación,

mantenimiento y por supuesto su demolición promoviendo así la sostenibilidad y trabajo de manera conjunta (Yin, Liu, Chen, & Al-Hussein, 2019).

BIM, también, ha contribuido a soluciones de construcciones ecológicas para mejorar el medio ambiente, además de la minimización y optimización de residuos debido a malas técnicas de construcción o desperdicios de materiales (Lukumon O., y otros, 2015). Por otro lado, para la evolución del ciclo de vida (ACV) enfocada en BIM se llegó a la conclusión de que BIM puede simplificar la entrada de datos y optimizarlos (Choclán Gámez, Soler Severino, & González Márquez, 2014). Del mismo modo BIM se encuentra en diversas fases del proyecto tales como:

- ✓ Diseños acerca del proyecto de inversión
- ✓ Procesos contractuales
- ✓ Diseños de modelos tanto arquitectónicos, estructurales, estudios técnicos, etc.
- ✓ Administración de la edificación en cualquier etapa de su ciclo de vida.

Una de las virtudes de BIM es que ofrece nuevas oportunidades apuntando hacia el diseño y la visualización por ordenador de los edificios industrializados brindándoles una mayor productividad y rentabilidad (He, Li, Gan, & Ma, 2021). Además de que juega un papel muy importante en el sector de la construcción ya que mejora la eficiencia del trabajo gracias a la interoperabilidad que a su vez es esencial para la eficiencia en el uso de los datos (Zhou, Hu, Lin, & Zhang, 2020). Cabe mencionar que BIM fusionándose con otros recursos como lo es la IA, Big data, DA, entre otros, han logrado grandes avances en esta área de investigación que hoy en día podemos gozar

1.2. Inteligencia Artificial IA en la Industria de la Construcción.

La inteligencia artificial (IA) a medida que transcurre el tiempo ha tomado gran importancia, convirtiéndose en un pilar esencial en la forma de llevar a cabo un proyecto de construcción (Pan & Zhang, 2020).

La IA en términos generales se define como una de las ramas de las ciencias de la computación, concretamente en el campo de la informática, centrándose así, en el desarrollo de software o máquinas que exponen una inteligencia humana con la finalidad de realizar tareas y tener la capacidad de mejorar iterativamente a partir de la información que recopilan (Libro online de IAAR). Esto resulta ser muy bueno y ventajoso ya que ayuda a impulsar a los ordenadores a percibir y aprender entradas como el ser humano para la representación del conocimiento, razonamiento, resolución de problemas y no más importante la planificación. Logrando hacer que el proceso de gestión de proyectos sea mucho más automatizable y objetivo (Pan & Zhang, 2020).

La IA nos ofrece una nueva visión desde qué imaginar y como poder aprovechar la información existente, también los datos y como optimizar las diversas alternativas de diseño a través de algoritmos (Pampliega, 2019). De esta manera, la IA permite examinar exhaustivamente una gran cantidad de datos del BIM logrando así extenderse significativamente en la ejecución y los procesos que se llevan a cabo dentro de un proyecto con el fin de tener un mejor control continuo y riguroso. Habría que mencionar también que se puede tener respuestas rápidas a un complejo flujo de trabajo, optimizando el tiempo, costos y reduciendo futuros riesgos entre otros factores (Pan & Zhang, 2020).

En el sector de la construcción se manejan gran cantidad de datos y muchas veces gran parte de estos se vuelven obsoletos o no se reutilizan debido a que no hay un orden, por lo que una de las grandes ventajas de la IA es el análisis de grandes cantidades de datos para así tener mayor aprovechamiento de la información para futuros proyectos (Pampliega, 2019). Otro rasgo a destacar es que a la hora de integrar BIM con IA se podría facilitar el procesamiento de datos y la toma de decisiones en reconocer los riesgos del calendario del proyecto y optimización de la logística (Wang, Wang, Sepasgozar, & Zlatanova, 2020).

Cabe mencionar que la IA está alterando todos los ámbitos de la vida, lo cual resulta un potencial espectacular ya que aumentaría la eficiencia laboral en un 40% y duplicaría las tasas de crecimiento económico anual para el 2035 (Pan & Zhang, 2020). Finalmente se muestra gran atención en implementar múltiples métodos de IA en el ámbito de la ingeniería y gestión de la construcción, como aprovechamiento de la evolución digital para mejorar el rendimiento y la rentabilidad de los proyectos (Pan & Zhang, 2020).

1.3. Analítica de Datos en la Industria de la Construcción

Cada día el sector de la construcción está generando de manera exponencial datos e información. Debido a este gran aumento y gracias al avance tecnológico el gobierno de la información y la analítica se han convertido en dos de los procesos más urgentes del sector (Callahan, Leins, Lounsberry, Nair, & Williams, 2019).

La Analítica de Datos – DA (Data Analytics) es una técnica para examinar los datos en bruto implicando la aplicación de procesos algorítmicos con el fin de poder obtener información y efectuar varias técnicas para buscar correlaciones significativas entre sí; en otras palabras, es el

proceso de examinar grandes conjuntos de datos para detectar tendencias y sacar conclusiones sobre la información que contienen, lo cual resulta ser muy ventajoso para los proyectos de construcción por el gran volumen de datos que se maneja y se tendría como finalidad desarrollar un mejor panorama a la hora de ejecución, gestión y control. Un concepto generado desde DA es el Big Data (BD), que se define como los activos de información a gran volumen, alta velocidad y/o alta variedad que exigen formas rentables e innovadoras para el procesamiento de la información lo cual nos posibilita a mejorar la visión, la toma de decisiones y por supuesto la automatización de los procesos (Akhavian & Mansouri , 2018).

La creciente disponibilidad de tecnologías del BD hace que sea uno de los factores para que el sector de la construcción adopte estos usos y así contribuir con la digitalización de la industria (Akhavian & Mansouri , 2018). Por otro lado, el BD puede gestionar el almacenamiento y el procesamiento de masivos conjuntos de datos en virtud de sus 3 capacidades (i.e Volumen, Velocidad y Variedad) (Muhammad, y otros, 2016)in construction project management. Así mismo, el uso del BD permite analizar, usando métodos estadísticos multivariados, grandes conjuntos de datos para predecir el tiempo total del ciclo de operación de la construcción y acertar con precisión de la estimación en las primeras etapas de los proyectos a realizar. El BD está alterando la dinámica operativa de las empresas debido a la gran innovación de productos y servicios haciendo mejoras en la productividad, toma de decisiones y las capacidades organizativas. No obstante, la adopción del BD es de gran importancia para lograr grandes eficiencias en la construcción dado que facilita la extracción de datos además de encontrar nuevos conocimientos, como obtener un mejor entendimiento de los factores que causan retrasos en el trabajo (Ram, Afridi, & Khan, 2019).

El BD y BIM han tenido una gran relación por lo que generan muchos beneficios como por ejemplo la mejora de la eficiencia del modelado y el diseño, además la identificación de las causas de los fallos constructivos, detección de daños en las estructuras de las edificaciones, supervisión de la maquinaria pesada y la mano de obra (Ram, Afridi, & Khan, 2019). Adicional a esto, el BIM muestra mayor potencial de integración con los conceptos de Data Analytics en la eficiencia de los procesos utilizando las técnicas de análisis de datos (Akhavian & Mansouri , 2018). Cabe recalcar que BD-BIM se utiliza también en el FM (Facility Management) para predecir la eficiencia operativa facilitando diseños eficientes, minimizando los residuos, mejorando los costes y estimaciones de tiempo obteniendo una programación optimizada. Otra de las grandes ventajas de BD es el gran aporte que hace al menos en seis áreas de rendimiento de la construcción, como la planificación, ejecución estratégica, visibilidad de costes etc. Para finalizar el BD está influenciada por las capacidades de una gran organización para recopilar y mantener los datos de calidad además esta tecnología brinda magnificas capacidades que pueden permitir que una organización logre una ventaja competitiva (Ram, Afridi, & Khan, 2019).

2. Objetivos y Alcance del Estudio

Para entender cuáles podrían ser las ventajas de usar herramientas y metodológicas que integren BIM, IA y DA, el presente trabajo planteó los siguientes objetivos generales y específicos:

2.1. Objetivo General

- ✓ Analizar los temas recurrentes y emergentes que se han investigado en gestión de proyectos de construcción haciendo uso de las herramientas de modelado BIM y de analítica de datos.

2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Identificar y describir las investigaciones registradas en la base de datos Scopus, sobre el desarrollo de herramientas de gestión que involucren el modelado BIM, Analytics e inteligencia artificial
- ✓ Identificar y describir las investigaciones publicadas por la Asociación para el avance de la ingeniería de costos (AACE Internacional), sobre el desarrollo de herramientas de gestión que involucren el modelado BIM, Analytics e inteligencia artificial.
- ✓ Realizar un análisis comparativo entre lo registrado en Scopus y la AACE sobre el ciclo de Desarrollo BIM incluyendo el ciclo de vida del activo, el ciclo de desarrollo del proyecto, y el ciclo de vida de la información.

2.3. Alcance- Resultados Esperados

Esta investigación va dirigida al campo de la gestión de proyectos, específicamente a proyectos de construcción, considerando el siguiente alcance:

En esta investigación se trabajará con las publicaciones reportadas en las bases de datos de SCOPUS y ACCE internacional.

- ✓ Las publicaciones de los artículos que abordará esta investigación serán aquellas reportadas hasta el mes de abril del año 2021.
- ✓ El principal resultado de esta investigación es analizar los temas recurrentes y emergentes que se han investigado en gestión de proyectos de construcción haciendo uso de las herramientas de modelado BIM y de analítica de datos.

Se espera fortalecer los conceptos y la importancia del BIM, Analítica e Inteligencia Artificial que ha ido evolucionando y aportando en el sector de la construcción para la mejora de

3. Metodología

Las herramientas metodológicas empleadas en esta investigación están enfocadas en la implementación y aprovechamiento de los nuevos programas computacionales de análisis de textos que permiten mejorar el procesamiento de los datos a través de técnicas lingüísticas, estadísticas y de aprendizaje automático en donde permiten convertir los datos de texto no estructurados en datos significativos; estos adquieren un valor real cuando son analizados con el objetivo de extraer el mayor conocimiento (Vásquez, 2019). A continuación, se explicará por fases la metodología propuesta.

3.1. Fase 1: Selección de Literatura

Esta investigación exploró el estado del arte de las tendencias de BIM, IA y DA en construcción, mediante un análisis bibliométrico- cualitativo. Se identificaron los principales temas de investigación que giran alrededor de estos tres campos, basándose en publicaciones académicas identificadas en las bases de datos Scopus y de la AACE Internacional.

Se analizaron tres períodos de desarrollo: el primer período comprendió del año 2000 hasta el 2010; el segundo período del 2010 al 2016; y, por último, del 2017 hasta la fecha de búsqueda (abril 2021), como se observó en la Figura 1.

3.1.1. Scopus

Una de las razones por la cual se escogió Scopus como fuente de datos bibliográfica es que tiene mayor cobertura en el ámbito de la búsqueda en la construcción en comparación con otras bases de datos como por ejemplo Google Scholar. [6]. Se utilizó la siguiente ecuación de búsqueda: (TITLE-ABS-KEY (BIM AND (ANALYTICS OR "ARTIFICIAL INTELLIGENCE" OR AI) en

donde arrojó como resultado 174 artículos que hablan del tema. Una vez de haber obtenido los 174 artículos, se clasificaron y organizaron en un archivo de Excel, ver Tabla 1.

Luego, con base al abstract de cada artículo, se procedió a identificar el propósito y la finalidad de cada artículo relevante al tema en torno a la gestión de proyectos (Ver Tabla 1) para poder hacer una mejor interpretación y que los respectivos programas informáticos procedan con el análisis de texto. Se realizó un análisis predictivo con base a la minería de datos con los programas Orange y VOSviewer con la finalidad de saber que temas ha estado abordando BIM-Analytics & AI de manera conjunta en los últimos años.

Tabla 1.

Resultados de la búsqueda de los 174 artículos obtenidos de la base de datos Scopus

Authors	Year	Source title	Cited by
Han K.K.	2017	Automation in Construction	92
Title	Potential of big visual data and building information modeling for construction performance analytics: An exploratory study		
Abstract	The ever increasing volume of visual data due to recent advances in smart devices and camera-equipped platforms provides an unprecedented opportunity to visually capture actual status of construction sites at a fraction of cost compared to other alternatives methods. Most efforts on documenting as-built status, however, stay at collecting visual data and updating BIM. Hundreds of images and videos are captured but most of them soon become useless without properly being localized with plan document and time. To take full advantage of visual data for construction performance analytics, three aspects (reliability, relevance, and speed) of capturing, analyzing, and reporting visual data are critical. This paper 1) investigates current strategies for leveraging emerging big visual data and BIM in construction performance monitoring from these three aspects, 2) characterizes gaps in knowledge via case studies and structures a road map for research in visual sensing and analytics. © 2016 Elsevier B.V.		

Authors	Year	Source title	Cited by
Findings	To take full advantage of visual data for construction performance analytics, three aspects (reliability, relevance, and speed) of capturing, analyzing, and reporting visual data are critical.		
Purpose	This paper 1) investigates current strategies for leveraging emerging big visual data and BIM in construction performance monitoring from these three aspects, 2) characterizes gaps in knowledge via case studies and structures a road map for research in visual sensing and analytics.		

Nota. Tabla completa en Apéndice A

3.1.2. AACE International

Por sus siglas (Association for the Advancement of Cost Engineering International), es una asociación de gran importancia debido a que provee conocimientos sobre gestión e ingeniería de costos a lo largo del ciclo de vida de cualquier proyecto. Esta base de datos se seleccionó por lo que sus artículos técnicos nos brindan un punto de vista con base a la experiencia por ingenieros que están en práctica permanente.

Se utilizaron ecuaciones de búsqueda, utilizando las palabras claves como “BIM”, “ANALYTICS”, “ARTIFICIAL INTELLIGENCE”, “IA”, seleccionando en total 100 artículos: 55 artículos relacionados con BIM, 26 con IA y 19 con Analytics. Luego, se procedió a ingresar los artículos en un archivo xls de Excel ordenándolos por authors, year, source title, title y abstrac. Ver Tabla 2.

Tabla 2.

Resultados de la búsqueda de los 100 artículos obtenidos de la AACE International.

Authors	Year	Period	Source title
Leeka	2018	[2018-2021]	PM.2886
Title	Improving Portfolio Management through Integrated Master Schedules and Dashboard Analytics		
Abstract	On time and on budget: these are targets not easily achieved—and often missed. The specific project management practices that drive success are challenging to identify, let alone adjust as the project proceeds. As the backbone to project management, project schedules and related reportingstruggle to provide actionable, insightful information and often fall short of integratingproject dependencies and shared resources across programs and business units.A comprehensive integrated master schedule (IMS) canbreak down siloes between project stakeholders, consolidate disparate information, and track progress holistically. Data-driven dashboard reporting tools can then integrate related project data such as cost and risk, analyze progress against program benchmarks, and visualize progress. By first developing a comprehensive, integrated, and confirmed master schedule,then utilizing dashboardreporting and schedule analytics,organizations can reduce the likelihood of human error in the reporting process. Thisincreasesconfidence across the leadership levels of the portfolio and enabling objective, data-driven decisions to improve project delivery		
Purpose	By first developing a comprehensive, integrated, and confirmed master schedule,then utilizing dashboardreporting and schedule analytics,organizations can reduce the likelihood of human error in the reporting process.		
Findings	This increases confidence across the leadership levels of the portfolio and enabling objective, data-driven decisions to improve project delivery		

Nota. Tabla completa en apéndice B.

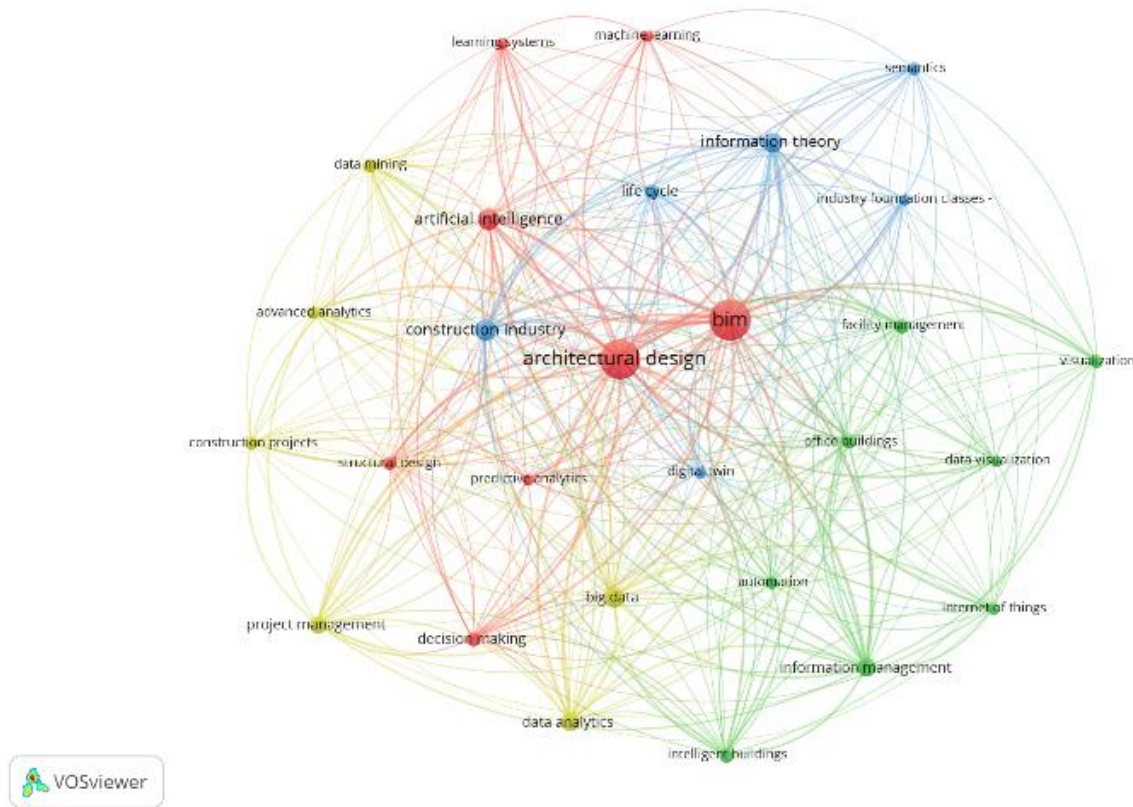
De manera análoga, con base al abstract de cada artículo, se procedió a identificar el propósito y la finalidad de cada artículo relevante al tema en torno a la gestión de proyectos para poder hacer una mejor interpretación y que los respectivos programas informáticos procedan con el análisis de texto. Ver Tabla 2.

3.2. Fases 2: Análisis con VOSviewer

Esta herramienta permitió obtener las palabras más frecuentes en los artículos de las bases de datos, generando mapas y redes temáticas basadas en la distancia de la co-ocurrencia de las palabras claves como se puede observar en la Figura 2.

Figura 2.

Mapa de redes Bibliométricas (Network visualization) VOSviewer, ver en anexo 3.



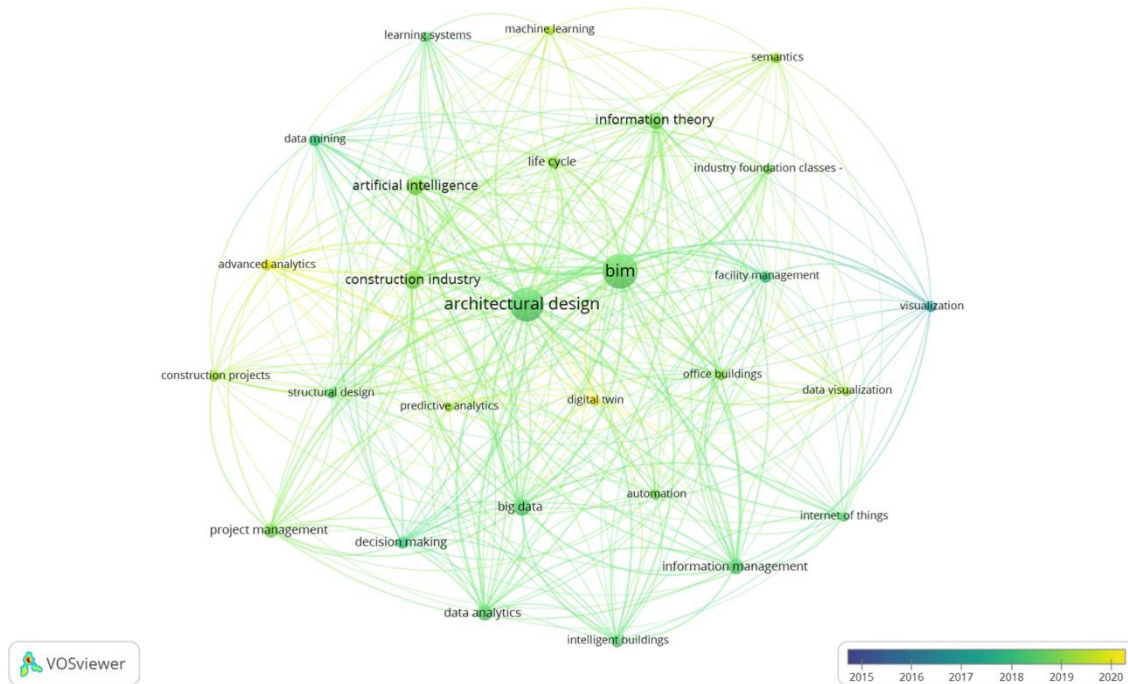
Nota. Ver en Apéndice C.

Se pudo evidenciar un primer mapa basado en el número de co-ocurrencia de 10 veces para las palabras clave. Con este resultado preliminar, se hace una idea de hacia dónde tienden los temas

de los artículos. Así mismo, se analizó la tendencia temática a lo largo del tiempo haciendo uso de la función Overlay Visualization como se observa en la Figura 3.

Figura 3.

Mapa de redes Bibliométricas (Overlay visualization) VOSviewer



Nota. Ver en Apéndice C.

Se realizó un segundo análisis preliminar haciendo uso de otras funciones del software: en este caso se creó un mapa basado en datos de texto, con el mismo objetivo de identificar las palabras más frecuentes en el título y resumen de cada artículo, e igualmente con el propósito y los resultados descritos en el abstract. Se utilizó la opción de Full counting y un filtrado de palabras. De esta manera, se identificaron los grupos de temas tratados en los artículos y la forma en que las palabras se encuentran agrupadas a través de los clusters, que se visualiza en la red bibliométrica.

3.3. Fase 3: Análisis por el Software Orange

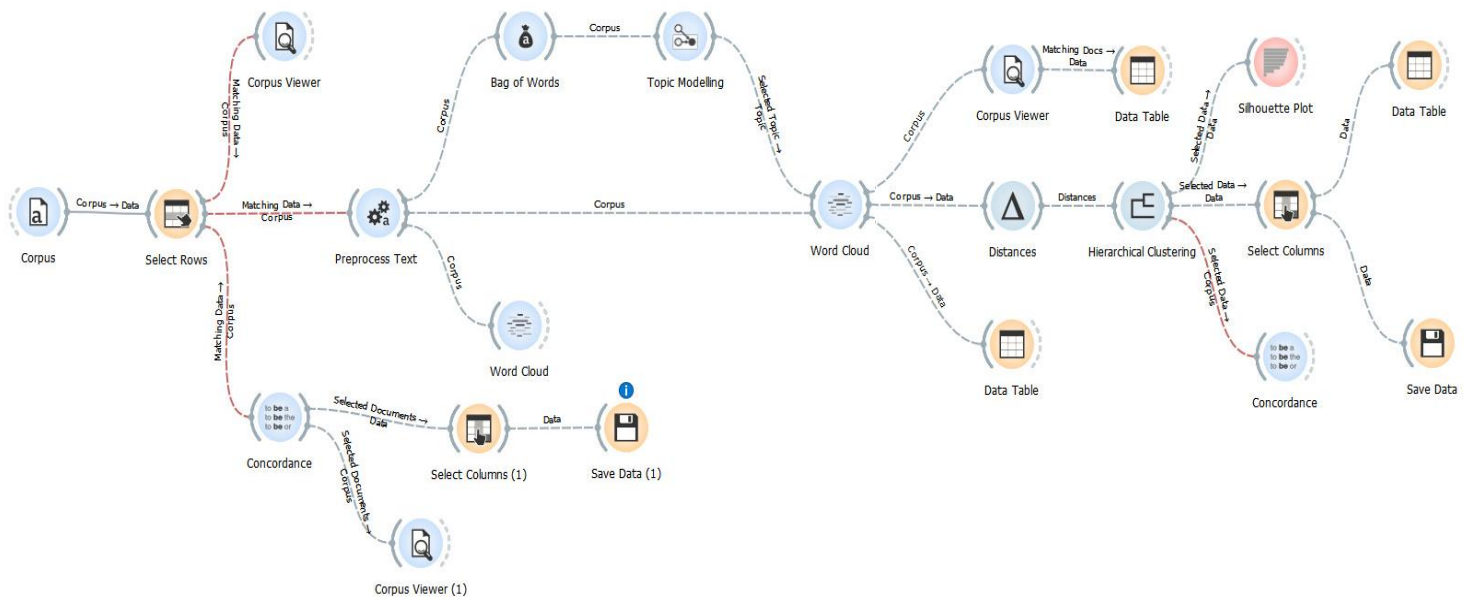
Partiendo de las tablas de datos de Excel, donde se organizaron los artículos proporcionados por SCOPUS y de la AACE, se procedió a utilizar el programa informático Orange Data Mining el cual trabaja con la minería de datos e inteligencia artificial, para hacer el modelado de temas (Topic Modeling por sus siglas en ingles).

El modelado de temas es un tipo de modelado estadístico de lenguaje que se utiliza para descubrir la estructura oculta en una colección de textos de una forma más práctica (Kapadia, 2019). En términos simples, es identificar tópicos o temas en textos y esto se logra detectando patrones en una colección de documentos llamado “corpus”, agrupando todas las palabras que aparecen en los documentos como tópicos; Se denomina tópicos como “una función de densidad $p_i(w)$ donde w es una palabra y p_i es la función de densidad para el tópico i . por lo tanto, $p_i(w)$ es la probabilidad de la palabra w dado el tópico i ” (Hammoe, 2018). El topic modeling se basa en el algoritmo llamado Latent Dirichlet Allocation (LDA), dado que es un modelo probabilístico generativo en donde cada palabra puede ser generada a partir de un tópico para cada documento, esto se origina a partir de una distribución de Dirichlet por lo que LDA concede que un documento sea parte de varios tópicos y todos con un peso diferente (Hammoe, 2018).

En Orange, se realizó un flujo de trabajo partiendo de la función Corpus en donde se analizaron las columnas de textos denominadas tittle y purpose, con el fin de buscar las palabras más significativas de los diferentes artículos, cabe mencionar que la información se filtró por autor para una mayor facilidad e interpretación.

Figura 4.

Flujo de trabajo con los 174 artículos obtenidos por la base de datos SCOPUS.



Nota. Ver en Apéndice D.

El flujo de procesos desarrollado en Orange, utilizó la herramienta “preprocess text” para extraer información significativa de un conjunto de documentos, eliminando aquellas palabras no relevantes en el análisis por medio de la función “Stopwords”. Así mismo, se eliminaron todo tipo de signos de puntuación usando la función “Regex” y se hizo uso de “Document Frequency” el cual permitió definir los tokens (o palabras clave) que aparecen en cierto porcentaje de documentos. Se seleccionó la opción “Absolute” con el objetivo de mantener las palabras dentro de un rango entre 10 y 150 documentos. Finalmente, el algoritmo denominado bolsa de palabras se utilizó para saber cuántas veces aparece cada palabra en el texto llegando así al topic modeling.

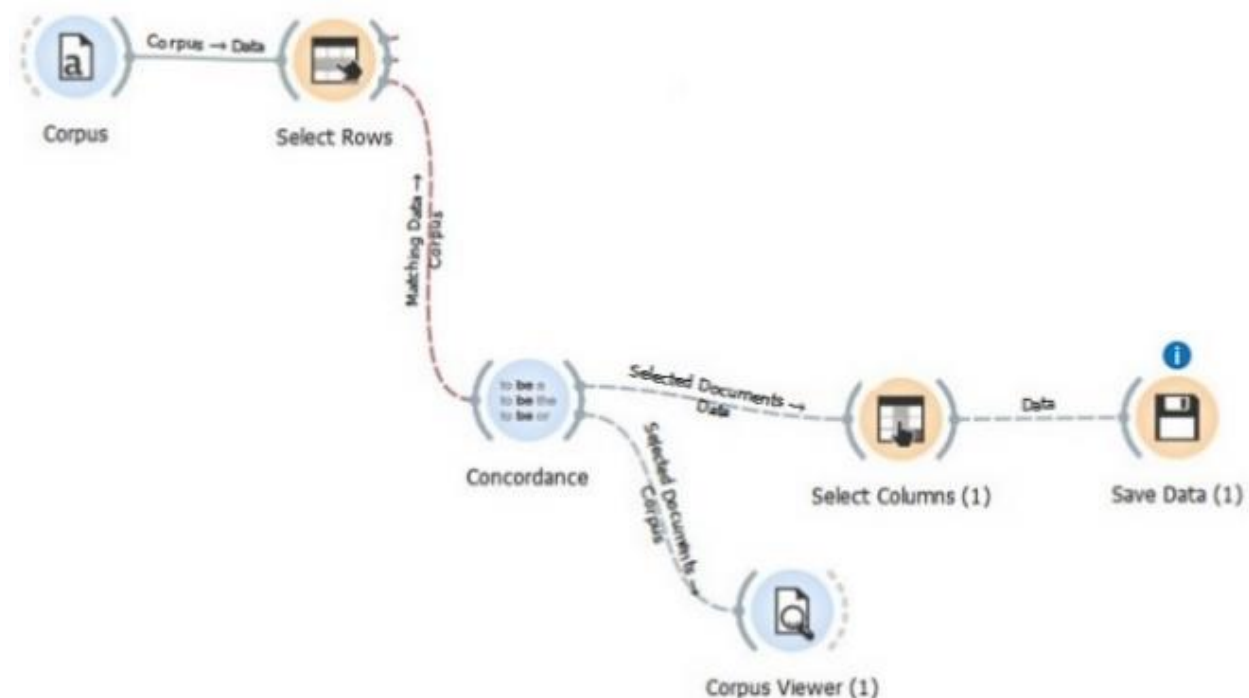
Este procedimiento permitió revisar los 174 artículos recolectados en Scopus y descartar 23 documentos que ciertos artículos no eran relevantes para esta investigación ya que no se enfocaban en la parte de la gestión de proyectos, quedando un total de 151.

3.4. Fase 4. Categorización de los Artículos

El flujo de trabajo de la (Figura 5), permitió identificar de los 151 artículos, mediante la función “concordance”, aquellos artículos que pertenecen a alguna de las siguientes categorías: management, design y analysis asumiendo estas tres categorías como una primera categorización de artículos. Estas tres categorías fueron identificadas con base en el análisis temático de VosViewer.

Figura 5.

Flujo de trabajo para categorizar los 151 artículos



Nota. Ver en Apéndice E.

Finalmente, en una herramienta de visualización gráfica, que para este caso se empleó Xmind, se organizaron los 151 artículos, con una segunda caracterización (i.e. BIM, Analytics, y IA) ordenando en cada categoría los 10 artículos más citados por su título, autor y año respectivo con el fin de tener una mejor comprensión de los temas en los artículos escogidos, lo cual se puede observar más adelante en la Figura 19.

3.5. Fase 5: Análisis de Texto a través del Software Power BI + Microsoft Azure

En esta investigación se realizó un análisis adicional por medio del software Power BI Desktop, en conexión con Microsoft Azure, con el objetivo de identificar los patrones, frases claves y datos de interés que aborda cada artículo.

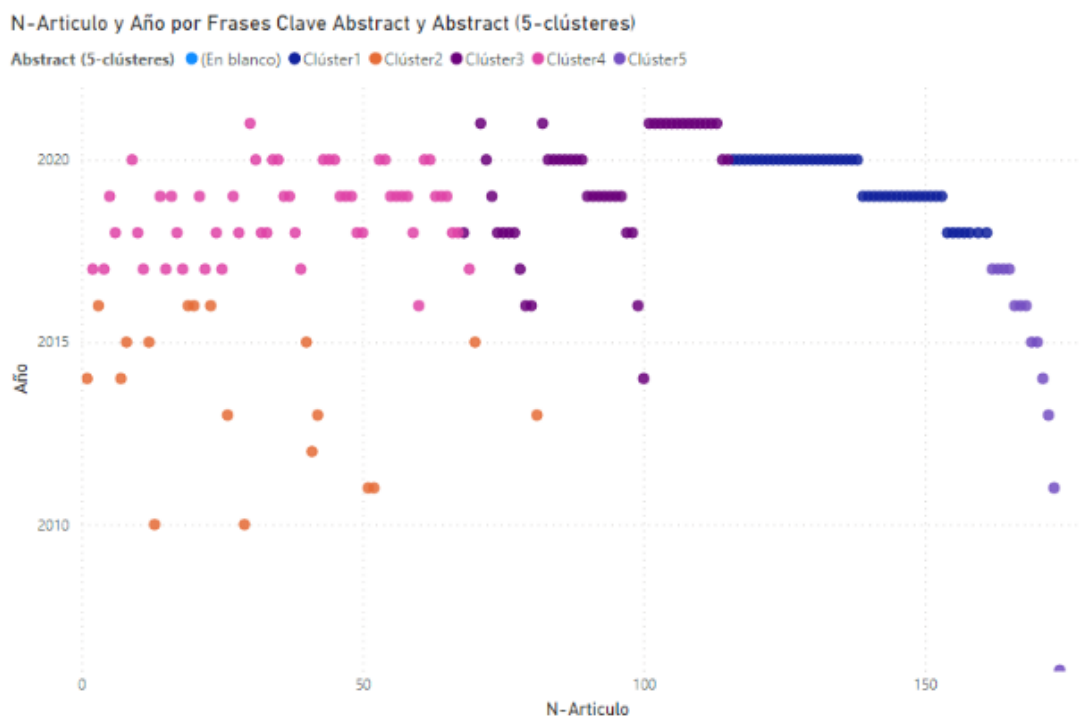
Power BI es una herramienta de Microsoft que trabaja con elementos visuales basados en IA, que permite realizar análisis de datos con Microsoft Azure, usando algoritmos de Machine Learning (Aprendizaje automático). Así, se puede identificar de manera rápida los principales patrones de una colección de documentos (De la Sierra, 2021).

A través de la opción de Power Query en Power BI, haciendo uso de la función análisis de texto que fue creada con códigos en lenguaje M, se extraen las frases claves de los Abstracts y Author keywords de una lista de artículos a analizar.

El último paso fue buscar una herramienta que ayudara a agrupar los artículos a partir del análisis de frases clave hecho anteriormente, para ello, se crearon los cluster a partir de un gráfico de dispersión donde una vez estuvieron graficados los datos del abstract se procedió a crear la agrupación de 3 cluster y simultáneamente 5 cluster, para un mejor análisis ver Figura 8.

Figura 8.

Agrupación de los artículos por 5 cluster POWER BI.



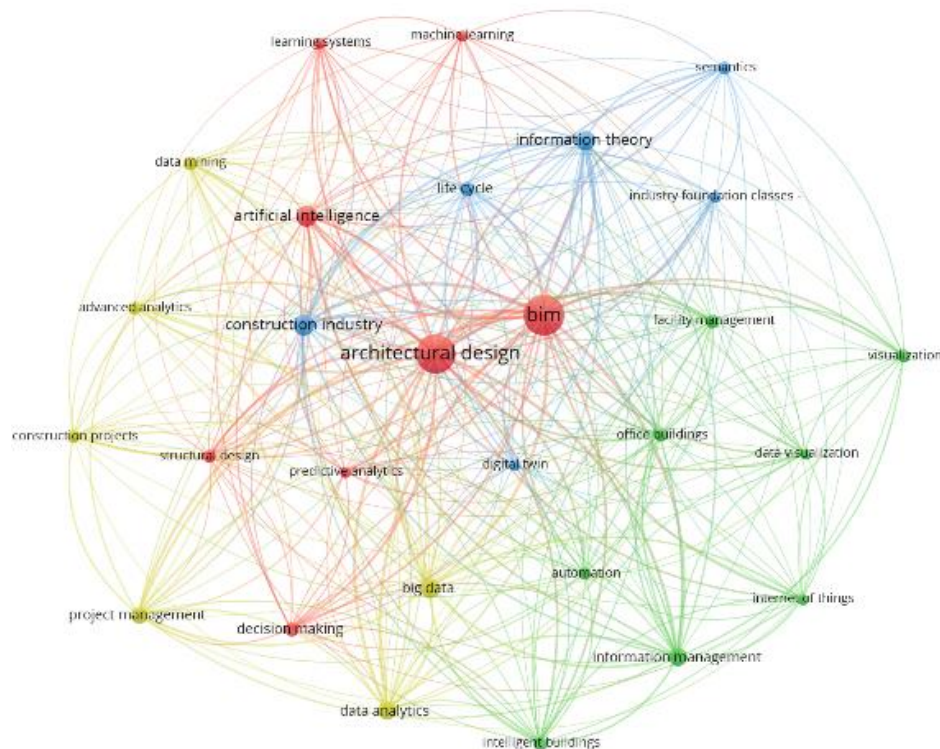
Luego del trabajo con Power Bi en conexión con Microsoft Azure, se evidenció que la agrupación de los artículos a través de los cluster por medio de este programa tuvo una gran diferencia con las primeras categorizaciones, por ello, se recomienda en esta investigación realizar las agrupaciones como se planteó en las primeras fases a través de los softwares VosViewer y Orange y se descarta los resultados obtenidos por este software.

4. Resultados y Discusión

A través del mapa de redes bibliométricas se logró identificar dos esquemas de caracterización para el análisis por medio de clusters, que son grupos de palabras que contienen cierta relación entre sí: un esquema de caracterización por procesos y un esquema de caracterización temática.

Figura 9.

Mapa de redes Bibliométricas SCOPUS (Network visualization) VOSviewer.



4.1. Categorización por Procesos

Mediante el análisis por VosViewer se lograron identificar tres procesos centrales (i. e. management, design, y analysis) con los que se realizó la primera categorización de los artículos, el cual mostró la siguiente composición porcentual mostrada en las Figuras 10 y 11, tanto de los artículos de SCOPUS, como los de la AACE.

Figura 10.

Procesos abordados en los 151 artículos de la base de datos SCOPUS

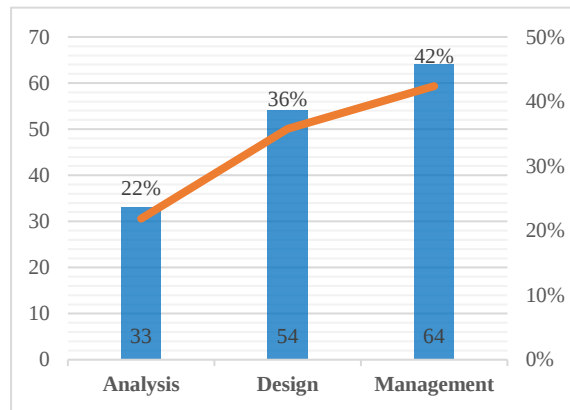
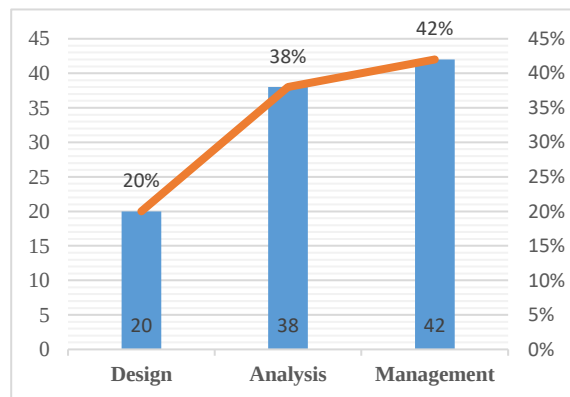


Figura 11.

Procesos abordados en los 100 artículos de la AACE Internacional



A continuación, se describen las características de las publicaciones dentro de cada proceso y de acuerdo a cada base de datos.

4.1.1. Categoría Management

- ✓ SCOPUS: Con base en los artículos de la base de datos SCOPUS se observó la predominancia del tema Management, que denota el impulso que ha tenido en los últimos años, tomando fuerza a partir de mediados del año 2018. Alrededor del 42% de los 151 artículos analizados, se centraron en el tema Management. Este tema aborda contenidos frecuentes como el facility management que, según la asociación internacional de facility management (IFMA), es una disciplina que abarca diversas áreas para consolidar y gestionar el mejor funcionamiento de las infraestructuras; otro contenido observado fue information management, que consiste en la recopilación, almacenamiento, conservación de archivos, teniendo como objetivo brindar una información estructurada y confiable. Esto puede traer mejores resultados teniendo en cuenta la participación colaborativa de la IA y la analítica de datos se puede aumentar la eficiencia y el rendimiento impulsando cada vez más innovadoras formas de trabajar controlando así la gestión del riesgo. Por otro lado, se pueden ver muchos más temas que giran en torno en estos últimos tiempos en el área de la construcción como lo es el internet de las cosas, los algoritmos de automatización y entre otros temas a analizar que hace que la gestión de la construcción tome fuerza cada día más, facilitando y optimizando los procesos para la mejora y la seguridad de los proyectos.
- ✓ AACE: Entorno a los artículos de la AACE Internacional el tema Management tuvo gran predominancia, abordando temas como Project Management su implementación en los artículos tuvo mayor relevancia en los años 2006 al 2008. Dentro de los 100 artículos

encontrados en la AACE, alrededor del el 42% del total se centraron en este proceso, que a su vez está relacionado con temáticas como BIM, Analítica de datos e IA. La aplicación de BIM tiene gran relevancia dentro del campo de la gestión puesto que al tener un buen manejo de estas herramientas y generando una excelente comunicación entre propietarios y contratistas puede ayudar a prever el éxito desde el diseño hasta su construcción, por otro lado, se puede reaccionar y actuar referente a los modelos ya que es un trabajo colaborativo y se logra ver los cambios en tiempo real estando así los demás integrantes enterados de dicha alteración, gracias a esto y entre otras funciones se puede alcanzar un máximo rendimiento y mitigar futuros impactos del proyecto a realizar (Christian & Kayhanfar, BIM . 2632 Infrastructure : Visualizing Project Success, 2017).

Durante las últimas décadas, la AACE internacional y la comunidad de gestión de proyectos han propuesto soluciones para aumentar la madurez y conocimiento de la gestión y el control de los proyectos; es por esto que uno de los temas de sus investigaciones es utilizar las herramientas de la IA para comprender mejor los costos del ciclo de vida, con base a un modelo denominado modelo de costo total del activo, con la finalidad de reducir errores y tener una mejor toma de decisiones logrando grandes avances en el área de la construcción (Foster, 1986).

Por último, se observó que la analítica de datos ha contribuido a la gestión, como una herramienta de información o enfocándose en los datos, para integrar información del proyecto como por ejemplo los costos y el riesgo, para analizar el avance de dicha gestión, y mejorar la toma de decisiones, todo esto para tener un gran éxito en el proyecto (Leeka, Weston, Mextorf, & Jhons, 2018).

4.1.2. *Categoría Design*

- ✓ SCOPUS: Un segundo tema de gran interés dentro de los artículos de la base de datos SCOPUS fue Design, su auge predomina en los años 2017-2019, su implementación se centró en un 36% de los 151 artículos como se pudo ver en la Figura 10, siendo eje central en 54 artículos. Es tema de suma importancia ya que es evidente que para la ejecución de un proyecto de construcción es indispensable la integración de una serie de pasos que permitan llevar a cabo el proyecto con una buena calidad, por ejemplo, la planificación y el diseño. Se sabe que el diseño es fundamental ya que las estructuras de las edificaciones necesitan estar en las mejores condiciones respetando las normativas establecidas por la ley como la NSR-10 teniendo como fin un proyecto estable y firme, brindando seguridad en el inmueble y así prever futuros desastres.

Así bien, se puede ver que design tiene relación con el BIM y la IA por su corta distancia en la red; Cabe mencionar un aspecto importante y es que se está abordando los temas del algoritmo de machine learning, lo cual viene siendo una asociación con la IA y la automatización en donde resulta ser ventajoso debido a que se puede facilitar la toma de datos o enviar alertas cuando puedan aparecer problemas de gran impacto en el proyecto (Pampliega, 2019). En los artículos se ha observado una implementación del diseño con metodología BIM e IA, que permite digitalizar el modelo completo del proyecto sin haber comenzado la construcción, para mejor ejecución en los proyectos y estimaciones de los costos y el tiempo.

- ✓ AACE: En la búsqueda de los artículos pertenecientes a la AACE Internacional se encontró un segundo proceso de gran importancia, Design, en el análisis se encontraron 20

documentos girando en torno a Design, siendo el 20% del total de los artículos, estas publicaciones rondan alrededor del año 2009 hacia el 2021, entre los artículos más recientes del año 2021 se tienen temas centrados en BIM, donde se implementa esta metodología para realizar una modelización con el fin de realizar análisis de ruta crítica para futuros retrasos, por lo que se enfatiza en comparar el estado del proyecto construido con lo planificado, con el objetivo de visualizar la diferencia de tiempo que se genera en el rendimiento durante la ejecución del proyecto, esto es posible gracias a un modelo 4D el cual se centrará en un análisis del método del camino critico (CPM) para así determinar el retraso y las ramificaciones de ello (Carson C. , Drmp, Faace , Janjua, & Beaumont, 2021) . Esta investigación es de gran avance e importancia puesto que se sabe que uno de los aspectos más exigentes para el éxito de un proyecto es la entrega a tiempo y sin sobrecostos, por ende, gracias a estos descubrimientos se puede lograr tener una mejor planificación, seguimiento y control.

Por otro lado, no solo el BIM ha estado evolucionando en torno al diseño sino también la inteligencia artificial puesto que se ha logrado dar debates sobre las plataformas tecnológicas adecuadas que puedan enriquecer sobre conocimientos para el diseño, planificación y la entrega de activos críticos con grandes enfoques hacia el BIM, la entrega digital, realidad aumentada entre otros (McKim, 1993). Esto entre otras cosas el diseño hace parte de una de las categorizaciones puesto que es muy importante en el área constructivo, un buen diseño es un proyecto seguro y confiable.

4.1.3. *Categoría Analysis*

- ✓ SCOPUS: Finalmente se encontró un tercer tema de gran interés, Analysis, que ha venido tomando fuerza en los últimos años, estando presente en alrededor del 22% de los 151 artículos, es decir, fue eje central en 33 artículos. Se observó que hay un creciente interés por temas como la analítica de datos, el Análisis Predictivo, Big Dta, AI y el uso de algoritmos de Machin Learning que han permitido dar un mayor aprovechamiento a los datos examinándolos en grandes proporciones con el fin de detectar tendencias y patrones que permitan mitigar los riesgos, prediciendo problemas futuros. Cada día la cantidad de información que se encuentra presente un proyecto aumenta masivamente, las industrias buscan aprovechar el poder integrado en los abundantes datos, en los los últimos años la metodología BIM se ha venido integrando con el análisis de datos, se ha evidenciado el alto potencial que ofrecen en la evolución tecnológica en la industria, mejorando los procedimientos y facilitando la toma de decisiones en un proyecto (Mansouri & Akhavian, The Status Quo and Future Potentials of Data Analytics in AEC/FM: A Quantitative Analysis of Academic Research and Industry Outlook, 2018). El uso de tendencias tecnológicas y la digitalización permiten a las industrias mejorar la eficiencia, los plazos y la gestión de riesgos a través de la recopilación y el análisis de datos (Mansouri, Castronovo, & Akhavian, Analysis of the Synergistic Effect of Data Analytics and Technology Trends in the AEC/FM Industry, 2020).
- ✓ AACE: Finalizando la categorización de los artículos pertenecientes a la AACE Internacional Se encontró el tercer proceso grueso, Analysis, en él se encontraron 38

artículos, girando en torno a dicho proceso, siendo alrededor del 38% de los 100 artículos de la AACE.

La mayoría de estos artículos rondan alrededor de los años 2008 al 2020; En adición a esto, se ha mencionado en la metodología y en la sección 5.1.3 y 5.2.2 de la importancia y los descubrimientos que se ha tenido hacia el Analysis; Es válido decir que el Analysis con la ayuda del BD han estado abriendo grandes oportunidades en el sector constructivo, debido a esto se pueden estudiar grandes volúmenes de datos para optimizar y mejorar la toma de decisiones en los procesos con el fin de tener un mayor control y efectividad en los proyectos. Esto resulta importante ya que se ha utilizado como una herramienta para minimizar los riesgos en la industria. Así mismo, se ha logrado trabajar en conjunto con la IA o gemelos digitales como lo es el modelado 3D usado para la implementación en las edificaciones logrando con ello tener una aproximación real de los resultados siendo útil durante la obra (Chin Kee, 2020).

4.1.4. Análisis comparativo SCOPUS vs AACE

En el análisis de resultados anterior se logró identificar los temas de mayor interés para la parte académica en las publicaciones de SCOPUS y para los de profesionales en la AACE. Para ambas partes la predominancia estuvo en Management, se manejó en alrededor del 42% de los artículos de SCOPUS (Ver Figura 10) e igual 42% en los artículos de la AACE ver figura (Ver Figura 11) manejando temas que buscaban dar mayor fuerza a la gestión de la construcción, creciendo en conocimientos y madurez, esto con el objetivo de mejorar los procesos de los proyectos durante su ciclo de vida e incrementar la seguridad.

Se encontró una gran diferencia en la implementación de los procesos Design y Analysis, las publicaciones de la AACE se enfocaron más en Analysis, siendo tema de mayor interés para los profesionales, en los artículos más recientes se observó el manejo de modelos de adquisición de datos de obra integrado a BIM y en los artículos se comenzaba a ver la implementación de redes neuronales para la estimación de costos. En la parte académica se encontró un mayor interés por Design, los artículos en SCOPUS, el 36% de los artículos se centraron en este proceso a diferencia de la AACE, donde solo fue 20%, dentro de los temas de interés que abordó Design en SCOPUS se encontró la práctica de sistemas inteligentes de diseño de edificios basados en BIM y la AI.

4.2. Categorización por Temática.

Luego de la primera categorización por procesos, se logró establecer un diagrama de flujo a través de software Orange Data Mining (Ver

Figura 4), el cual permitió indagar más a fondo los artículos, dando a conocer cómo se están abordando las temáticas BIM, AI y Analytics en cada proceso.

4.2.1. Temáticas BIM, AI y Analytics dentro del Proceso Management.

- ✓ SCOPUS: La implementación de las temáticas BIM, AI y Analytics dentro del proceso Management , como se observa en la
- ✓
- ✓
- ✓ **Tabla 3**, han tenido una gran aplicabilidad en la industria de la construcción.

Tabla 3.

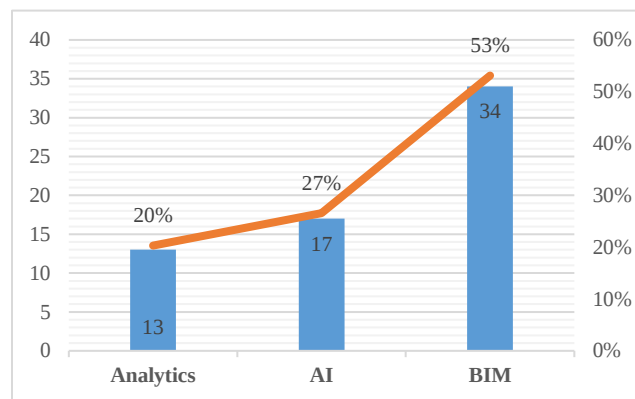
Resultados de las temáticas abordadas dentro del proceso Management, base de datos SCOPUS.

Authors	Year	Title	CATEGORY-1	CATEGORY-2
Han K.K.	2017	Potential of big visual data and building information modeling for construction performance analytics: An exploratory study	Management	BIM
Akinade O.O.	2018	Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment	Management	BIM
Bilal M.	2016	Big data architecture for construction waste analytics (CWA): A conceptual framework	Management	Analytics
Lin J.J.	2015	A framework for model-driven acquisition and analytics of visual data using UAVs for automated construction progress monitoring	Management	Analytics
Liu N.	2018	Current trend in planning and scheduling of construction project using artificial intelligence	Management	AI
Igwe U.S.	2020	Recent Technologies in Construction A Novel Search for Total Cost Management of Construction Projects	Management	AI

En la investigación se encontró que la temática con mayor relevancia dentro de este proceso fue BIM, estuvo presente en alrededor del 53% de las publicaciones, es decir, abarcó 34 de los 64 artículos pertenecientes a Management, como se puede ver en la Figura 12, desde el año 2016 al 2021. La implementación de BIM permite a través de la digitalización llevar un mejor control de los proyectos de construcción, trabajando en conjunto con Digital Twin que suministra las copias digitales de los edificios, siendo también un método para el análisis de los residuos, trabajando en colaboración con Big Data, ya que se logra almacenar grandes volúmenes de datos dentro de los proyectos (Muhammad, y otros, 2016).

La segunda temática de mayor interés fue AI, estuvo presente en alrededor del 27% de las publicaciones, se encontraron 17 documentos relacionados a dicho tema, lo que se puede observar en la Figura 12, durante los años 2018 al 2021, se abordaron temas importantes, como el uso de tecnologías en la planificación y el control de la programación en proyectos, esto ayuda a mejorar el potencial de la gestión de la calidad en la fase de construcción.

Por último, alrededor del 20% se enfocó en la temática Analytics, abarcando 13 de los 64 artículos pertenecientes a Management, durante un periodo de tiempo de 2015 al 2021, Donde se abordó la implementación de la analítica de datos en procesos como Construcción Management, tema que se enlaza con la metodología BIM y Big Data para el análisis de residuos de la construcción, siendo temas de gran relevancia debido a que el sector constructivo es uno de los que mayor impacto medioambiental ha causado, es por esta razón que se ha abordado alternativas ambientales para cambiar la perspectiva y mejorar el mundo donde vivimos (Suaréz, Betancourt, Molina, & Mahecha, 2019). Se abordó también la importancia de documentar las diferentes metodologías dentro del campo de la gestión, ya que esto permite mejorar en cada proyecto, ejecutándolos con éxito a través de Project Management, que permite la integración de los procesos de inicio, planificación, ejecución, seguimiento, control y cierre, gracias a esto se logra disminuir los riesgos de los proyectos (Veas & Pradena, Aplicaciones de la Administración Integral de Proyectos en la Industria de la Construcción. Primera Parte, Proyectos Inmobiliarios, 2009).

Figura 12.*Implementación de Temáticas en el proceso Managament, SCOPUS*

- ✓ AACE: En el análisis del proceso Management dentro de los artículos pertenecientes a la AACE Internacional se logró evidenciar las principales temáticas (Ver Tabla 4), y como se ha venido aplicando en la industria de la construcción.

Tabla 4.*Resultados de las temáticas abordadas dentro del proceso Management, base de datos AACE.*

Authors	Year	Title	CATEGORY-1	CATEGORY-2
Christian, C.	2017	Infrastructure: Visualizing Project Success	Management	BIM
Emam, A.	2018	Integrated Cost and Schedule Model for Shipbuilding Projects	Management	BIM
Lucey	2017	Data-Driven Management for Digital Capital Projects	Management	Analytics
Leeka	2018	Improving Portfolio Management through Integrated Master Schedules and Dashboard Analytics	Management	Analytics
Baker	2020	“Siri Told Me So” – Expert Witness Testimony at the Dawning of the Age of Artificial Intelligence	Management	AI
Zangeneh	2021	Analytics of What? Implications of Industrial Megaprojects Complexity in Data-Driven Forecasting	Management	AI

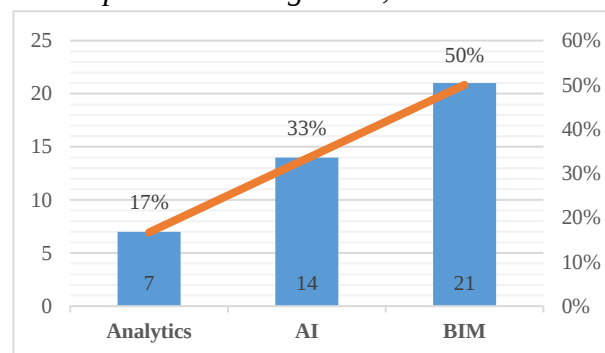
La implementación de BIM ha tenido un gran impulso, siendo tema principal en alrededor del 50% de las publicaciones pertenecientes al proceso Management de la AACE, es decir, abarco 21 de los 42 artículos, como se evidencia en la Figura 13, a partir del año 2017 al 2021. Se tocaron temas como la falta de interoperabilidad entre los sistemas, esta problemática conlleva al aumento del riesgo de sobrecostos, órdenes de cambio y falta de comunicación entre el personal clave, esta cuestión se pretende abordar con la ayuda de la metodología BIM, facilitando la solución de estos problemas a través de la conexión de infinitas dimensiones de los datos del proyecto, lo que da lugar a una mejor colaboración y al éxito general del proyecto, aparte de generar amplias ventajas como una comunicación más ágil con las partes interesadas, permitir el traspaso y la gestión de la información de los activos, evitar reajustes y retrasos en el proyecto entre otras (Christian & Kayhanfar, BIM . 2632 Infrastructure : Visualizing Project Success, 2017).

Una segunda temática fue IA, temática que abordo alrededor del 27% de los artículos, estando presente en 14 de los 42 artículos pertenecientes a Management, lo que se puede observar en la Figura 13. Se han abordado temas que buscan comprender con mayor claridad los costos del ciclo de vida de la selección de proveedores, utilizando métodos con AI con un modelo de total cost of ownership (TCO) para reducir la incertidumbre y tomar mejores decisiones (Spreitzenbarth & Stuckenschmidt, 2021). La IA representa una buena oportunidad para que la práctica de la gestión de proyectos mejore la calidad de sus servicios, esto se basa principalmente en la capacidad de la IA para realizar análisis complejos de grandes cantidades de datos, aprender de los patrones identificados y hacer valiosas recomendaciones para la toma de decisiones, Abordando las deficiencias existentes en la entrega de proyectos y aumente la eficiencia de estos.

Finalizando se encontró la tercera temática, Analytics, implementada en alrededor del 17% de las publicaciones, es decir, fue temática central en 7 de los 42 artículos de Management (Ver Figura 13). En estos artículos se habló de temas como Project Analytics, donde se hace énfasis a la recopilación y el mantenimiento sistemáticos de los datos históricos de proyectos, buscando generar con esta información aprendizaje de alto nivel, con el fin de poner en marcha modelos para la estimación, la previsión del comportamiento del proyecto, la identificación, evaluación y gestión de los riesgos (Zangeneh P., 2021). Entorno a los artículos también se ha tratado el análisis descriptivo de la construcción dentro de la gestión de proyectos para ver rápidamente el estado de un proyecto, profundizando en los problemas y planificar acciones correctivas si es necesario (Lucey, Lund, Schwartz, & Shah, 2017).

Figura 13.

Implementación de Temáticas en el proceso Managament, AACE.



4.2.2. Temáticas BIM, AI y Analytics dentro del Proceso Design.

- ✓ SCOPUS: Dentro del segundo proceso con mayor relevancia, Design, se pudo visualizar el gran interés por implementar las temáticas BIM, AI y Analytics como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.

Resultados de las temáticas abordadas dentro del proceso Design, base de datos SCOPUS.

Authors	Year	Title	CATEGORY-1	CATEGORY-2
El-Diraby T.	2017	BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings	Design	BIM
Yin X.	2019	Building information modelling for off-site construction: Review and future directions	Design	BIM
Dibowski H.	2017	Knowledge-Based Fault Propagation in Building Automation Systems	Design	Analytics
Marzouk M.	2019	Text analytics to analyze and monitor construction project contract and correspondence	Design	Analytics
Haymaker J.R.	2011	Opportunities for AI to improve sustainable building design processes	Design	AI
Karan E.	2019	Intelligent designer: A computational approach to automating design of windows in buildings	Design	AI

Se observó que la de mayor predominancia dentro de Design fue BIM, siendo temática central en alrededor del 56% de las publicaciones, es decir, de los 54 artículos de Design, 30 se centraron en la metodología BIM (Ver Figura 14), tomando mayor fuerza en los años del 2011 al 2021. Se abordaron temas donde BIM funciona como proveedor de información de edificios, trabajando con tecnología de realidad virtual con el fin de explorar el comportamiento de la evacuación de incendios y temas resientes como el diseño geométrico detallado y la fabricación digital de viviendas.

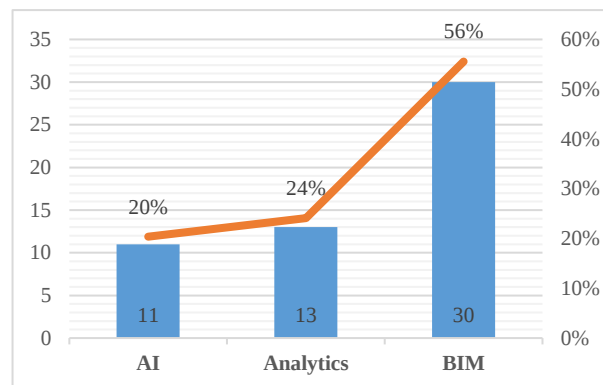
Un segundo enfoque ha estado en Analytics, centrándose en alrededor del 24% de las publicaciones pertenecientes a Design, estuvo presente en 13 de los 54 artículos (Ver Figura 14), en un periodo de publicaciones del 2011 al 2021, donde se han abordados temas en los que a través de la minería de datos se pueden analizar los contratos de proyectos de construcción y el uso del

internet de las cosas junto a nuevas herramientas tecnológicas que gracias a ella se puede llegar a recopilar grandes cantidades de datos y así poder hacer análisis predictivos (He, Li, Gan, & Ma, 2021). Obteniendo grandes avances en la edificación industrializada optimizando el rendimiento del ciclo de vida del proyecto.

Por último, se encontró AI, estando en alrededor del 20% de las publicaciones, centrándose en 11 de los 54 artículos, con el mismo rango de tiempo de las temáticas que se mencionaron anteriormente, aquí se abordan investigaciones sobre la implementación de sistemas de diseño inteligente para poder entender las necesidades y expectativas de los clientes, junto a las tecnologías automatizadas y la modelización de la información en el diseño y construcción de edificios de gran altura. El aprovechamiento de estas grandes tecnologías informáticas permite seguir creciendo considerablemente en el sector de la ingeniería civil, del mismo modo se ha usado para la realización de proyectos sostenibles como las edificaciones, diseños inteligentes para poder cumplir cada vez mejor con las expectativas de los clientes logrando tener un mejor control (Asadi, 2019).

Figura 14.

Implementación de Temáticas en el proceso Design, SCOPUS



- ✓ AACE: Dentro de las agrupaciones del proceso Design se vieron reflejadas las temáticas principales, los artículos giraron en torno a BIM y AI, como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6.

Resultados de las temáticas abordadas dentro del proceso Design, base de datos AACE.

Authors	Year	Title	CATEGORY-1	CATEGORY-2
Carson, W.	2018	A Practical Guide to Successful Program Scheduling	Design	BIM
Carson, W.	2021	Using 4D Modeling to Perform Critical Path Analysis for Delays	Design	BIM
Dixit, C.	2017	Integrating Building Information Modeling with Project Schedule	Design	BIM
McKb	1993	Neural Networks and identification and estimation of risk	Design	AI
Elbeltagi	1999	Genetic Optimization of Site Layout Planning	Design	AI

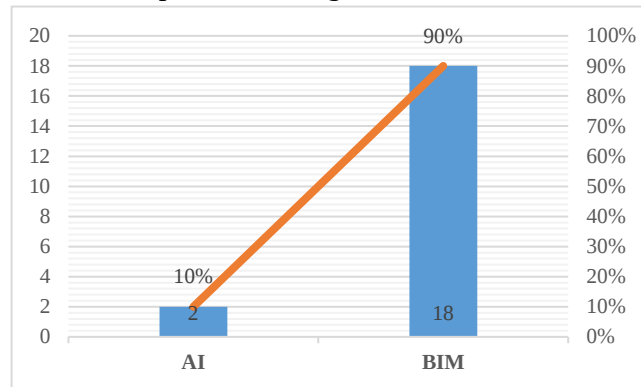
Se encontró que la temática con mayor implementación en este proceso fue BIM, siendo tema principal en alrededor del 90% de las publicaciones, es decir, 18 de los 20 artículos pertenecientes a Design abordaron dicha temática (Ver Figura 15), su implementación abarca los años 2009 al 2021. Esta metodología ha sido de gran uso dentro de Design gracias a su contribución con el modelado de 4D, vinculando el cronograma directamente a los objetos 3D, esto permite una visión mucho más intuitiva de los informes, especialmente los que muestran las interdependencias y los espacios compartidos (Carson C. , Drmp, Faace , Janjua, & Beaumont, 2021).

Por último se encontró AI, temática que tuvo la menor implementación dentro de este proceso, estuvo en alrededor del 10% de las publicaciones, en otras palabras, solo 2 de los 20 artículos abarcaron dicha temática (Ver Figura 15), tratando temas de redes neuronales, apareciendo como tema novedoso 1993 donde se comenzaba a encontrar aplicaciones en muchos

entornos industriales, intentando reproducir el mecanismo por el que el cerebro humano manipula los datos y toma decisiones (Mckim, 1993).

Figura 15.

Implementación de Temáticas en el proceso Design, AACE



4.2.3. Temáticas BIM, AI y Analytics dentro del Proceso Analysis.

- ✓ SCOPUS: Por último, se abordó el proceso Analysis, en el cual, se encontraron las tres temáticas centrales de la investigación, BIM, AI y Analytics. Ver Tabla 7.

Tabla 7.

Resultados de las temáticas abordadas dentro del proceso Analysis, base de datos SCOPUS.

Authors	Year	Title	CATEGORY-1	CATEGORY-2
Nalchigar S.	2014	Towards actionable business intelligence: can system dynamics help?	Analysis	Analytics
Bloch T.	2018	Comparing machine learning and rule-based inferencing for semantic enrichment of BIM models	Analysis	BIM
Barone D.	2010	Enterprise modeling for business intelligence	Analysis	BIM
Wu B.	2016	Integration of GIS And BIM for indoor geovisual analytics	Analysis	BIM
Ramprasad B.	2018	Leveraging existing sensor networks as IoT devices for smart buildings	Analysis	AI
Mansouri S.	2020	Analysis of the Synergistic Effect of Data Analytics and Technology Trends in the AEC/FM Industry	Analysis	BIM
Golovina O.	2019	Algorithm for quantitative analysis of close call events and personalized feedback in construction safety	Analysis	Analytics

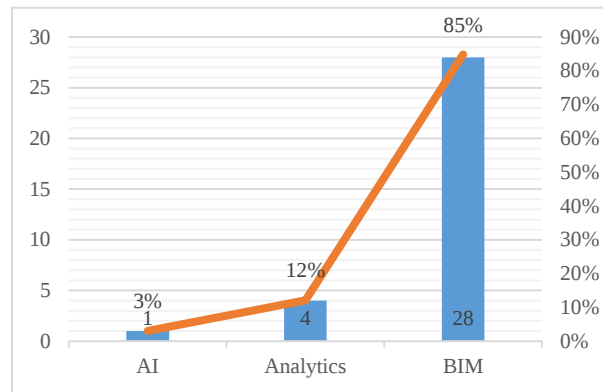
La mayor predominancia estuvo en la metodología BIM (Ver Figura 16), estando en el 85% de las publicaciones, es decir, 28 de los 33 artículos se centraron en esta temática, comenzándose a abordar con mayor frecuencia desde el año 2010 al 2021. Se ha querido seguir fortaleciendo esta metodología haciendo estudios, explorando las percepciones de grandes arquitectos, ingenieros, afianzando los beneficios y el éxito que influye el BIM en el sector constructivo (Olquina & Elliott, 2019). BIM es una metodología que recorre todo el ciclo de vida del proyecto, no es solo un software sino un conjunto de conocimientos de diversas áreas que permite obtener información de un diseño en 3D, manejando el trabajo multidisciplinario y en tiempo real (Memon, Rahman, Memon, & Iffah Azm).

La segunda temática abordada en este proceso fue Analytics, estando en alrededor del 12% de las publicaciones, centrándose en el periodo del año 2013 al 2019, donde solo se abordaron 4 de los 33 artículos pertenecientes a Design (Ver Figura 16). En los artículos más recientes (año 2019) abordaban las causas fundamentales que conducen a un accidente durante la construcción y como a través de la extracción de los conocimientos de los datos, informes de evolución de control y evaluación de fatalidades se podrían garantizar una mejor comprensión de las causas fundamentales que conducen tales incidentes y eliminarlos al principio de mitigación de riesgos (Golovina, Perschewski, Teizer, & König, 2019). Otro enfoque tratado estuvo en la importancia del papel que juega Business Intelligence (BI) y el análisis en las empresas modernas, temas que ayudan a obtener información sobre las operaciones internas y el entorno externo para tomar decisiones oportunas basadas en datos (Nalchigar & Yu, 2013). Las acciones resultantes de estos conocimientos a menudo requieren cambios en varias partes de la empresa.

Por último, estuvo AI, con tan solo el 3% de las publicaciones pertenecientes a Analysis, fue la temática menos implementada, estuvo en 1 de los 33 artículos (Ver Figura 16), donde se abordó la problemática del gran impacto ambiental que tienen los edificios, siendo responsable del 32% del consumo mundial de energía y del 19% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (Ramprasad, y otros, 2018). Esta problemática es abordada a través del contexto de las tecnologías del internet de las cosas (IoT), donde a medida que este crece y el análisis de los datos madura, se puede implementar edificios inteligentes, cuyo objetivo es proporcionar capacidades de detección inteligente y una gestión eficiente mejora el rendimiento de los edificios con costos de energía reducidos (Ramprasad, y otros, 2018).

Figura 16.

Implementación de Temáticas en el proceso Analysis, SCOPUS.



- ✓ ACCE: Por último, se abordó proceso Analysis en los artículos de la AACE, se pudo visualizar el gran interés que hubo por implementar las temáticas BIM, AI, y Analytics. Ver **Tabla 8**.

Tabla 8.

Resultados de las temáticas abordadas dentro del proceso Analysis, base de datos AACE.

Authors	Year	Title	CATEGORY-1	CATEGORY-2
Montaser, A.	2021	BIM+ Integrated Site Data Acquisition Model for Construction Projects	Analysis	BIM
Salazar, G. F.	2012	Total Cost for Multi-Unit Residential Building using BIM Modeling, Life Cycle Cost and Energy Analysis (EA)	Analysis	BIM
Golnaraghi	2018	Productivity Loss Quantification Using a Novel Artificial Intelligence Approach	Analysis	AI
Westney	1991	Resource scheduling.. is AI the answer?	Analysis	AI
Whiteside	2008	A Practical Application of Monte Carlo Simulation in Forecasting	Analysis	Analytics
Blodgett	2014	Integrated Project Reporting Using Dashboards: Harnessing thePower of Primavera P6	Analysis	Analytics

La temática de mayor predominancia en este proceso fue BIM, abarcando alrededor del 42% de las publicaciones, es decir, 16 de los 38 artículos pertenecientes a Analysis abordaron esta temática (Ver Figura 17), desde el año 2011 al 2021. Se abordaron temas que buscaban implementar los nuevos conocimientos en BIM relacionados con el análisis, esto con el fin de aumentar la eficiencia en el seguimiento y el control de los proyectos, ya que, es de suma importancia conocer los avances del proyecto diariamente para tener un mejor control, mayor eficiencia y disminuir los riesgos. La recolección y manejo de los datos de forma manual llegan a ser pocos confiables, ya que, depende netamente del juicio y la habilidad de la persona a cargo, por ello, se ha venido realizando investigaciones donde se comenzó a tratar softwares como, “BIM +” para la adquisición de datos en los proyectos de construcción, trabajando en conjunto con BIM para una mejor visualización y captura de los datos en tiempo real (A. Montaser, 2021).

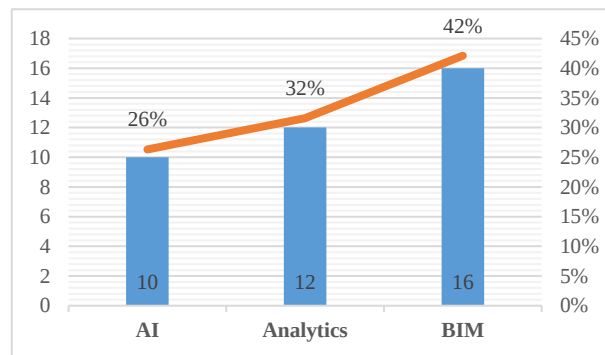
La segunda temática de mayor relevancia dentro del proceso Analysis fue, Analytics, abordando alrededor del 32% de las publicaciones, es decir, 12 de los 38 artículos pertenecientes a este proceso (Ver Figura 17), en un periodo del año 2008 al 2021. Se abordaron temas donde se implementaba el control de los volúmenes de datos que se manejan en el sector constructivo, haciendo uso de herramientas de cuadros de mando de informes integrados, esto con el objetivo de alinear los datos y brindar la máxima información de los proyectos a las empresas, el almacenamiento de datos se puede aprovechar para realizar análisis y predicciones centrándose siempre en tener un mejor control de los proyectos (Blodgett & Criss, 2014).

Por último, se encontró la temática AI, abarcando alrededor del 26% de las publicaciones, siendo tema central en 10 de los 38 artículos (Ver Figura 17), durante el periodo del año 1986 al

2021. Desde hace tiempo se ha venido implementando esta temática dentro del proceso Analysis, dando aportes significativos, se ha despertado un gran interés en estos temas, aplicándose en el sector de la construcción para crear bases de datos históricos de proyectos, dando como resultados modelos de madurez para enfocarse en la estimación, planificación y uso de la gestión de riesgos, no solo esto, también puede ser útil a la hora de planificar recursos y comparar sistemas de proyectos con el fin de tomar las mejores decisiones durante la ejecución de un proyecto (Hollman & Bredehoeft, 2021).

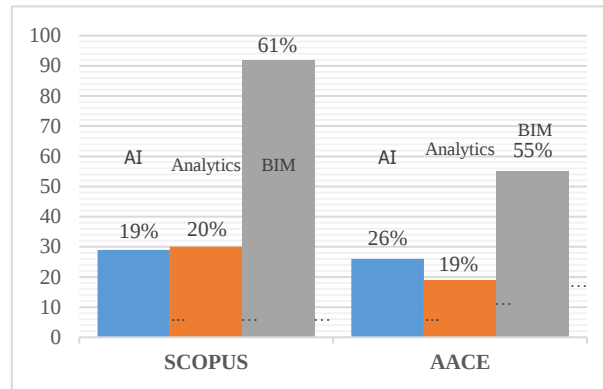
Figura 17.

Implementación de Temáticas en el proceso Analysis y AACE



4.2.4. Análisis Comparativo SCOPUS vs AACE.

Figura 18. Comparación de temáticas abordadas en SCOPUS y la AACE



A partir de los resultados por temáticas expuestos anteriormente se pudo observar cuales han sido las temáticas de mayor peso para los profesionales como para la parte académica (Ver). La implementación de BIM ha sido la más abordada en los artículos de SCOPUS como de la AACE, siendo eje central en los procesos Management, Design y Analysis, se pudo observar como a través de la implementación de esta metodología BIM se puede construir con mayor confianza, aprovechando el gran potencial de la tecnología digital para mejorar la productividad de la construcción (Madanayake & Cidik, 2019).

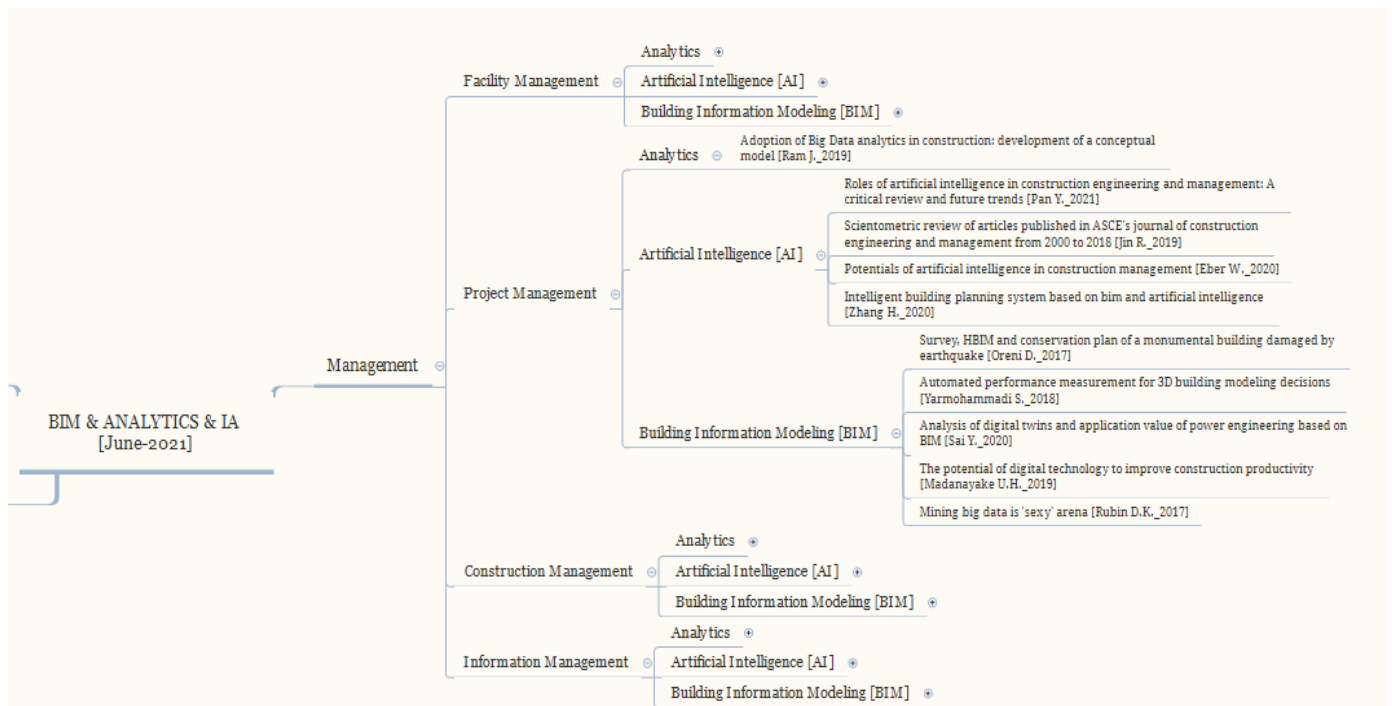
En torno a la temática Analytics el campo investigativo tuvo mayor relevancia, siendo la segunda temática central en los procesos Management, Design y Analysis, a diferencia del entorno profesional donde solo estuvo como segundo eje central en el proceso Analysis ya que la relevancia estuvo centrada en la AI, esta temática fue de mayor interés para los profesionales de la AACE, después de BIM la AI fue la temática más implementada en los procesos Managemnt y Design

donde se tocaron temas como el uso de redes neuronales en la gestión de riesgos y la aplicación de la AI en la estimación de costes de los proyectos.

4.3. Mapa Temático Basado en SCOPUS.

Figura 19.

Mapa temático XMind de los artículos más citados.



Nota. Ver en Apéndice F

Como se pudo observar en la Figura 19, se presentó los artículos más relevantes en la investigación, con su respectiva agrupación de los temas emergentes que abarco las temáticas BIM, AI y Analytics, de manera conjunta en los últimos años. Se partiendo por niveles, donde se fue desglosando las categorías halladas de acuerdo con el contenido de los 151 artículos, Adicional a esto, se procedió a organizar las publicaciones, partiendo de los 10 artículos más citados de cada

categoría, tomado el título, autor y año respectivo, esto con el fin de tener una mejor comprensión y organización de los artículos abordados según su categorización.

Cabe mencionar que no se hizo el mapa temático de la AACE debido a que no se encontró información de los artículos más citados, caso que sí ocurrió en la base de datos SCOPUS.

5. Conclusiones

La presente investigación abordó un total de 251 artículos divididos en 151 pertenecientes a la base de datos SCOPUS y 100 a la AACE Internacional, en los que se pudo determinar los temas más recurrentes y de mayor interés para los profesionales en campo como para el sector académico, identificando cual ha sido el desarrollo de las herramientas que involucran el modelado BIM, Analytics e AI y las ventajas de usar estas herramientas en el sector de la construcción.

La implementación de Management en las publicaciones ha sido la más recurrente, se observó que, para los profesionales como para el sector académico fue tema de gran interés, donde, a través de la analítica de datos se integran procesos como Construcción Management, que aborda la problemática de los residuos de la construcción, trabajando junto a Facility Management, proceso que ofrece un amplio grupo de servicios, además, se logró evidenciar el interés por tratar temas como Project Management que permite la integración de los procesos de inicio, planificación, ejecución, seguimiento, control y cierre, logrando disminuir los riesgos de los proyectos (Veas & Pradena, Aplicaciones de la Administración Integral de Proyectos en la Industria de la Construcción. Primera Parte, Proyectos Inmobiliarios, 2009).

Entre las temáticas abordadas en la presente investigación, se logró evidenciar que la tendencia más usada en los artículos de SCOPUS como los de la AACE, ha sido BIM. Esta metodología ha venido tomando mayor impulso en los últimos años, estando en todas las fases del ciclo de Vidal del proyecto, donde, a través de la captura de información se logra tener un modelo actualizado y detallado que permita conocer el estado actual de la obra, esto mejora la gestión, el control, el tiempo y los costos, garantizando así un máximo nivel de eficiencia en los procesos de los proyectos de construcción.

El uso de las temáticas AI y Analytics han tenido también una gran evolución en el sector constructivo, aunque el interés por abordar estos temas no fue tan grande como el que ha tenido BIM, son de suma importancia, ya que, han dado aportes beneficiosos a la gerencia de proyectos, facilitando la recopilación y manipulación de grandes volúmenes de información, el trabajo con Big Data permite crear bases de datos históricas, dando a las empresas datos útiles, confiables y seguros, esto con la ayuda de AI, disciplina que trabaja con algoritmos de Machine Learning, los cuales facilita el análisis de masivos datos, buscando identificar patrones con los que se puedan crear análisis predictivos, esto contribuye a una mejor toma de decisiones y disminuye los riesgos en los proyectos de construcción.

La investigación dio un aporte a la gerencia de proyectos a través del análisis con minería de datos y el uso de herramientas tecnológicas, esto resulta ser útil a la hora de escribir artículos que abordan las problemáticas de retrasos en los proyectos y los factores de sobrecostos. En campo puede ser de gran beneficio, ya que, a la hora de llevar el registro de las actividades en obra y se

registran demoras, la analítica de datos podrá predecir con anticipación las causas de los problemas, llevando un mejor control en las bitácoras.

Referencias Bibliográficas

- Akhavian , R., & Mansouri , S. (2018). Construction Research Congress 2018. *Proceeding of Construction Research Congress 2018 Selected Papers from the Construction Research Congress 2018, 1996*, págs. 148-157. doi:10.1061/9780784481295.010.
- Arthur, S., Lark, R., & Li, H. (2017). A collaborative unified computing platform for building information modelling (BIM). 506. doi:10.1007/978-3-319-65151-4_6.
- Asadi, E. K. (2019). Intelligent designer: A computational approach to automating design of windows in buildings *Automation in Construction*. 102, 160-169.
- Blodgett, J., & Criss, B. (2014). Integrated Project Reporting Using Dashboards: Harnessing the Power of Primavera P6. *AACE International Transactions*, 4-11.
- Callahan, S., Leins, H., Lounsberry, S., Nair, V., & Williams, T. (2019). TCMA-3285 Optimizing Construction Projects through Effective Information Governance and Data Analytics. 1-26.
- Carson, C., Drmp, C., Faace , P., Janjua, S., & Beaumont, W. (2021). BIM-3675 Using 4D Modeling to Perform Critical Path Analysis for Delays. 1-20.
- Carson, C., Drmp, C., Faace, P., & Napuri, G. (1-23). PS . 2975 A Practical Guide to Successful Program Scheduling. 2018.
- Chin Kee, J. (27 de Enero de 2020). *El atractivo del "big data" y el análisis predictivo (y de otras tecnologías) para la construcción*. Obtenido de Ferrivial blog: <https://blog.ferrovial.com/es/2020/01/el-atractivo-del-big-data-y-el-analisis-predictivo-y-de-otras-tecnologias-para-la-construccion/>

- Choclán Gámez, F., Soler Severino, M., & González Márquez, R. (2014). Introducción a La Metodología BIM. (1), 1-10.
- Christian, C., & Kayhanfar, A. (1-9). BIM . 2632 Infrastructure : Visualizing Project Success. 2017.
- Christian, C., & Kayhanfar, A. (2017). BIM . 2632 Infrastructure : Visualizing Project Success. 1-9.
- De la Sierra, F. (2021). Power BI ahora más inteligente : Como usar el análisis de texto. 3-6.
- Foster, A. (1986). Is there artiicial intelligence in project management? . *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 1-5.
- Golovina, O., Perschewski, M., Teizer, J., & König, M. (2019). Algorithm for quantitative analysis of close call events and personalized feedback in construction safety. *Automation in Construction*, 99, 206-222. doi:10.1016/j.autcon.2018.11.014
- Hammoe, L. (2018). Recuperado el 2021, de https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/1250/TFI_Hammoe.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- He, R., Li, M., Gan, V., & Ma, J. (2021). BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123-505. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123505.
- Hollman, P., & Bredehoeft, J. (2021). (TCM-3756) Recommended Practice for Project Historical Database Development.
- Kapadia, S. (14 de abril de 2019). *towardsdatascience.com*. Recuperado el 10 de septiembre de 2021, de <https://towardsdatascience.com/end-to-end-topic-modeling-in-python-latent-dirichlet-allocation-lda-35ce4ed6b3e0>

- Leeka, J., Weston, R., Mextorf, R., & Jhons, B. (2018). PM . 2886 Improving Portfolio Management through Integrated Master Schedules and Dashboard Analytics. 1-20.
- Libro online de IAAR. (s.f.). *Inteligencia Artificial*. Recuperado el 10 de septiembre de 2021, de <https://iaarbook.github.io/inteligencia-artificial>
- Lucey, M., Lund, J., Schwartz, A., & Shah, S. (2017). Data-Driven Management for Digital Capital Projects. *Aace INTERNATIONAL TECHNICAL PAPER*, 1-20.
- Lukumon O., O., Junaid, Q., Kamran, M., Olugbenga O., A., Saheed O., A., Hafiz A. , A., . . . Bilal, M. (2015). Analysis of critical features and evaluation of BIM software: towards a plug-in for construction waste minimization using big data. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 6(4), 211-228. doi:10.1080/2093761X.2015.1116415
- Madanayake, U., & Cidik, M. (2019). The potential of digital technology to improve construction productivity. In *Association of Researchers in Construction Management, ARCOM 2019 - Proceedings of the 35th Annual Conference, 2019*, (págs. 416-425).
- Mansouri, S., & Akhavian, R. (2018). The Status Quo and Future Potentials of Data Analytics in AEC/FM: A Quantitative Analysis of Academic Research and Industry Outlook. *Construction Research Congress 2018: Infrastructure and Facility Management*, (págs. 90-100).
- Mansouri, S., Castronovo, F., & Akhavian, R. (2020). Analysis of the Synergistic Effect of Data Analytics and Technology Trends in the AEC/FM Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(3). doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.00

- Marzouk, M., & Enaba, M. (2019). Analyzing project data in BIM with descriptive analytics to improve project performance. *Built Environment Project and Asset Management*, 9(4), 476-488. doi:10.1108/BEPAM-04-2018-0069.
- Mckim, R. (1993). Neural networks and identification and estimation of risk. *AACE International Transactions*, 0(1), 5.
- McKim, R. A. (1993). Neural networks and identification and estimation of risk. *AACE International Transactions*, 0, 5.
- Memon, A., Rahman, I., Memon, I., & Iffah Azm, N. (s.f.). BIM in Malaysian construction industry: Status, advantages, barriers and strategies to enhance the implementation level. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 8(5), 606-614. doi:10.19026/rjaset.8.1012
- Montaser, A., & Moselhi, O. (2021). BIM-3678 BIM + Integrated Site Data Acquisition Model for Construction Projects. 1-29.
- Muhammad, B., Lukumon, O., Olugbenga, O., Saheed , O., Hafiz, A., Hakeem , A., . . . Bello, S. (2016). Big data architecture for construction waste analytics (CWA): A conceptual framework. *Journal of Building Engineering*, 6, 144-156. doi:10.1016/j.job.2016.03.002.
- Nalchigar, S., & Yu, E. (2013). From business intelligence insights to actions: A methodology for closing the sense-and-respond loop in the adaptive enterprise. 165. doi:10.1007/978-3-642-41641-5_9.
- Ocampo, J. (2015). La Gerencia Bim Como Sistema Bim As the Management System. *Revista Gerencia Tecnológica Informática*, 14(38), 17-29.

- Olbina, S., & Elliott, J. (2019). Contributing project characteristics and realized benefits of successful BIM implementation: A comparison of complex and simple buildings. *Buildings*, 1-19. doi:10.3390/buildings9080175.
- Pampliega, C. (2019). B Uilding & M Anagement. 3, 1-5.
- Pan, Y., & Zhang, L. (2020). Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. *Automation in Construction*, 122, 103517. doi:10.1016/j.autcon.2020.103517.
- Ram, J., Afridi, N., & Khan, K. (2019). Adoption of Big Data analytics in construction: development of a conceptual model. *Built Environment Project and Asset Management*, 9(4), 564-579. doi:10.1108/BEPAM-05-2018-0077.
- Ramprasad, B., Mcarthur, J., Fokaefs, M., Barna, C., Damm, M., Damm, M., & Litoiu, M. (2018). Leveraging existing sensor networks as IoT devices for smart buildings. *IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2018 - Proceedings, 2018,,* (págs. 452-457). doi:10.1109/WF-IoT.2018.8355121
- Spreitzenbarth, J., & Stuckenschmidt, H. (2021). TCMA-3603 Supplier Selection with AI-Based TCO Models : Cost Prediction Case Study in an Automotive OEM. 1-23.
- Suaréz, S., Betancourt, C., Molina, J., & Mahecha, L. (2019). La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión. *Entramado.,* 15, no. 1, p. 224-244. doi:http://dx.doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.5408
- Vásquez, A. (2019). PI: Generación automática de interfaces software para el soporte a la toma de decisiones. Aplicación de ingeniería de dominio y machine learning. *Aplicación de ingeniería de dominio y machine learning.*

- Veas, L., & Pradena, M. (2009). Aplicaciones de la Administración Integral de Proyectos en la Industria de la Construcción. Primera Parte, Proyectos Inmobiliarios. *Redalcy*.
- Veas, L., & Pradena, M. (2009). Aplicaciones de la Administración Integral de Proyectos en la Industria de la Construcción. Primera Parte, Proyectos Inmobiliarios. *Redalcy*.
- Wang, M., Wang, C., Sepasgozar, S., & Zlatanova, S. (2020). A systematic review of digital technology adoption in off-site construction: Current status and future direction towards industry 4.0. *Buildings*, 10(11), 1-29.
- Yin, X., Liu, H., Chen, Y., & Al-Hussein, M. (2019). Building information modelling for off-site construction: Review and future directions. *Automation in Construction*, 101, 72-91. doi:10.1016/j.autcon.2019.01.010.
- Zangeneh P., e. (2021). TCMA-3733 Analytics of What ? Implications of Industrial Megaprojects Complexity in Data-Driven Forecasting. 1-23.
- Zhou, Y., Hu, Z., Lin, J., & Zhang, J. (2020). A Review on 3D Spatial Data Analytics for Building Information Models. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27(5), 1449-1463. doi:10.1007/s11831-019-09356-6.