

Quinán, D., Sierra, L. (2024). Métodos de aprendizaje activo del BIM para la administración de obras y parámetros para su implementación: Una revisión sistemática. En Quinán, D., Sierra, L. (Editores), *Actas del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción* (IX ELAGEC2024).

MÉTODOS DE APRENDIZAJE ACTIVO DEL BIM PARA LA ADMINISTRACIÓN DE OBRAS Y PARÁMETROS PARA SU IMPLEMENTACIÓN: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Daniel Quinán Maldonado ¹ – d.quinan01@ufromail.cl

Leonardo Sierra Varela ² - leonardo.sierra@ufrontera.cl

RESUMEN

En Chile, la industria de la construcción representa una parte importante del PIB. Sin embargo, es conocida la ineficiente producción de esta industria. En este estudio se evidencia la necesidad de profundizar los conocimientos en administración de obras mediante la metodología BIM. Para ello, se realiza una revisión en profundidad de estudios de caso en que se utilicen métodos de aprendizaje activo mediante BIM para la administración de obras en el mundo. Se elabora una base de datos con artículos relacionados, su método de aprendizaje activo y las subcategorías halladas que caracterizan al método. Se realiza un análisis estadístico univariable de cada subcategoría, un análisis estadístico de cada método de aprendizaje activo con cada subcategoría y, dos análisis cualitativos. Como resultado, se muestra la relación entre los métodos de aprendizaje activo y las subcategorías halladas, mostrando que combinación es más común en la aplicación de un método de aprendizaje activo para la enseñanza de gestión y/o administración de obras mediante BIM. Con esto, se presentan recomendaciones para la implementación de BIM. Además, se presentan las limitaciones del estudio y, con ello, las futuras líneas de investigación identificadas.

PALABRAS CLAVE

Building Information Modeling; Administración de obras; Método de aprendizaje activo; Educación; AEC

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción en Chile es uno de los motores que promueve el desarrollo económico del país (Cámara Chilena de la Construcción, 2020). Conocida es la promoción del empleo de personal calificado y no calificado. En efecto, el sector económico de la construcción en los últimos 10 años presenta un 6,2% del PIB nacional (Banco central de Chile, 2023). Sin embargo, también es conocido que es una de las industrias con mayor retraso tecnológico que limita la eficiencia en sus procesos en diversas etapas del ciclo de vida.

Como ejemplo de ello tenemos a Saldías (2010), que evidencia errores en la etapa de diseño que se detectan en fases posteriores y que conllevan rehacer trabajos. También Salazar (2018), menciona la existencia de interpretaciones erróneas y planos no oficiales que dan lugar a incoherencias y problemas no previstos en la ejecución del proyecto. Además, existe mayor dificultad para que el proyecto sea sostenible o para tomar medidas ambientales acordes al proyecto (Construcción Desarrollo Tecnología, 2023). Por su parte también, hay problemas de comunicación externa e interna por la utilización de métodos impresos, a través de la desactualización de planos, especificaciones impresas y cartas Gantt (Saldías, 2010).

En efecto, los constructores quienes son encargados de la administración de obras, no tienen una sincronización adecuada con los demás profesionales del área de la construcción. Otros problemas que se evidencian son el trabajo sobre documentos obsoletos, lenta comunicación, no disposición de materiales de forma oportuna, entre otros (Martínez et al., 1990). Eso implica incumplimientos del tiempo estimado (Sánchez et al., 2019); Uso ineficiente de recursos (Mahamid, 2020); Pérdidas económicas con multas por atraso o aumento de gastos generales (Pérez et al., 2019). Finalmente, esto resulta en una gestión del sistema de construcción ineficiente e insostenible, remarcado por procesos de diseño y construcción.

Dado lo anterior se torna necesario un sistema de administración de obras con el cual se puedan mitigar estos problemas. En la actualidad, existe la metodología BIM (Building Information Modeling) con la que ciertamente dichas problemáticas se podrían ver disminuidas. BIM es un método de trabajo que se define en el contexto de la cultura colaborativa y de la práctica integrada, contando con los diferentes agentes del proyecto (Arquitectos, ingenieros, constructores, etc.) estableciendo un flujo de comunicación transversal, y a su vez, generando un modelo virtual con toda la información relacionada al edificio durante su ciclo de vida (Kaizen, 2024). El objetivo de BIM es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes (BuildingSmart, 2023). La utilidad de BIM radica en que se vería incrementada la sincronización entre profesionales y, además, con BIM es posible generar una industria más productiva que desarrolle proyectos más eficientes y sustentables (PlanBIM, 2022). Además, BIM ha sido ampliamente adoptado en el mundo. Entre los países líderes, se encuentra Estados Unidos, que en el año 2012 tenía una adopción BIM del 71%, considerando a los distintos agentes del proyecto, es decir, arquitectos, ingenieros civiles, contratistas y propietarios (Jones & Bernstein, 2012); Los Países Bajos establecieron el BIC (Building Information Council) como parte del programa BIM de Obras Públicas y Gestión del Agua

sobre carreteras y canales, mejorando así la calidad, continuidad y competitividad internacional de la industria de la construcción en 2012 (Bim Forum, 2016); Y en el Reino Unido el uso de la metodología BIM es de carácter obligatorio (Arch Daily, 2021); entre otros países cuyos gobiernos recomiendan y fomentan el uso de BIM, se encuentra: Holanda, Dinamarca, Bélgica, Luxemburgo, Francia, Alemania, Italia, Malasia, España, Suiza, Irlanda, Japón, China, Taiwán, Nueva Zelanda y Canadá (Alsina, 2017).

Por otro lado, la adopción BIM se ha enfocado mayormente en áreas de arquitectura e ingeniería civil. De hecho, según Fuentes (2022) un 69% de la implementación de la metodología BIM en la educación superior es de pregrado. Dentro de este porcentaje un 39% se aplicó a carreras relacionadas a Arquitectura, un 25% a carreras relacionadas a la Ingeniería Civil y solo un 20% a carreras de Construcción Civil o Ingeniería en Construcción. La figura 1 representa la adopción del BIM de carreras de pregrado en el mundo.

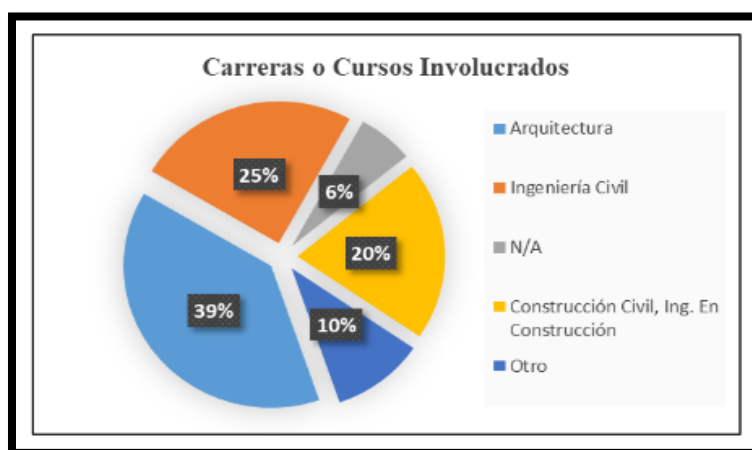


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. Adopción BIM en carreras de pregrado del mundo. (Fuentes, 2022)

Dado que los programas formativos de Construcción Civil e Ingeniería en Construcción apuntan principalmente a la administración de obras y de proyectos, se entiende que esta disciplina esté relegada a un menor porcentaje de profesionales inmersos en la metodología BIM. Por su parte (Ku & Taiebat, 2011) concluye que las mayores barreras para la implementación de BIM en la etapa de construcción son la curva de aprendizaje, falta de personal capacitado y la inversión inicial que requiere. A su vez, en el mismo estudio se indica que a corto plazo son necesarias competencias como la estimación y control de costes basada en modelos. Así también, Gómez et al. (2023) estudia el impacto de BIM en la gestión de proyectos de construcción, y concluye que a la hora de adoptar la metodología BIM se presentan dificultades como, la capacitación de personal y su implicancia económica, el tiempo que conlleva cambiar de la metodología tradicional a la metodología BIM y, por

último, la resistencia al cambio que presenta el componente humano en adoptar la implementación de BIM en la gestión de proyectos de construcción a nivel mundial.

En Chile, el desarrollo de BIM partió en el sector privado en el año 2006 y para el año 2021 alcanzó niveles de adopción similares a los países líderes. Sin embargo, en materia de educación, los cursos BIM en pregrado tienen apenas 5 años de existencia (Loyola et al, 2021). Sumado a ello, en cuanto a los profesionales que adoptan BIM existe la misma tendencia en Chile que a nivel global. Es decir, que existe una mayor adopción de la metodología BIM en carreras de Arquitectura e Ingeniería Civil, formando una brecha académica con Constructores Civiles e Ingenieros Constructores. Según Loyola (2022), la adopción regular de BIM en Arquitectura es de 46%, en Ingeniería Civil es de 41% y en Ingeniería en Construcción solo de un 26%. (Figura 2).

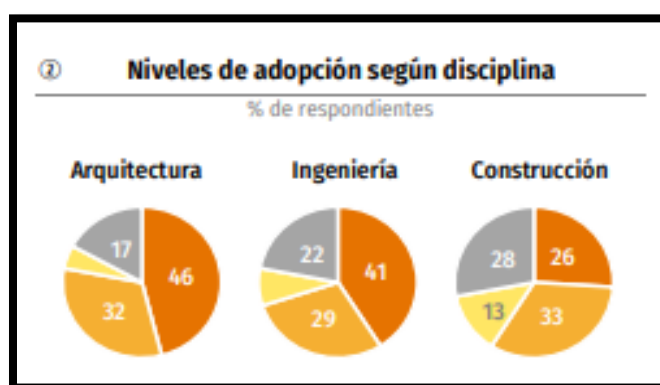


Figura 1 Niveles de adopción según disciplina (Loyola, 2022)

Según PlanBIM Corfo (2022), la importancia de esto radica en que no basta con que algunos de los participantes del proyecto implementen y utilicen BIM de manera aislada (conocido como BIM solitario), sino que se debe alcanzar un estado en el cual todos los participantes del proyecto (Solicitante y Proveedores) compartan información de manera estandarizada a través de BIM. Esto para alcanzar los máximos beneficios de esta práctica, llamado BIM colaborativo.

Por otro lado, Fuentes (2022) analiza artículos científicos de la enseñanza BIM en la industria AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción, por sus siglas en inglés), en este se ve como punto en común el uso de métodos de aprendizaje activo. Se destaca el aprendizaje basado en proyectos, el aprendizaje basado en problemas y el aprendizaje basado en el trabajo en equipo.

Por lo anterior, este estudio tiene por objetivo explorar los métodos de aprendizaje activo basados en BIM para carreras AEC que involucren la administración y/o gestión de obras.

ESTADO DEL ARTE

El rol de BIM es ser una metodología colaborativa para la creación y gestión de datos de un edificio u obra (Building Smart, 2024). Las etapas del proyecto en que interviene BIM se dividen en diseño, construcción, operación y mantenimiento. El modelo centralizado o modelo federado es el conjunto de modelos 3D relacionados con disciplinas específicas (Arquitectura, Estructura, Instalaciones, entre otros) que se integran en una sola vista para crear un único modelo digital completo del edificio, multidisciplinar y global (Biblus, 2024).

En el diseño, BIM permite la visualización 3D, facilitando la comprensión del proyecto desde diferentes perspectivas, además permite la detección de posibles errores o conflictos entre distintas áreas de manera temprana. También, permite la coordinación entre distintas disciplinas (arquitectos, ingenieros, especialidades) integrando los modelos y diseños en un único modelo centralizado (Aliaga, 2012). Esto evita errores de coordinación, rehacer trabajos y en general, optimiza el proceso de diseño. En conjunto con lo anterior, permite el análisis y simulación para anticipar el rendimiento del edificio en materias de, análisis estructural, análisis energético, flujo de personas, entre otros (Saldías, 2010). Todo lo anterior permite la toma de decisiones informadas y mejorar la eficiencia del diseño.

La etapa de construcción aporta a la planificación y programación a través del detalle programado de actividades de construcción. Para ello emplea el modelo central que permite generar los cronogramas y secuencia de trabajos optimizados. También, la estimación de costos se ve agilizada al generar estimaciones precisas y confiables, a través de la información aportada al modelo central para el cálculo de materiales, mano de obra, equipos necesarios. Esto reduce los sobrecostos y retrasos por falta de material (Gómez-Valdés et al., 2023). A su vez, en esta etapa también permite anticipar la detección de conflictos entre diferentes elementos del edificio, como interferencias entre tuberías y conductos eléctricos con elementos estructurales (De Reales Toro, 2023). Esto permite el seguimiento de la construcción del momento. También facilita el control de calidad, ya que se puede comparar el modelo central con el estado real de la obra.

En la etapa de operación y mantenimiento, BIM se utiliza para monitorear la ocupación y desgaste de edificaciones e infraestructuras. Con ello, con BIM se puede prever cuando se necesitará mantenimiento, evitando que ocurra un fallo, reduciendo el tiempo de inactividad y costos de reparación (Alianza BIM, 2024). Esto facilita la operación eficiente del edificio, prolonga su vida útil y, permite la modificación y renovación del edificio de una manera más sencilla.

De acuerdo a lo anterior, entre los beneficios que se destacan por el uso de la metodología BIM en la industria de la construcción, se encuentran:

- Mejora en la colaboración y comunicación entre las diferentes partes involucradas en el proyecto.
- Reducción de errores y conflictos, lo que a su vez disminuye los costos y retrasos en el proyecto.
- Mejora en la planificación y programación de las actividades de construcción.
- Estimaciones de costos más precisas y confiables.
- Construcción de edificios de mayor calidad y eficiencia.

- Reducción de los costos operativos y de mantenimiento del edificio.
- Mayor vida útil del edificio.

En la actualidad, Liu et al. (2019) realiza un análisis cuantitativo de la investigación global sobre BIM en la industria de la construcción. Da muestra de los países/regiones con mayor influencia en investigación BIM. La muestra está constituida por 51 nodos y 113 enlaces. Los países más relevantes son EE.UU., China, Reino Unido, Corea del Sur y Australia. A su vez, muestra las relaciones de cooperación internacional de los investigadores. Además, presenta que los países con mayor centralidad son Nueva Zelanda, Reino Unido, Malasia y Canadá. Por otro lado, analiza la detección de ráfaga de citas, Siendo EE.UU. el de mayor envergadura.

De la misma forma, se analiza la red de coautores (Constituida por 312 nodos y 336 enlaces y la red de instituciones de investigación (Constituida por 195 nodos y 240 enlaces).

Por otro lado, la metodología BIM en Chile según las encuestas nacionales BIM de Loyola (2013), Loyola (2016), Loyola (2019) y Loyola (2022), la adopción de BIM en la industria de la construcción ha aumentado a lo largo de los años. En el año 2013 contaba con un 23% de usuarios regulares y aumentó a un 41% para el año 2022. La adopción BIM en Chile ha sido impulsada principalmente por dos factores, el factor del sector estatal y el factor del sector privado.

El factor estatal corresponde a la promoción gubernamental a través de PlanBIM Chile. El PlanBIM se crea en el año 2016 a través de un mandato generado desde el sector público, iniciando un proceso gradual en la incorporación de requerimientos BIM en proyectos estatales. Nace por la crisis de productividad y sustentabilidad que presenta el país desde las últimas dos décadas, y a su vez, por el gran impacto que tiene la industria de la construcción en el producto interno bruto (PIB) y en el empleo. El rol del PlanBIM es introducir de manera exitosa la utilización de la metodología BIM, cambiando el paradigma y la manera de trabajar en la industria de la construcción, lo que implica un cambio cultural en el uso de tecnologías y manejo de información. Para ello, PlanBIM integra, difunde y apoya los cambios metodológicos. Por otro lado, si bien PlanBIM nace como un mandato del área pública, también ha trabajado en desarrollar las condiciones y habilidades necesarias, para el sector privado y la academia. A su vez, PlanBIM imparte capacitaciones en las que pueden participar profesionales, técnicos, docentes y estudiantes del sector de la construcción sin mayores requisitos.

El factor privado corresponde a la demanda del mercado, Loyola (2014) explica que en Chile el uso de BIM fue impulsado por un grupo pequeño de empresas privadas que vieron en el bajo desarrollo tecnológico de la industria una oportunidad de ofrecer servicios externos de creación y gestión de modelos BIM para equipos profesionales que no cuentan con el conocimiento tecnológico. Mediante estas empresas, el uso de BIM se hizo visible y produjo entusiasmo hacia su adopción. También señala que, a pesar del costo de mantener un equipo especial dedicado a construir los modelos BIM, las reducciones de costo en obra probaron ser mayores. Sin embargo, según la encuesta de Loyola (2022), concluye que la adopción por parte de empresas pequeñas y medianas es menor debido a los costos iniciales que implican.

Por otro lado, la Cámara Chilena de la Construcción (2019) a través de Matrix Consulting, identifica cuatro barreras que dificultan el impulso de BIM en la industria nacional.

- Primero, el cambio disruptivo para la industria de la construcción. Esto implica el cambio de procesos, incorporación de tecnologías y un cambio en la organización.
- Segundo, limitada planificación y recursos en instituciones públicas claves. El estado cumple un rol fundamental en generar demanda de proyectos que usen BIM, y también en generar las competencias en los equipos de instituciones públicas, y a su vez, debe contar con un plan a largo plazo para incorporar BIM en proyectos públicos.
- Tercero, bajo nivel de incentivos para implementar BIM de manera integral. Esto deriva en el costo de implementación a lo largo de la cadena productiva del sector, y que las inmobiliarias, constructores y proveedores no tienen mayores incentivos para implementar la metodología BIM y generar el ecosistema integral para su uso.
- Cuarto, la escasez de capital humano capacitado. Esto abarca puntos como que, el conjunto de competencias y habilidades son distintas a las requeridas por el método tradicional. También, que existe una escasez de mano de obra calificada. Además, falta incorporar BIM en carreras claves para la industria.

A raíz del cuarto punto, se identifica la brecha del capital humano, que es profundizado por PlanBIM Corfo (2022) que identifica la falta de cultura de trabajo colaborativa entre distintos actores del proyecto, para lo que es necesario cambiar la mentalidad y adoptar nuevos métodos de trabajo. Además, se desprende una brecha entre las competencias que se imparten en las Universidades y las necesidades de la industria en cuanto a BIM. Lo cual resalta la necesidad de fortalecer la capacitación y formación de profesionales.

De la revisión de literatura de Fuentes (2022) se desprende que es recurrente el uso de método de aprendizaje activo para la implementación del BIM en la academia. Además, se aprecia que en los artículos recopilados existen puntos en común, los cuales llamamos subcategorías de clasificación. Entre los estudios analizados para encontrar estos puntos en común, se encuentran: Jin et al. (2020), Urban et al. (2022), León et al. (2021), Sánchez et al. (2022), Mathews (2013), Ümit & Önder (2022), Olowa et al. (2022), Ao et al. (2021), Sánchez et al. (2019), Zhao (2020) y Zhang et al. (2018). En base a estos artículos científicos se identifican las siguientes subcategorías para los métodos de aprendizaje activo: software, entregables, retroalimentación, limitaciones del método, sistema de evaluación, implementación del curso, nivelación del curso y tiempo. Además, se aprecia una falta de estudios a la aplicación BIM en la carrera de ingeniería en construcción y, por tanto, en torno a la gestión de proyectos.

METODOLOGÍA

Para este estudio se realiza una revisión sistemática de la literatura, la cual es descrita en la figura 3. Los artículos seleccionados serán analizados y categorizados a través de una revisión en profundidad en que se realiza un análisis de contenido. El análisis de contenido

es una metodología sistemática que permite realizar estudios comparativos entre diversos documentos. Para mayor referencia refiérase a Bernete (2013).

Del análisis de contenido se desprende la base de datos con los métodos de aprendizaje activo como eje central. A su vez, mediante una nube palabras de autores y coautores se pretende conocer quiénes son los más influyentes para la educación de administración de obras mediante BIM. En la figura 3 se muestran los ámbitos y palabras claves utilizados para la búsqueda estratégica.

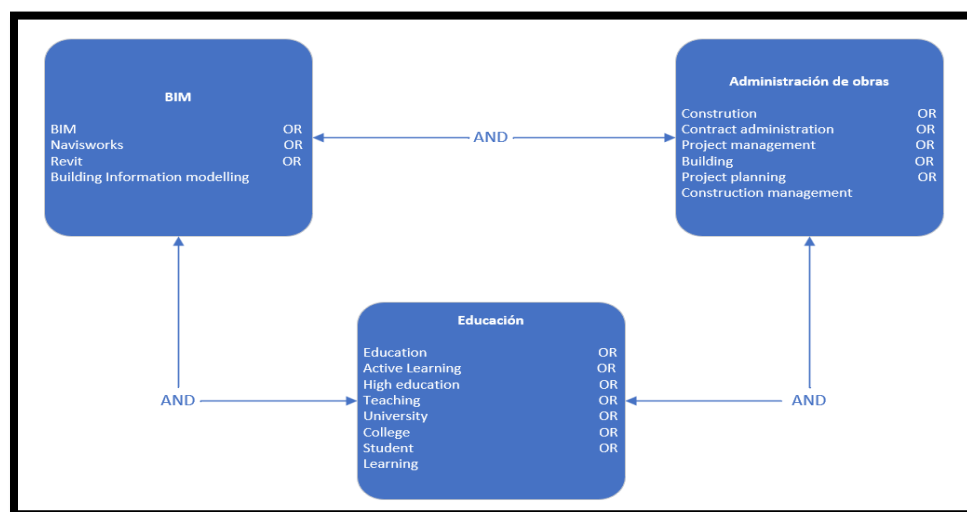


Figura 3. Ámbitos de búsqueda estratégica.

Se contempla documentos desde enero de 1975 hasta mayo de 2023. Los documentos seleccionados son artículos originales. De la búsqueda en la base de datos de la WOS se obtiene 888 artículos. Tras un primer filtro se aplica una lectura de los títulos y resúmenes, y se descartan aquellos fuera del alcance de esta investigación. Tras ello se obtienen 78 artículos que pasan a Revisión en profundidad.

A partir de los 78 artículos seleccionados de la búsqueda estratégica (Etapa 1) son sometido a una revisión en profundidad por el investigador a cargo del estudio y la revisión de verificación de un segundo investigador del equipo de investigación GIPS (Gestión de Infraestructura y Planeamiento Sostenible) para asegurar la codificación y consistencia. De acuerdo a la revisión en profundidad se determinó las citas más relevantes no incluidos en la etapa 1. Estas citas y sus referencias son indagados como artículos nuevos en que se revisa la pertinencia del título y resumen a alcance del estudio y se adicionan a la revisión en profundidad. De esta forma se repite el ciclo según se encuentre citas relevantes nuevamente.

En la Revisión en profundidad se identifican los documentos relevantes a considerar en la investigación, los cuales deben cumplir los siguientes criterios:

- Que utilice o proponga algún método de aprendizaje activo

- Que el alcance del artículo incluya la administración y/o gestión de obras
- Que considere la aplicación a algún caso de estudio con estudiantes

De esta manera, tras la revisión inicial de 78 artículos, se logra 41 documentos iniciales. A partir de estos se identifican 5 artículos que son sometidos a los criterios ya mencionados. Por lo tanto, la muestra total se compone de 46 artículos.

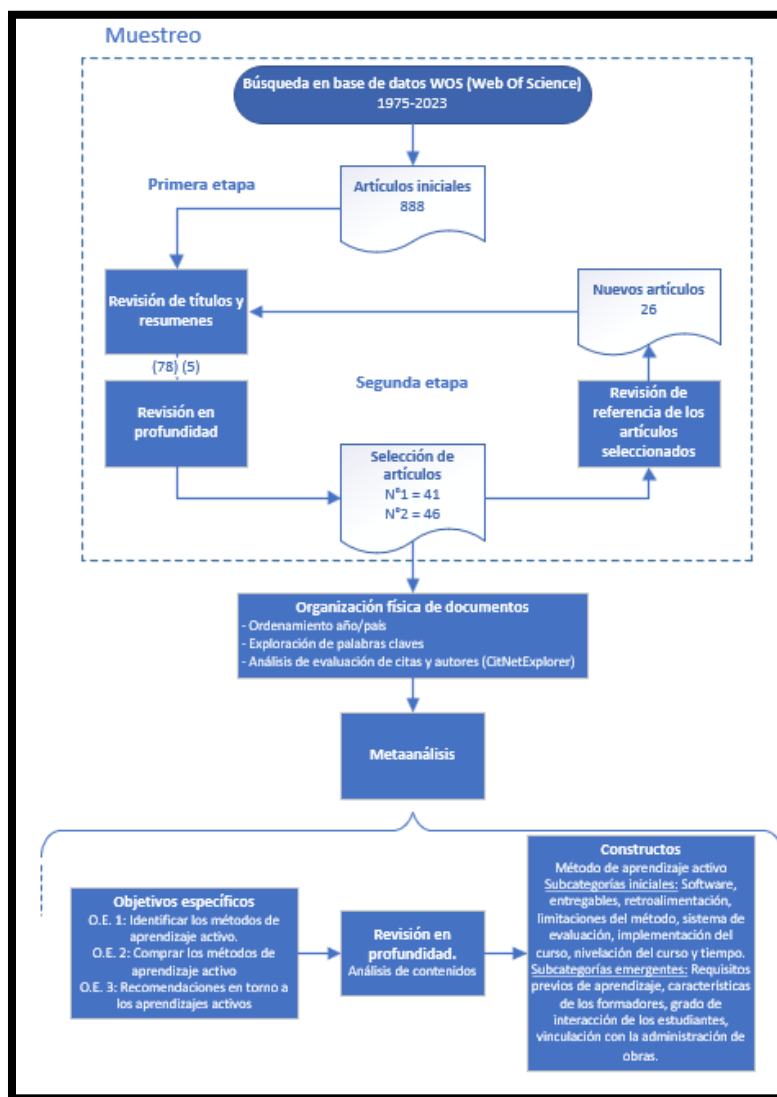


Figura 4. Revisión sistemática de literatura. (Autoría propia)

Por otro lado, hace un metaanálisis de las subcategorías que está compuesto de las tablas de contingencia, la prueba chi-cuadrado, la prueba Cramer's V, el análisis de correspondencia, y los análisis cualitativos (Diagrama de Venn y diagrama causa-efecto).

Las tablas de contingencia consisten en el cruce de dos variables estadísticas, el dato en este cruce corresponde a la frecuencia en conjunto. Para mayor referencia refiérase a Pallauta et

al., (2020). La validación estadística de Chi-cuadrado corresponde a una prueba no paramétrica que se utiliza para probar la independencia de dos variables entre sí, para ello utiliza las tablas de contingencia. Para mayor referencia refiérase a Anderson (2016). El Cramer's V es una medida de asociación entre dos variables nominales e indica la fuerza de relación entre las variables. Para mayor referencia refiérase a López-Roldán & Fachelli (2015). El análisis de correspondencia es una técnica descriptiva o exploratoria que resume una gran cantidad de datos en un número reducido de dimensiones con la mínima pérdida de información. Para mayor detalle refiérase a Olivares (1996).

Finalmente, se utilizan los análisis cualitativos diagrama de Venn y diagrama de Ishikawa. El diagrama de Venn es una combinación de elementos agrupados en un universo cerrado. Los círculos representan conjuntos y las combinaciones superpuestas representan la combinación entre conjuntos. Para mayor información refiérase a Canela & Ruíz (2019). El diagrama de Ishikawa o diagrama causa-efecto está compuesto por símbolos y líneas que dan la apariencia de un esqueleto de pez, es una herramienta simple de identificar y representar. Dentro de ella, se analizan las causas acordes a un problema y los efectos que con ella trae. Así, el diagrama causa-efecto ordena y profundiza las causas y los efectos del problema propuesto. Para mayor información refiérase a Liliana (2016).

RESULTADOS

Los resultados que surgen a través de la metodología propuesta son: la organización física de los documentos; El análisis de palabras clave mediante VOSviewer; la base de datos de documentos finales y las subcategorías halladas; Subcategorías emergentes del análisis de la base de datos; Los métodos de aprendizaje activo hallados; El análisis estadístico de los métodos de aprendizaje activo y cada una de las subcategorías; El análisis cualitativo compuesto por los diagramas de Venn y el diagrama de Ishikawa.

En la figura 5 se representa lo hallado respecto a los métodos de aprendizaje activo. De la base de datos se desprende la figura 5 que corresponde a la frecuencia de métodos de aprendizajes activo del listado final de artículos científicos. La figura 5 muestra una clara tendencia hacia el uso del método de aprendizaje basado en proyectos, abarcando un 54,0 % del total de métodos de aprendizaje activo hallados. El aprendizaje basado en problemas es el segundo más utilizado con un 12%. El aprendizaje basado en equipos es el tercero con un 8%. Cabe recalcar que el total de métodos difiere del total de artículos seleccionados, dado que, algunos documentos tienen más de un método de aprendizaje activo en uso.

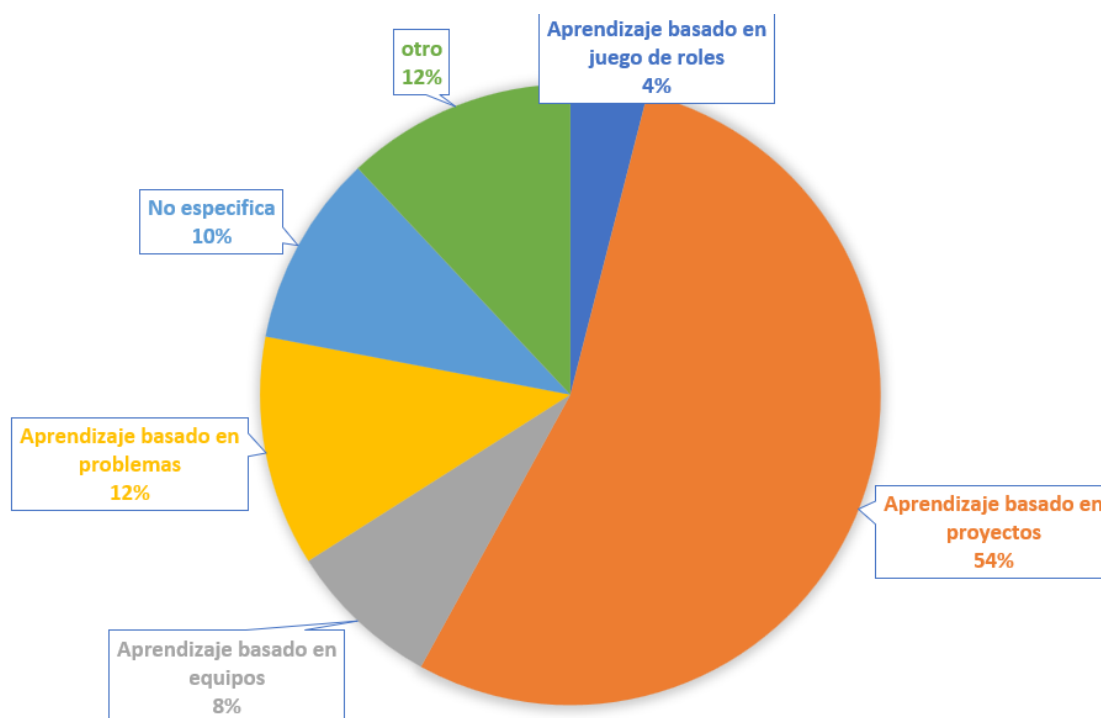


Figura 5. Frecuencia de métodos de aprendizaje activos. (Autoría propia)

En la figura 6 se presenta un resumen del análisis univariable el cual muestra los estados de respuesta más recurrentes de cada subcategoría y método de aprendizaje activo. En este sumario no existe relación entre las subcategorías o la categoría método de aprendizaje activo.

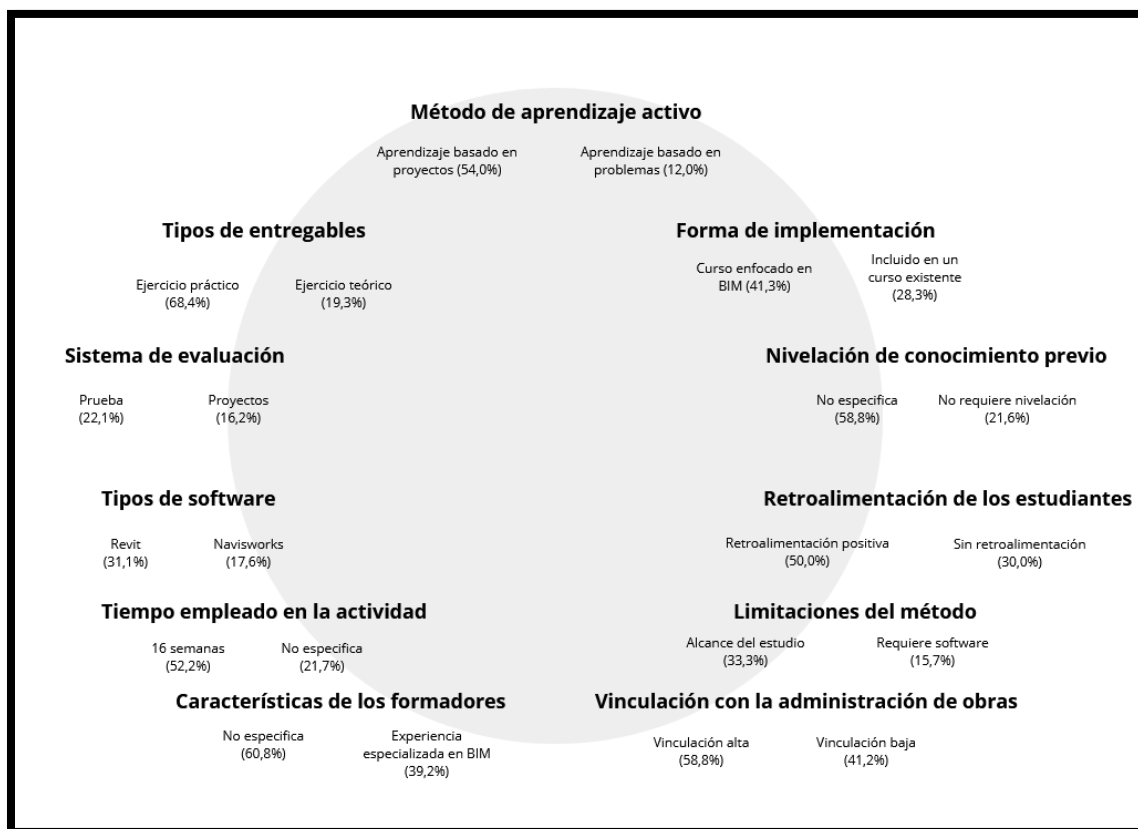


Figura 6. Los métodos de aprendizaje activo más recurrentes y los estados de respuesta más recurrentes.

Por otro lado, de las tablas de contingencia se desprenden los índices de dependencia o independencia Chi-cuadrado y V de Cramer. La prueba estadística Chi-Cuadrado está compuesto por el valor estadístico, el grado de libertad y el Valor-P. Además, se adhiere la advertencia por pocos casos, ya que es recurrente y es una consideración importante.

Según la prueba estadística Chi-cuadrado, en azul se presentan las subcategorías con un mayor grado de dependencia con la categoría método de aprendizaje activo. El sistema de evaluación y las características de los formadores son los que presentan un valor-P más cercano a la dependencia (0,05). Por otro lado, en naranja se resalta la subcategoría tipo de software que tiene menor grado de dependencia.

	Pruebas estadísticas	Tipos de entregables	Sistema de evaluación	Tipos de softwares	Tiempo empleado en la actividad	Vinculación con la administración de obras	Limitaciones del método	Retroalimentación de los estudiantes	Nivelación de conocimiento previo	Forma de implementación del curso	Características de los formadores
Chi-cuadrado	Estadístico	25,18	52,70	51,54	40,72	0,484	34,40	17,40	13,58	12,11	9,70
	GL	20	40	65	35	5	35	15	15	10	5
	Valor-P	0,195	0,086	0,888	0,233	0,446	0,497	0,296	0,557	0,278	0,084
	Advertencia por menos de 5 casos	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Cramer's V	0,311	0,375	0,350	0,400	0,308	0,344	0,337	0,298	0,345	0,436

Tabla 1. Resultados estadísticos de la relación de dependencia entre los métodos de la categoría métodos de aprendizaje activo v/s cada una de sus subcategorías. (Autoría propia)

En este apartado se presentan los diagramas de Venn. Estos representan que estados de respuesta comparten entre sí los métodos de aprendizaje activo. Las figuras 7, 8, 9 y 10 son diagramas de Venn con las distintas combinaciones de tres métodos cada uno. De esta forma, se cubren la interacción que tienen entre sí los cuatro métodos de aprendizaje activo hallados. Para la interpretación de las figuras considerar que, se toman los estados de respuesta más recurrentes de cada subcategoría para cada método. También, que en el caso de que alguna subcategoría tenga dos respuestas de muy similar frecuencia, se toma la totalidad de los estados de respuesta. En consecuencia, puede haber estados de respuesta que sean contradictorios.

En la figura 7 se ilustra la interacción entre los métodos de aprendizaje activo basado en equipos, basado en juegos de roles y basado en problemas.

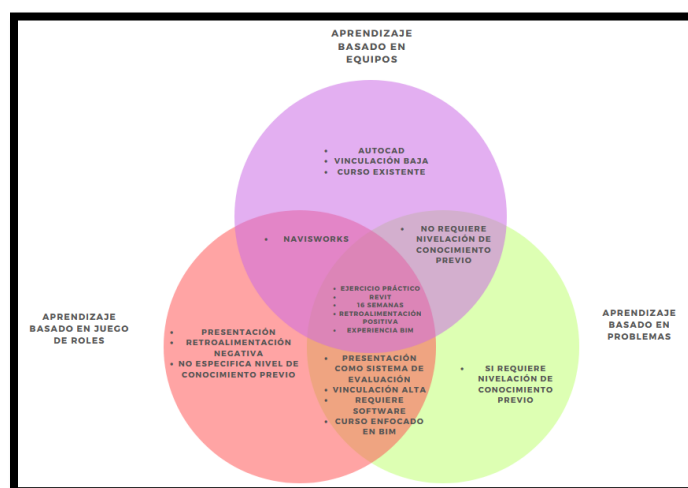


Figura 7 Diagrama de Venn 1

En la figura 8 se ilustra la interacción entre los métodos de aprendizaje activo basado en equipos, basado en juegos de roles y basado en proyectos.

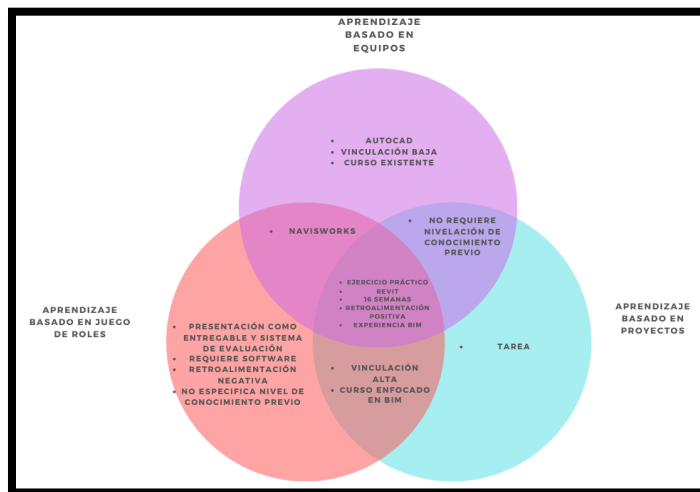


Figura 8 Diagrama de Venn 2.

En la figura 9 se ilustra la interacción entre los métodos de aprendizaje activo basado en equipos, basado en problemas y basado en proyectos.

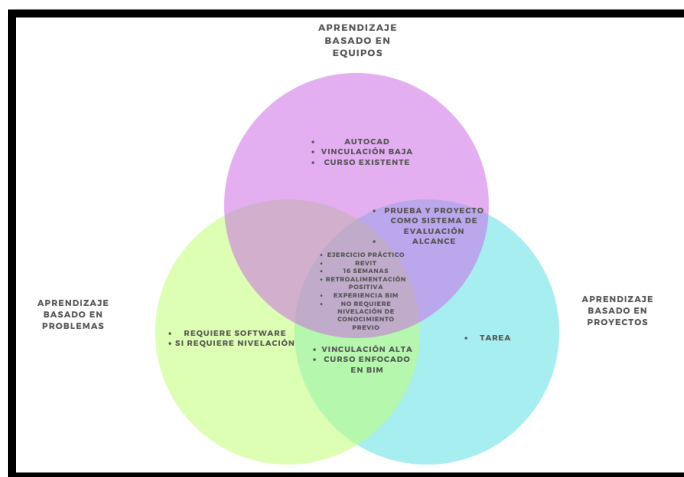


Figura 9 Diagrama de Venn 3.

En la figura 10 se ilustra la interacción entre los métodos de aprendizaje activo basado en juego de roles, basado en problemas y basado en proyectos.

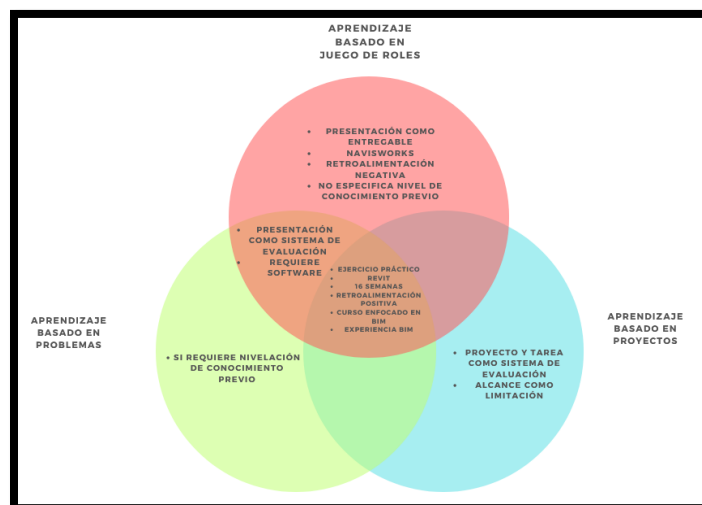


Figura 10 Diagrama de Venn 4.

Para la interpretación de las figuras considerar que, para una mejor representación, se juntó la subcategoría vinculación con la administración de obras y limitaciones. También, se juntó la subcategoría nivel de conocimiento previo e implementación del curso. Además, hay que considerar que el apartado “excedente al común entre métodos” hace referencia a los métodos que tienen en común un estado de respuesta con los otros métodos, pero también tienen otro estado de respuesta. Por último, considerar que el apartado “Común entre métodos” presenta los estados de respuesta en común que tienen los métodos de aprendizaje activo respecto a las subcategorías tipo de entregables, tiempo empleado en la actividad, retroalimentación de los estudiantes y características de los formadores.

En la figura 11 se ilustran las subcategorías utilizadas para el método de aprendizaje activo basado en equipos.

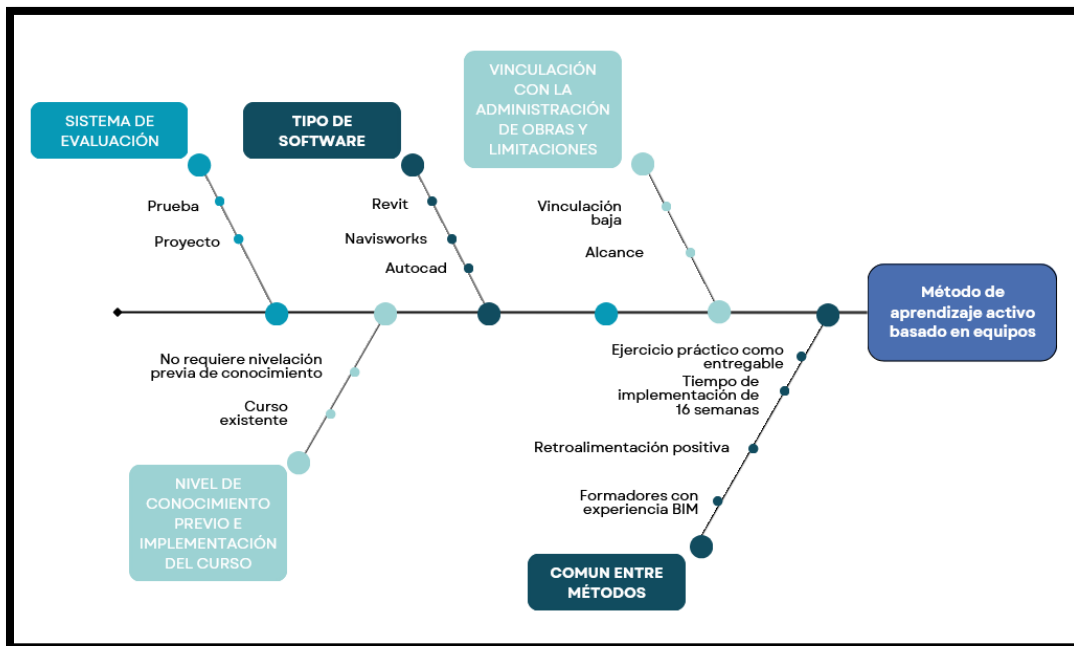


Figura 11 Diagrama de Ishikawa 1.

En la figura 12 se ilustran las subcategorías utilizadas para el método de aprendizaje activo basado en juego de roles.

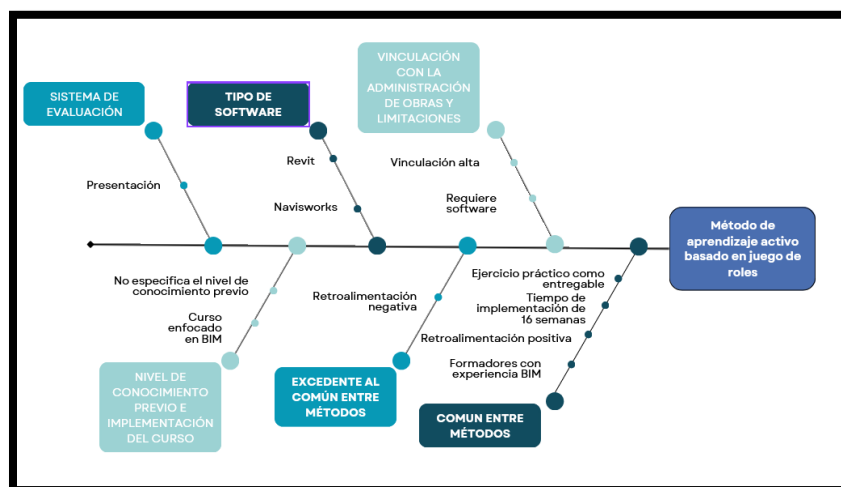


Figura 12 Diagrama de Ishikawa 2.

En la figura 13 se ilustran las subcategorías utilizadas para el método de aprendizaje activo basado en problemas.

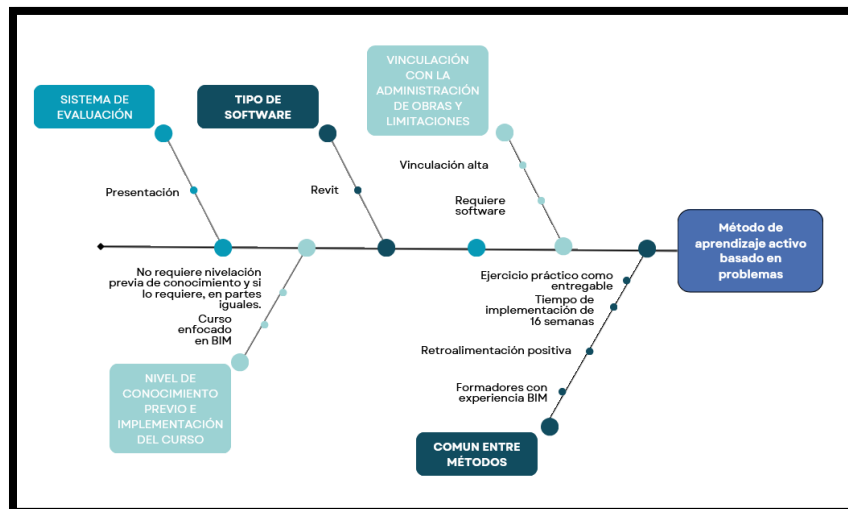


Figura 13 Diagrama de Ishikawa 3.

En la figura 14 se ilustran las subcategorías utilizadas para el método de aprendizaje activo basado en proyectos.

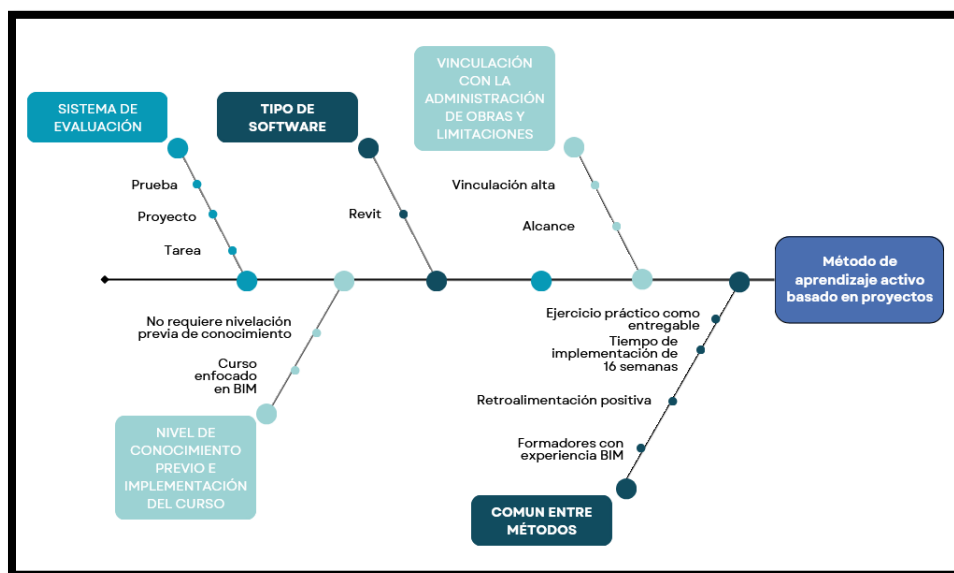


Figura 14 Diagrama de Ishikawa 4.

DISCUSIONES

En este punto se identifican varios puntos a contrastar entre el capítulo de antecedentes generales y el capítulo de resultados.

En el estudio de Liu et al. (2019) se presentan los países de mayor influencia en el BIM para la industria AEC, resaltando países como Estados Unidos en primer lugar, China en segundo lugar y Reino Unido en tercer lugar. Mientras que, en este estudio se especifica los países más recurrentes para la educación BIM en la administración de obra. Los países más recurrentes son China primer lugar, Estados Unidos en segundo lugar y Taiwán en tercer lugar. Sin embargo, hay que tener en consideración que lógicamente, la muestra de Liu et al. (2019) es de mayor envergadura. Dado que, este estudio toma una perspectiva menos específica, contrario al caso de este estudio.

Por otro lado, Liu et al. (2019) también presenta una red de coautoría que muestra los autores más influyentes para el BIM en la industria AEC. En cambio, en este estudio se muestra la red de coautoría para BIM en la enseñanza de administración de obras. Se puede apreciar que los autores más influyentes del estudio de Liu et al. (2019) son Xiangyu Wang, Rafael Sacks y Jack CP Cheng. En cambio, en este estudio los autores más recurrentes son Jingxiao Zhang, Hui Li y Haiyan Xie.

Por otro lado, PlanBIM Corfo (2022) identifica una falta de cultura de trabajo colaborativo entre los distintos actores del proyecto, haciendo alusión a la necesidad de cambiar esta mentalidad y adoptar nuevos métodos de trabajo. Además, resalta la necesidad de fortalecer la capacitación y formación de profesionales. Por su parte, en este estudio se identifican métodos de aprendizaje activo que, con sus adecuadas subcategorías, logran un avance en lo respectivo al trabajo colaborativo. Esto mediante el trabajo grupal en el aula, la necesidad de interactuar con los demás grupos e incluso, la colaboración inter carreras. Esto resulta altamente enriquecedor para el entorno académico de la industria AEC, ya que, los alumnos no suelen tener muchas instancias de colaboración con otros estudiantes de la industria AEC. En este estudio se resaltan múltiples maneras de abordar la educación BIM en la administración de obras, lo que resulta en mayor cantidad de formación de profesionales, los cuales egresan más preparados y capacitados para un entorno BIM.

Por su parte, en el estudio de Thomas et al. (2016) se observa que profesionales de la industria o expertos BIM toman participación en la academia como formadores. En este estudio se observan casos similares, en que a la mayoría de los formadores se les exige experiencia en BIM. Estos formadores BIM actúan como facilitadores para que los estudiantes lleven a cabo sus proyectos.

Por otro lado, la encuesta nacional BIM de Loyola (2022) identifica el alto costo inicial de la implementación de BIM como un obstáculo importante para su adopción. En efecto, las empresas pequeñas se ven disuadidas de su adopción por tal motivo. Mientras que, en este estudio se promueve la adopción de BIM para la enseñanza de administración de obras. Esto es un paso a la capacitación de más profesionales con conocimiento BIM, y a su vez, para que las empresas no requieran capacitar a los profesionales para la implementación de BIM. Finalmente, esto conlleva a la mitigación del obstáculo presentado por Loyola (2022).

Por su parte, Fuentes (2022) presenta una colección de artículos científicos sobre la educación en AEC del que se desprenden las subcategorías previas de este estudio. En efecto, las subcategorías halladas en esta colección de artículos científicos fueron bastante

representativas. De hecho, en cada uno de los artículos científicos seleccionados de este estudio había una gran parte de dichas subcategorías.

Por otro lado, el análisis estadístico de Chi-cuadrado fue en su mayoría no concluyente respecto a la hipótesis de dependencia entre los métodos de aprendizaje activo y las subcategorías. Cabe recalcar, que en todas las subcategorías se presentó la advertencia por menos de 5 casos para algún punto de la tabla, lo que incide negativamente en el Chi-cuadrado. Por otro lado, se aprecia en la tabla 1 que el valor de Cramer's V se encuentra entre 0,298 en el peor caso y 0,436 en el mejor caso, marcando una asociación moderada.

Por otro lado, en este estudio se identifican las siguientes limitaciones. En primer lugar, se identifica que el tamaño de la muestra es insuficiente. En efecto, el estudio presenta un análisis estadístico menos representativo por tener entrecruzamientos con menos de 5 datos. Por esta causa, el Chi-cuadrado de las tablas de contingencia mostraba independencia entre los métodos de aprendizaje activo y las subcategorías. De hecho, el software Statgraphics 19 advertía al haber puntos en la tabla con menos de 5 datos. En segundo lugar, se identifica como limitación la necesidad de parametrizar los estados de respuesta. En un inicio los estados de respuestas eran más diversos. Este procedimiento provoca una pérdida de precisión en los datos.

CONCLUSIONES

Se aprecia que la mayor limitación de este trabajo es el tamaño de la muestra. Dado que, a causa del tamaño de la muestra, la prueba estadística de Chi-cuadrado no puede asegurar una dependencia entre el método de aprendizaje activo utilizado y alguna subcategoría. De esta limitación, se desprende la necesidad de realizar más estudios de caso para la enseñanza de administración de obras mediante BIM, en específico con métodos de aprendizaje activo distintos al basado en proyecto o en su defecto, con aprendizaje basado en proyectos y otro método, entre los cuales se encuentra el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje basado en equipos y el aprendizaje basado en juego de roles. Como futura línea de investigación, se pueden explorar las distintas subcategorías y realizar un estudio de caso con algún estado de respuesta en específico. En efecto, una subcategoría interesante a estudiar es el tipo de software utilizado. En esta subcategoría se observa una clara tendencia al uso de Revit, sin embargo, la detección de conflictos ha sido ampliamente mencionada en los artículos seleccionados y es una arista importante en los beneficios de la implementación de la metodología BIM. Por ello, se recomienda realizar estudios de caso con el software Navisworks. Para su óptima implementación, se recomienda analizar los diagramas de Venn. Finalmente, de este estudio se espera que sirva como base para la implementación de un curso basado en el aprendizaje activo mediante BIM para la administración de obras. También, se espera que de este estudio se desprendan futuras investigaciones relacionadas a las subcategorías halladas. De esta forma, se podría formar una base más sólida para las recomendaciones de métodos de aprendizaje activo y así asegurar una mayor replicabilidad en las carreras ligadas a la construcción en Chile.

REFERENCIAS

- Aliaga, G. (2012). Implementación y metodología para la elaboración de modelos BIM para su aplicación en proyectos industriales multidisciplinarios. (Trabajo para optar al título de ingeniero civil). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Alianza BIM. (2024). BIM en la Fase de Operación: Beneficios, Desafíos y Perspectivas. Recuperado de <https://alianzabim.com/blog/bim-en-la-fase-de-operacion/> (Consultado el 12 de abril de 2024)
- Alsina Salterén, S. (2017). Implementación de BIM en infraestructura: la necesidad de abordarlo desde el sector público. Universidad de los Andes. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/39728>
- Anderson, I. F. (2016). Chi-cuadrado de lo-bello (parte II). In VIII Jornadas de Investigación en Disciplinas Artísticas y Projectuales (La Plata, 6 y 7 de octubre de 2016).
- Ao, Y., Liu, Y., Tan, L., Tan, L., Zhang, M., Feng, Q., ... & Martek, I. (2021). Factors driving BIM learning performance: research on China's sixth national BIM graduation design innovation competition of colleges and universities. *Buildings*, 11(12), 616. <https://doi.org/10.3390/buildings11120616>
- Arch Daily. (2021). ¿En qué países BIM es obligatorio para obras públicas?. Recuperado de <https://www.archdaily.cl/cl/956326/en-que-paises-bim-es-obligatorio-para-obras-publicas> (Consultado el 25 de marzo de 2024)
- Banco Central de Chile. (2023). Base de Datos Estadísticos (BDE). Recuperado de https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN_EP18_05_ratio/637801088750197615 (Consultado el 18 de marzo de 2024).
- Bernete, F. (2013). Análisis de contenido. Conocer lo social: estrategias y técnicas de construcción y análisis de datos, 193-203.
- Biblus. (2021). Qué son los modelos federados BIM. Recuperado de <https://biblus.accasoftware.com/es/que-son-los-modelos-federados-bim/> (Consultado el 30 de marzo de 2024)
- BimForum Chile. (2016). BIM en el mundo. Recuperado de <https://bimforum.cl/bim-en-el-mundo/> (Consultado el 22 de marzo de 2024)
- Building SMART. (2024). ¿Qué es BIM?. Recuperado de <https://www.buildingsmart.es/bim/> (Consultado el 18 de marzo de 2024)
- Cámara Chilena de la Construcción. (2020). Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales. Recuperado de [https://cchc.cl/uploads/evento/archivos/01_Matrix_Consulting_-_Impulsar_la_productividad_de_la_Construcci%C3%B3n_a_est%C3%A1ndares_mundiales_-_Documento_Consolidado_v2_\(1\).pdf](https://cchc.cl/uploads/evento/archivos/01_Matrix_Consulting_-_Impulsar_la_productividad_de_la_Construcci%C3%B3n_a_est%C3%A1ndares_mundiales_-_Documento_Consolidado_v2_(1).pdf)
- Cámara Chilena de la Construcción. (2020). INFORME MACH 55 MACROECONOMÍA Y CONSTRUCCIÓN. Recuperado de <https://cchc.cl/centro-de-informacion/publicaciones/publicaciones-mach>
- Canela Morales, L. A., & Ruiz Sosa, F. G. (2019). Aspectos generales del conocimiento simbólico y diagramático: el caso de los diagramas de Venn. *Andamios*, 16(41), 63-85. <https://doi.org/10.29092/uacm.v16i41.715>

- Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT). (2021). La tecnología BIM favorece la construcción sostenible. Portal CDT. Recuperado de <https://www.cdt.cl/tag/bim/> (Consultado el 18 de marzo de 2024)
- de Reales Toro, M. Z. (2023). LA AUTOMATIZACIÓN EN EL MODELADO DE INSTALACIONES BAJO METODOLOGIA BIM: Automatización en el modelado BIM de instalaciones, frente a los flujos de trabajo tradicionales CAD. *Journal Bim & Construction Management*, 5(5).
- Fuentes, P. (2022). Estado del arte de estrategias de enseñanza-aprendizaje de temas BIM aplicadas en la educación superior. (Trabajo para optar al título de ingeniero constructor). Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.
- Gómez-Valdés, M., Acevedo-Acevedo, S., Alvarado-Acuña, L., & Iturra-Molina, R. (2023). Impacto de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción. *Revista Tecnología En Marcha*, 36(7), Pág. 66–77. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6860>
- Jin, J., Hwang, K. E., & Kim, I. (2020). A study on the constructivism learning method for BIM/IPD collaboration education. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(15), Article 5169. <https://doi.org/10.3390/app10155169>
- Jones, S. & Bernstein, H. (2012). The Business Value of BIM in North America Multi-Year Trend Analysis and User Ratings (2007–2012). Recuperado de https://images.autodesk.com/adsk/files/mhc_business_value_of_bim_in_north_america_2007-2012_smr.pdf (Consultado el 20 de marzo de 2024)
- Kaizen Arquitectura & Ingeniería. (2024). ¿Qué es el BIM?. Recuperado de <https://www.kaizenai.com/bim/que-es-el-bim/> (Consultado el 18 de marzo de 2024)
- Kihong Ku DDES y Mojtaba Taiebat M.SC. (2011) Experiencias y expectativas BIM: laperspectiva de los constructores, *Revista internacional de educación e investigación en construcción*, 7:3,175-197, DOI:10.1080/15578771.2010.544155
- Leon, I., Sagarna, M., Mora, F. & Otauy, JP. (2021). BIM Application for Sustainable Teaching Environment and Solutions in the Context of COVID-19. *Sustainability*.13(9):4746. <https://doi.org/10.3390/su13094746>
- Liliana, L. (2016). A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. In *Iop conference series: Materials science and engineering* (Vol. 161, No. 1, p. 012099). IOP Publishing
- Liu, Z., Lu, Y., & Peh, L.C. (2019). A Review and Scientometric Analysis of Global Building Information Modeling (BIM) Research in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry. *Buildings*.
- López-Roldán, P. & Fachelli, S. (2015). Metodología de la investigación social cuantitativa. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. <https://ddd.uab.cat/record/129382>
- Loyola, M. (2013-12). Encuesta Nacional BIM 2013: Informe de Resultados. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/118101>
- Loyola, M. (2014). La difusión y masificación de BIM en la industria: El caso chileno. Santiago: Universidad de Chile. Recuperado de https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/140347/La_difusi%C3%B3n_y_masi_ficaci%C3%B3n_de_BIM_en_la_industria.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Loyola, M. (2016). Encuesta Nacional BIM 2016: Informe de Resultados. Santiago: Universidad de Chile. Disponible en: www.bim.uchilefau.cl
- Loyola, M. (2019). Encuesta Nacional BIM 2019: Informe de Resultados. Santiago: Universidad de Chile. Disponible en: www.bim.uchilefau.cl

- Loyola, M. (2022). Encuesta Nacional BIM 2022: Informe de Resultados. Santiago, Chile. Santiago: Universidad de Chile. Disponible en: www.bim.uchilefau.cl
- Loyola, M., Matta, G. y Herrera, R.F. (Eds.). (2021). “¿Cómo se enseña BIM en Chile?: Experiencias de universidades chilenas introduciendo BIM en carreras de pregrado de Arquitectura, Ingeniería y Construcción”. BIM Forum Chile, Grupo Técnico de Trabajo en Educación. Disponible en: www.bimforum.cl/educacion
- Mahamid, I. (2020). Study of relationship between rework and labor productivity in Building Construction Projects. *Revista De La Construcción. Journal of Construction*, 19(1), 30–41. <https://doi.org/10.7764/RDLC.19.1.30-41>
- Martínez C, L. F., Verbal R., R., & Serpell, A. (2020). Recomendaciones para aumentar la productividad en la construcción. *Revista Ingeniería De Construcción*, (8), 1–14. Retrieved from <https://pensamientoeducativo.uc.cl/index.php/ric/article/view/17505>
- Mathews, M. (2013). BIM collaboration in student architectural technologist learning. *Journal of Engineering, Design and Technology*. Vol. 11 No. 2. pp. 190-206. <https://doi.org/10.1108/JEDT-10-2011-0067>
- Meterelliyöz M Ü & Önder O .(2022). BIM-enabled learning for building systems and technology, *ITcon* Vol. 27, pg. 1-19, <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.001>
- Olivares, J. E. P. (1996). Modelo de análisis de correspondencias múltiples. *Revista de ciencias sociales*, 2(2), 183-196.
- Olowa, T., Witt, E., Morganti, C., Teittinen, T., & Lill, I. (2022). Defining a BIM-enabled learning environment—an adaptive structuration theory perspective. *Buildings*, 12(3), 292. <https://doi.org/10.3390/buildings12030292>
- Pallauta, J. D., Gea, M. M., & Batanero, C. (2020). Un análisis semiótico del objeto tabla estadística en libros de texto chilenos. *Zetetiké*, 28, e020001-e020001. <https://doi.org/10.20396/zet.v28i0.8656257>
- Pérez Gómez Martínez, G. J. F., Del Toro Botello, H. Y., & López Montelongo, A. M. (2019). Mejora en la construcción por medio de lean construction y building information modeling: caso estudio. *Revista De Investigación En Tecnologías De La Información*, 7(14), 110–121. <https://doi.org/10.36825/RITI.07.14.010>
- Planbim Corfo. (2022). Primer reporte del Observatorio BIM: Estudiode la inclusión de BIM en la educación superior en Chile, 2016-2021. Versión 1.0.
- PlanBIM. (2024). ¿Por qué y cómo nace Planbim?. Recuperado de <https://planbim.cl/que-es-planbim/objetivos-y-metas/> (Consultado el 18 de marzo de 2024)
- Salazar Montalba, F. E. (2018). ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL DESARROLLO DE OBRAS DE CONSTRUCCIÓN EN EL MARCO DE LA INGENIERÍA GEOMÁTICA. INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO. Ingeniería Geomática, Universidad de Concepción, Los Ángeles.
- Saldías, R. (2010). Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM (Trabajo para optar al título de ingeniero civil). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Sánchez, A., Gonzalez-Gaya, C., Zulueta, P., & Sampaio, Z. (2019). Introduction of building information modeling in industrial engineering education: Students’ perception. *Applied sciences*, 9(16), 3287. <https://doi.org/10.3390/app9163287>
- Sanchez-Lite, A., Zulueta, P., Sampaio, A. Z., & Gonzalez-Gaya, C. (2022). Bim for the realization of sustainable digital models in a university-business collaborative learning environment: Assessment of use and students’ perception. *Buildings*, 12(7), 971. <https://doi.org/10.3390/buildings12070971>

- Thomas, K., Chisholm, G., Dempsey, B.W., Graham, B., & Stubbs, R. (2014). Collaborative BIM Learning via an Academia-Industry Partnership. *Int. J. 3 D Inf. Model.*, 3, 40-48.
- Urban, H., Pelikan, G., & Schranz, C. (2022). Augmented Reality in AEC Education: A Case Study. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings12040391>
- Zhang, J., Xie, H., & Li, H. (2018). Project based learning with implementation planning for student engagement in BIM classes. *International Journal of Engineering Education*, 35(1), 310-322.
- Zhao, D. (2021). Peer pressure in BIM-based collaboration improves student learning. *Journal of Civil Engineering Education*, 147(2), 04020019. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.2643-9115.0000038](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000038)