



Título del trabajo de grado

Análisis del impacto de la integración de tecnologías Boulding Information Modeling, Realidad virtual y Realidad Aumentada en la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos de construcción frente a los enfoques tradicionales.

Laura Vanessa Osorio Ruiz, Yuly Angelica Martínez Huertas,
Julieth Katherine Sua Yepes, Laura Camila Neuta Tunjo

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

diciembre de 2025

IMPACTO DE BIM, RV Y AR EN EFICIENCIA Y CALIDAD DE PROYECTOS

Análisis del impacto de la integración de tecnologías Building Information Modeling, Realidad virtual y Realidad Aumentada en la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos de construcción frente a los enfoques tradicionales.

Laura Vanessa Osorio Ruiz, Yuly Angelica Martínez Huertas,

Julieth Katherine Sua Yepes, Laura Camila Neuta Tunjo

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos

Jonnathan López Hurtado

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

diciembre de 2025

Contenido

Lista de tablas 5

Lista de figuras 6

Lista de anexos..... 7

Resumen 8

Abstract..... 9

Introducción..... 10

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 13

 1.1. Descripción del problema..... 13

 1.2. La pregunta de investigación..... 14

 1.3. Los objetivos de investigación 14

 1.3.1 Objetivo general..... 14

 1.3.2 Objetivos específicos..... 14

 1.4. Justificación de la investigación..... 15

 1.4.1 Planteamiento de objetivos 16

 1.4.2 Aporte a la comunidad académica..... 17

2. MARCO DE REFERENCIA..... 18

 2.1 Marco de Antecedentes 18

 2.2 Estado del Arte..... 20

 2.3 Marco Teórico..... 21

 2.4 Marco normativo 24

3. METODOLOGÍA 29

 3.1. Enfoque y alcance de la investigación 29

 3.2. Población y muestra 30

 3.2.1. Definición de la población..... 30

 3.2.2. Cálculo y selección de la muestra 30

 3.3. Instrumento(s)..... 31

 3.3.1. Encuesta 31

 3.3.2. Entrevista 32

IMPACTO DE BIM, RV Y AR EN EFICIENCIA Y CALIDAD DE PROYECTOS

3.4.	Descripción de procedimientos.....	33
3.5.	Análisis de información	33
3.6.	Consideraciones éticas	33
3.6.1.	Análisis de consideraciones éticas	33
3.6.2.	Instrumentos de aceptación y autorización.....	34
4.	HIPÓTESIS.....	35
4.1.	Las variables.....	35
4.1.1.	Variable independiente.....	35
4.1.2.	Variables dependientes.....	35
4.2.	Planteamiento de hipótesis.....	36
5.	RESULTADOS	38
5.1.	Encuesta	38
5.2.	Entrevista.....	60
6.	DISCUSIÓN	67
6.1.	Funcionalidades clave de las tecnologías BIM, RV y AR que influyen en la eficiencia operativa y la calidad en proyectos de construcción.....	67
6.2.	Comparar, a partir de un caso o ejercicio práctico, los resultados generados mediante BIM, RV y AR frente a los obtenidos con métodos tradicionales	69
6.3.	Variaciones en eficiencia operativa y calidad identificadas en la comparación, destacando los factores que explican dichas diferencias	70
7.	CONCLUSIONES.....	74
8.	RECOMENDACIONES.....	78
	Referencias.....	79
	Anexos.....	83

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Tecnologías implementadas</i>	38
Tabla 2 <i>Área de aplicación de tecnologías</i>	40
Tabla 3 <i>Eficiencia operativa</i>	41
Tabla 4 <i>Conocimiento del tema BIM, Vr o Ar en las empresas</i>	43
Tabla 5 <i>Dificultades técnicas en la implementación de tecnologías.</i>	44
Tabla 6 <i>Experiencia en el sector de la construcción porcentualmente</i>	46
Tabla 7 <i>Afectación en costos operativos debido a implementación de nuevas tecnologías</i>	47
Tabla 8 <i>Tamaño de empresas evaluado en número de empleados</i>	49
Tabla 9 <i>Roles y cargos en la muestra analizada</i>	50
Tabla 10 <i>Tiempo de adopción de las tecnologías</i>	51
Tabla 11 <i>Porcentaje de personal capacitado</i>	53
Tabla 12 <i>Nivel de capacitación sobre las tecnologías</i>	55
Tabla 13 <i>Principales barreras de adopción tecnológica</i>	57
Tabla 14 <i>Nivel de resistencia al cambio en la adopción</i>	59

Lista de figuras

Figura 1 <i>Tecnologías implementadas</i>	39
Figura 2 <i>Área de aplicación de tecnologías</i>	40
Figura 3 <i>Eficiencia operativa</i>	42
Figura 4 <i>Conocimiento del tema BIM, Vr o Ar en las empresas</i>	43
Figura 5 <i>Dificultades técnicas en la implementación de tecnologías</i>	45
Figura 6 <i>Incidencia porcentual en años de experiencia</i>	46
Figura 7 <i>Distribución porcentual de Afectación en costos operativos</i>	48
Figura 8 <i>Distribución porcentual de tamaño en constructoras muestra</i>	49
Figura 9 <i>Distribución porcentual de roles en la muestra</i>	50
Figura 10 <i>Tiempo de adopción de las tecnologías</i>	52
Figura 11 <i>Porcentaje de personal capacitado</i>	54
Figura 12 <i>Nivel de capacitación sobre las tecnologías</i>	55
Figura 13 <i>Principales barreras de adopción tecnológica</i>	58
Figura 14 <i>Nivel de resistencia al cambio en la adopción</i>	59

Lista de anexos

Anexo 1 Entrevista..... 83
Anexo 2 Encuesta 84

Resumen

La presente investigación relaciona como la integración de las tecnologías BIM, realidad virtual y realidad aumentada inciden en la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos de construcción en comparación con los métodos tradicionales. Para ello se utilizó un enfoque metodológico mixto empleando como herramientas de recolección de datos una encuesta de 14 preguntas dirigida a empresas pymes de Bogotá y una entrevista a constructoras, una que emplea las tecnologías y otra que no. Los resultados permitieron identificar los principales aportes que brindan el uso de las tecnologías en el ciclo de vida de los proyectos y simultáneamente se pudo reconocer la percepción que tienen las pymes sobre el uso de las tecnologías. Por otro lado, también se estable los errores comunes que se cometen cuando se usan metodologías tradicionales y como estas afectan en costo, tiempo y calidad de los proyectos.

Palabras clave: Eficiencia operativa, Calidad, gestión de proyectos, Modelado de la información de la construcción (BIM), realidad virtual, realidad aumentada.

Abstract

This research relates how the integration of BIM, virtual reality, and augmented reality technologies impacts the operational efficiency and quality of construction projects compared to traditional methods. To this end, a mixed methodological approach was used, employing data collection tools for a 14-question survey directed to SMEs in Bogotá and an interview construction company, one that uses the technologies and another that does not. The results made it possible to identify the main contributions that the use of technologies provides in the life cycle of projects, and simultaneously it was possible to recognize the perception that SMEs have about the use of technologies. On the other hand, it also establishes the common mistakes made when using traditional methodologies and how these affect the cost, time, and quality of projects.

Keywords: Operational efficiency, quality, project management, Building Information Modeling (BIM), virtual reality, augmented reality.

Introducción

La construcción se ha basado durante años en metodologías tradicionales que, aunque han sido eficaces y seguras, presentan limitaciones en rendimiento, calidad, coordinación y aprovechamiento de recursos. Frente a un mundo cada vez más digitalizado y competitivo, la construcción se enfrenta al desafío de incorporar tecnologías que le permitan ser más eficiente y atender mejor las demandas del mercado. En este sentido, el uso conjunto de herramientas como el building information modeling (BIM), la realidad virtual (VR) y la realidad aumentada (AR) se presenta como una alternativa para dejar atrás las limitaciones de los métodos tradicionales.

A pesar del esfuerzo tecnológico y normativo que se ha venido haciendo en Colombia, especialmente en el ámbito del BIM, la incorporación de estas tecnologías sigue siendo baja, fundamentalmente en las pequeñas y medianas empresas (pymes) del sector de la construcción. El no saber qué tanto van a costar los cambios, la falta de entrenamiento del personal, la resistencia al cambio y la percepción de riesgo que trae la inversión tecnológica han hecho que muchas empresas sigan jugando a lo seguro, a lo tradicional, aunque lo tradicional les genere volver a hacer el trabajo, les produzca sobrecostos, retrasos y problemas de calidad. Lo anterior lleva a un problema de investigación que pone sobre la mesa la necesidad de conocer si la incorporación de BIM, VR y AR realmente trae beneficios de eficiencia operativa y calidad en los proyectos y cuáles son los factores que explican esas ventajas frente a los métodos tradicionales.

En relación con esta problemática, la investigación propone como pregunta de investigación: ¿De qué manera la integración de las tecnologías BIM, realidad virtual y realidad aumentada contribuye a la eficiencia operativa y a la calidad de los proyectos de construcción en comparación con los métodos tradicionales, y cuáles son los factores que explican las diferencias encontradas en constructoras pymes? De esta pregunta de investigación se deriva el objetivo general del estudio, que fue atender el impacto de la gestión integrada de esas tecnologías en la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos de construcción frente a los enfoques tradicionales. Para ello, se plantearon como objetivos específicos, caracterizar las funcionalidades de BIM, VR y AR, comparar los resultados derivados de estas tecnologías con los obtenidos por

medios tradicionales y identificar las variaciones de eficiencia y calidad encontradas, aportando los factores explicativos de esas diferencias.

El estudio se justifica en la relevancia que tiene el sector de la construcción en Colombia, que aporta una parte importante al producto interno bruto y es también un gran generador de empleo. Por ello, resulta relevante analizar el impacto que tiene la adopción tecnológica en pymes constructoras de la ciudad de Bogotá, ya que estas organizaciones representan el 85% del tejido empresarial del país y, al mismo tiempo, son el sector con mayores dificultades para innovar. Del mismo modo, el trabajo pretende aportar evidencias que ayuden a esclarecer si las mejoras en costos, tiempos y calidad de los proyectos realmente compensan la inversión inicial en tecnologías digitales, ayudando así al debate de los empresarios en torno a la gestión de proyectos.

En cuanto a la base teórica, el trabajo se apoya en una revisión bibliográfica y del estado del arte que evidencian el potencial de BIM como herramienta central en la gestión colaborativa de la información a lo largo del ciclo de vida de los proyectos, así como los aportes que la realidad virtual y la aumentada pueden hacer en la visualización, la simulación, la detección temprana de errores y la mejora de la comunicación entre los miembros del equipo de proyecto. No obstante, la literatura también recoge que la mayoría de los estudios se han hecho con el foco puesto en grandes empresas o grandes proyectos, por lo que resulta especialmente necesario abordar cuál es el impacto de estas tecnologías en las pymes.

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo se ubica en un marco de enfoque mixto. Se aplicó un cuestionario a 42 pymes constructoras de Bogotá con el fin de recoger información sobre el nivel de digitalización, la percepción de los beneficios, las barreras al despliegue y el impacto en eficiencia operativa y calidad. Además, se realizaron entrevistas a líderes y gerentes de proyecto con las que se pudo profundizar en las experiencias, percepciones y resistencias al mundo digital. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y análisis cualitativo, y se integraron para poder triangular la información.

Entre sus principales hallazgos, el estudio pone de manifiesto que la adopción de tecnologías digitales, y especialmente de BIM, reporta una serie de beneficios muy importantes a nivel de eficiencia operativa, coordinación de procesos y calidad de los proyectos, si bien para que su efecto sea óptimo es necesario que la implementación sea total, que el personal esté debidamente

formado y que la empresa cuente con un nivel de madurez digital adecuado. Asimismo, se apunta a que las tecnologías de realidad virtual y aumentada, si bien la mayoría no las utiliza, pueden aportar gran valor en aspectos como la visualización, la comprensión del diseño o la minimización de errores. Finalmente, el trabajo deja en el aire la combinación de BIM, RV y AR para potenciar la gestión de proyectos por parte de las pymes constructoras, siempre y cuando se complemente con una adecuada estrategia de formación, un buen plan de adopción y una correcta gestión del cambio, esto es, aportando al sector de la construcción ser más competitivo y innovador.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Muchas de las compañías más importantes en la construcción no entienden las ventajas de incluir tecnologías de BIM, VR y AR en el campo de trabajo de supervisión de proyectos de ingeniería Civil. La incertidumbre sobre los costos y beneficios de la adopción de las tecnologías hace que las pequeñas y medianas empresas consideren que la inversión que debía llevarse a cabo no resulte justificable; incluso grandes empresas dudan de que el beneficio justifique el coste. Es por ello que es importante identificar las ventajas que genera el uso de las tecnologías en cuanto a reducción de costos, calidad y eficiencia operativa en comparación con el coste que se asume cuando no se usan estas tecnologías (Azhar, 2011).

El sector de la construcción generalmente se adhiere a procedimientos de larga duración y una ruta crítica. Las alteraciones de dichas rutinas pueden verse como un riesgo potencial en el desarrollo de los proyectos. Es por ello que se identifica que la falta de implementación de las tecnologías no permite facilitar la comprensión de proyectos para que los equipos se coordinen de mejor manera, se comuniquen de manera clara, alineada y no es posible que se reduzcan las posibilidades de que surjan problemas durante la construcción. La incorporación de tecnologías digitales como BIM, la realidad virtual y la realidad aumentada puede proporcionar una ventaja competitiva al facilitar una mejor coordinación y una planificación exhaustiva.

Este proyecto busca identificar y analizar las estrategias que permitan que las empresas pymes eliminen los obstáculos de adopción a las tecnologías y que implemente herramientas como BIM, VR y AR las cuales podrían hacer que se reduzcan tiempos de construcción, que se mejore la calidad de los proyectos, que se minimicen errores y también mejore la seguridad de la obra. Es importante contemplar que las empresas que avanzan en la digitalización de la gestión de proyectos logran mayores niveles de productividad, de precisión en toma de decisiones y más colaboración entre los actores del proyecto (Eastman., 2011).

Es trascendental mencionar que en Colombia aunque existen diferentes avances normativos y estratégicos frente a la adopción de BIM, RV y AR, su implementación es todo un reto para las empresas medianas y pequeñas, dado que estas solo se rigen por la ejecución de proyectos de

formas tradicionales que aunque toman gran cantidad de tiempo para ejecutarlas son seguras y confiables, además de que la mayoría de las investigaciones solo se centran en grandes empresas o proyectos de gran escala, lo que genera una brecha de conocimiento frente al impacto que pueden generar el uso de tecnologías en empresas pymes.

Por lo anterior es importante realizar un estudio en el que identifiquen los beneficios reales que estas tecnologías aportan al sector de la construcción, así como, demostrar que la inversión inicial vale la pena, ya que se traduce en mejoras de eficiencia operativa y calidad de proyectos, además de enfatizar en la importancia de que las empresas adopten procesos de transformación digital para que sigan siendo competitivas en el mercado que día a día se somete a un cambio constante. La integración de tecnologías es crucial para avanzar en la gestión de proyectos en la construcción, dado a que las empresas que invierten en medios tecnológicos aumentan la probabilidad de gestionar mejor sus proyectos.

1.2. La pregunta de investigación

¿Cómo la integración de las tecnologías BIM, realidad virtual (RV) y realidad aumentada (AR) inciden en la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos de construcción en comparación con los métodos tradicionales, y cuáles son los factores que explican las diferencias encontradas en constructoras pymes?

1.3. Los objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el impacto de la integración de tecnologías BIM, RV y AR en la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos de construcción frente a los enfoques tradicionales.

1.3.2 Objetivos específicos

Caracterizar las funcionalidades clave de las tecnologías BIM, RV y AR que influyen en la eficiencia operativa y la calidad en proyectos de construcción.

Comparar, a partir de un caso o ejercicio práctico, los resultados generados mediante BIM, RV y AR frente a los obtenidos con métodos tradicionales.

Determinar las variaciones en eficiencia operativa y calidad identificadas en la comparación, destacando los factores que explican dichas diferencias

1.4. Justificación de la investigación

El progreso en la forma de construir en Colombia es cada vez más evidente, puesto que el país se encuentra implementando nuevas tecnologías y modelos que permiten optimizar sus procesos, todo esto con el fin de obtener mejores resultados disminuyendo costos y tiempos de ejecución, tomando un papel relevante en el desarrollo del país, ya que, según el DANE, el sector de la construcción representa el 4,3% del PIB, crea 1,6 millones de empleos directos y demanda insumos de otros 36 sectores. Las empresas de la construcción son 7.388, de las cuales un 39% está en la actividad residencial y la mayor parte de ellas están constituidas como SAS.

De acuerdo con lo anterior, el dinamismo que se presenta en el sector construcción nace de la necesidad por aportar al desarrollo del país, esto iniciando por su capital, la cual representa un sinónimo de cambio e innovación. Por tal motivo, el presente trabajo busca realizar un análisis profundo al impacto que genera la adopción de nuevas tecnologías como BIM, VR y AR en pequeñas y medianas constructoras que hagan parte de Pymes en la ciudad de Bogotá, esto en comparación con los métodos tradicionales que acompañan la construcción en Colombia desde sus inicios.

Todo esto con enfoques técnicos y prácticos que faciliten a los interesados determinar si realmente el país y su economía permiten a las empresas constructoras pequeñas y medianas en la ciudad de Bogotá iniciar con la adopción de dichas tecnologías, evaluando sus riesgos, beneficios y resultados en todos los escenarios por medio de la comparación entre una empresa que ya implemento dichas tecnologías y una que siga manejando los métodos tradicionales.

1.4.1 Planteamiento de objetivos

Para generar un desarrollo adecuado del trabajo se plantean objetivos que permitan involucrar al equipo con las empresas objeto de estudio, de tal forma que se comprendan sus necesidades, expectativas y estado actual, logrando así penetrar más allá de los requerimientos vanguardistas y determinar si implementar dichas herramientas son en verdad la mejor opción al momento de querer innovar, ser más competitivos en el mercado, disminuir tiempos de diseño, planeación y ejecución, así como disminuir costos significativos en cada proyecto con el que se relacionen.

De igual forma, se busca indagar sobre la funcionalidad de las tecnologías, BIM, VR y AR, analizar si su impacto en la construcción será permanente o pasajera, si tiene características adecuadas que faciliten su implementación en pequeñas y medianas empresas, además de que cumplan con las normativas vigentes en la construcción colombiana, e incluso determinar si existen nuevas tecnologías como la inteligencia artificial que puedan generar algún tipo de competencia o reemplazar sus características.

Así mismo, se evalúa su variación en eficiencia operativa, y calidad de interfaz en cuanto a visualizaciones en 3D, cálculo de cantidades, cantidad de errores, estimación de materiales como cemento, concreto, bloques, acero y demás, calidad en sus detalles en las especificaciones técnicas y requerimiento de software, ya que esta debería poder adaptarse y aplicarse en cualquier tamaño de empresa, todo respecto a los métodos tradicionales de construcción.

Se cuenta además con los resultados de comportamiento de dichas tecnologías en una empresa mediana, para evaluar su estado actual de inversión frente a ganancias implícitas de cada proyecto, incremento de competitividad, cumplimiento de requerimientos en los proyectos, facilidad de manejo, porcentaje de resultados erróneos y demás características relevantes que puedan influir en su desarrollo.

1.4.2 Aporte a la comunidad académica

El desarrollo del presente trabajo permitirá al equipo analizar las estrategias y decisiones que debería tomar cada líder en su empresa para contemplar la posibilidad de implementar dichas tecnologías, evaluando de forma adecuada y acertada los riesgos y beneficios que esto representa, si realmente es un bien necesario o solo es un requerimiento actual transitorio o si por el contrario será la forma definitiva de construir en Colombia, que la lleve al progreso en la construcción logrando competir así con países líderes en dicho ámbito.

Para terminar, se espera que la investigación objeto aporte de forma relevante a la comunidad académica de ingenieros con enfoques en la construcción, ofreciendo insumos teóricos y prácticos que fortalezcan la discusión sobre la adopción de tecnologías emergentes en el sector. De esta manera, el trabajo no solo busca generar conocimiento aplicable en el contexto colombiano, sino también abrir la puerta a futuras investigaciones que analicen la sostenibilidad, la competitividad y la innovación en las pymes constructoras, contribuyendo al progreso del país y a su posicionamiento frente a estándares internacionales.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco de Antecedentes

La industria de la construcción ha ido cambiando poco a poco sus formas de trabajar con el objetivo de ser más eficientes y que sus proyectos sean de mayor calidad. Ya desde los años setenta, cuando el profesor Chuck Eastman propuso por primera vez el concepto de Modelado de Información para la Construcción (BIM), las herramientas digitales no han dejado de evolucionar. BIM se ha convertido en la herramienta definitiva para poder gestionar todo lo que envuelve a un proyecto, desde su diseño hasta su operación, pasando por la propia construcción de la obra. Sin embargo, todavía hoy su empleo masivo es un anhelo más que una realidad debido a problemas como la brecha tecnológica, la falta de normas comunes o la resistencia de las empresas a cambiar de aires.

Durante este tiempo, además, se ha seguido la huella de BIM con otras tecnologías emergentes como la realidad virtual (VR) o la realidad aumentada (AR), que cada vez más se ven como compañeras perfectas de BIM. Meterse en el proyecto con una de estas visiones puede ayudar a diseñar y planificar el trabajo, a coordinarse con el resto de equipos o a controlar la obra propia, ya que la inmersión puede ayudar a encontrar los famosos choques de última hora y a tomar mejores decisiones. Por eso, cada vez más universidades y centros técnicos se lanzan a realizar experimentos para ver hasta qué punto lo que proponen estas tecnologías es cierto o no.

La revista “Engineering Record” (2024) publica un metaanálisis que, con datos de diferentes estudios, pone cifras a los beneficios de implementar BIM en las distintas fases del proyecto. Sus conclusiones revelan que, si bien la puesta en marcha de BIM puede disparar los costos y dilatar los tiempos de la fase de diseño, al final de la obra se consiguen importantes ahorros, sobre todo en partidas vinculadas a la coordinación, la corrección de errores, la toma de cantidades o la planificación del mantenimiento. Estas partidas o mejoras explican los autores, dejan muy claro de lo que es capaz BIM al subir la eficiencia en la operación y lo que aporta a la sostenibilidad energética del proyecto.

Por otro lado, la publicación “Energy and Buildings” (2024) recoge varias investigaciones que llevan a la conclusión de que es muy importante validar y perfeccionar el modelo BIM a través de exhaustivos procesos de revisión, simulación y feedback técnico. El trabajo que conduce a esta conclusión, por ejemplo, parte de un ensayo a ciegas en el que inicia con un modelo que se altera para luego compararlo con el modelo base y evaluar qué mejoras introduce. En concreto, se encontraron diferencias en cuanto a la corrección de la geometría, del llenado de vacío de los elementos o de la capacidad del modelo para ejecutar simulaciones eficaces en su totalidad. Y no solo eso, ya que, aunque por ahora el trabajo va muy lento también hay pruebas de que, de seguir esta línea, el aplicar un mismo conjunto de normas puede hacer que el modelo sea más preciso y que acuda con más ganas cuando se le pida que ayude en ciertas tareas.

En lo que se refiere a la regulación, la revista Ingeniería de Ain Shams (2024) apunta que, aun cuando BIM puede mejorar aspectos operativos y contractuales, existen lagunas y limitaciones en la gestión de los aspectos legales y la resolución de disputas que se derivan de su implementación. El estudio concluye que la escasa evidencia empírica de los efectos legales y contractuales de BIM es una barrera para el despegue de BIM por parte de las organizaciones del sector de la construcción.

Por consiguiente, algunas investigaciones están considerando la realidad virtual y aumentada como nuevas tecnologías que van a completar a BIM. Numerosos estudios internacionales destacan que ambas tecnologías permiten visualizar modelos 3D en entornos inmersivos, simular recorridos, validar condiciones espaciales, facilitar la formación de operarios y mejorar la comunicación entre los agentes del proyecto. En comparación con los métodos tradicionales se observa que las inmersivas disminuyen los errores de interpretación, aceleran los procesos de revisión y aumentan la comprensión del diseño por parte de colectivos no técnicos. Sin embargo, la mayoría de los trabajos coinciden en que su implantación está condicionada por el acceso a un equipamiento especializado, la formación de los usuarios y la integración con las plataformas BIM ya existentes.

En definitiva, los antecedentes denotan que existe un cuerpo de investigación amplio y reciente que reclama la necesidad de evaluar, mediante comparativas llevadas a cabo en la práctica, de qué manera la combinación de BIM, VR y AR incide en la eficiencia operativa y en la calidad

de los proyectos, especialmente frente a trabajar de forma convencional con planos 2D y procesos no digitalizados. Sobre esta base teórica y empírica se sustenta la investigación que ahora se presenta, y que pretende profundizar las variaciones que estas tecnologías generan en el día a día de la construcción.

2.2 Estado del Arte

La construcción ha sido un sector con fama de baja productividad, generación de retrabajos y problemas de coordinación entre diferentes oficios, factores que han llevado a la incorporación progresiva de herramientas digitales con las que mejorar la operatividad y el resultado de las obras. En este escenario, la combinación de tecnologías como (BIM), (RV) o (RA) cobra cada vez más sentido frente a los métodos tradicionales basados en informes y en procesos fragmentados.

El retorno de la inversión en la adopción de BIM es bastante claro, al contar toda la información del proyecto en un modelo colaborativo digital, se pueden evitar los choques de último minuto, planificar mejor, hacer el seguimiento de la obra y también de su ciclo de vida posterior. Sin embargo, el salto a esta tecnología no ha estado exento de barreras. En particular, las que suelen llamarse “pequeñas y medianas” constructoras, por razones de costo inicial, carencia de formación, hasta del rechazo de muchos entornos a la falta de rutina por parte de la compañía. En este sentido, el trabajo de Alsina (2017) en la implantación de BIM en infraestructuras apunta que el nivel de implementación de esta tecnología en un país depende mucho de cómo el propio sector está regulado y de cuánto ayuda o marca las pautas la Administración pública.

En su investigación Alsina (2017). “BIM implementation in infrastructure: the need to address it from the public sector”, hace hincapié en la necesidad de la incorporación de BIM en las obras promovidas por la administración pública, ya que indica que, en las infraestructuras públicas, los retrasos y sobre costos se genera en las primeras fases de la vida del proyecto. Estos problemas se atribuyen mayoritariamente a una mala planificación, a errores de proyecto, a desviaciones en los plazos y a una deficiente logística que además de la incidencia de los tradicionales modos de gestión en la planificación de proyectos, son los causantes también de lo ya mencionado anteriormente. De los resultados de esta investigación se desprende también que la utilización de BIM en las fases en las que se lleva a cabo la consultoría y el diseño se puede

traducir en un ahorro de recursos y en un aumento de la eficiencia y la calidad del proyecto al minimizar el margen de error y al facilitar la toma de decisiones desde su inicio.

Por otra parte, muchos de los estudios incorporan también un tercer componente en la ecuación, el de la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada al modelado BIM. La idea que subyace es que, si ya de por sí el modelo es una buena representación del proyecto, si se añade la capacidad de visualización que brindan estas tecnologías, se puede anticipar aún más lo que se está construyendo, lo que facilita la validación del diseño, la interacción con otros agentes del proceso y la detección de problemas constructivos antes de la ejecución. Por ejemplo, la RV permite que el diseño sea revisado de un modo más intensivo o que el personal sea formado. Y la AR, al permitir que la información digital se sobreponga al entorno real, puede ayudar, por ejemplo, en tareas de control de calidad o de seguimiento en obra, frente a la manera tradicional de afrontar un proyecto, estas tecnologías permiten asegurar que se cometa un menor número de errores, que se optimicen los tiempos o que la calidad del resultado final sea mejor.

No obstante, pese a que muchas son las ventajas que se afirman, aún existe un gran trecho entre el máximo potencial que se le podría sacar a la combinación BIM–RV–AR y la realidad de muchos proyectos en los que la línea tradicional aún impera. Esto pone de manifiesto la necesidad de estudios comparativos que evalúen de manera objetiva las variaciones en eficiencia operativa y calidad derivadas del uso de estas tecnologías frente a los enfoques convencionales, identificando los factores que explican dichas diferencias.

2.3 Marco Teórico

A partir de la indagación teórica y referente sobre la implementación de BIM, RV y RA en constructoras Pymes se pudo identificar que el nivel de implementación de estas tecnologías está estrechamente relacionado con la legislación gubernamental vigente y la intención de cada país en promover herramientas tecnológicas (Alsina, 2017). De este modo, esto se relaciona con la influencia que puede tener en la implementación en Colombia, ya que las normativas relacionadas con Building Information Modeling, realidad virtual y realidad aumentada aún se encuentran en proceso de desarrollo, y esto ocasiona que no haya al menos un incentivo contundente que incite a las empresas más pequeñas a implementarlo.

Si bien, Colombia posee algunas normas y políticas que se acercan cada vez más a la metodología BIM no llegan a especificar beneficios u obligaciones que las empresas dedicadas a la construcción deban cumplir, y esto genera que las empresas más pequeñas sientan algo de desamparo, esto debido a que consiste en una gran inversión que genera resultados trascendentes en un tiempo relativamente largo, donde muchas veces la incertidumbre o incluso las proyecciones financieras no soportan el proceso, de ahí parte la mayoría de desistimientos en la implementación.

Es necesario evolucionar para prevalecer vigentes en el mercado, siempre a la vanguardia creando soluciones cada vez más acertadas y adecuadas a las necesidades de la sociedad. Por lo cual es importante conocer los conceptos de estas tecnologías y como estas generan un impacto en la eficiencia operativa y de calidad en los proyectos de construcción.

Con base en lo anterior resulta destacable explicar el termino Building Information Modeling (BIM) definiéndose como una herramienta tecnológica versátil que permite un entorno colaborativo entre profesionales, ya que se puede utilizar durante todo el ciclo de vida del proyecto desde su concepción hasta el mantenimiento (Eastman et al., 2011).

Asimismo, Azhar (2011) define BIM como una herramienta que no se limita únicamente a ser un software colaborativo, sino que además facilita una visión global del proyecto, ya que permite planificar, diseñar y construir un modelo digital permitiendo simular una realidad a escala, otorgando la oportunidad de prever errores de diseño, de cuantificación e incluso de construcción, ya que se puede recorrer todo el proyecto de forma virtual. En este sentido, BIM se consolida como una herramienta estratégica para mejorar la productividad, la calidad y la sostenibilidad de los proyectos de construcción (Arayici & Coates, 2012).

Por otro lado, la realidad aumentada (RA) es un software que permite la superposición del modelo digital en el entorno físico favoreciendo la comprensión e interpretación de la construcción que a su vez mejora la comunicación entre los involucrados directos de la obra, por ejemplo, facilita que todas las áreas se interrelacionen porque se puede proyectar por medio del modelo las posibles interferencias que puedan existir en la ramificación de las redes. (Sacks et al., 2022). Esto en comparación con los modelos tradicionales donde hay que analizar por separado el plano de cada red lo cual no asegura que se intercepten las conexiones, como por ejemplo la red hidráulica y la red eléctrica.

Por lo anterior, se identifica que la realidad aumentada ayuda a anticipar posibles errores en el proceso constructivo lo que direcciona a una mejor eficiencia operativa destacando la capacidad de supervisión y control de calidad por medio de la simulación virtual (Zhang et al., 2023).

Adicionalmente la realidad virtual es sistema que permite inmersión en entornos de tres dimensiones generados por ordenadores. El uso de este aplicativo en el sector de la construcción permite mejorar la interpretación de proyectos facilitando la toma de decisiones y mejorando la calidad de los proyectos. (Sacks et al., 2022).

Tomando en cuenta lo anterior, la RV se consolida como una tecnología complementaria al BIM que potencia la eficiencia operativa, la calidad del diseño y la seguridad en los proyectos de construcción, contribuyendo a la modernización y digitalización del sector, aportando a la sostenibilidad ambiental y la seguridad de las construcciones (Zhang et al., 2023).

Otro concepto que es importante definir es la eficiencia operativa entendiéndose como la optimización de recursos, materiales, costos y tiempos en una organización o proyecto, direccionado al cumplimiento de objetivos y mejorando la calidad de las construcciones debido a que este concepto integra procesos de planificación, control y ejecución (Azhar, 2011).

La eficiencia operativa está estrechamente relacionada con la metodología BIM ya que según Gharaibeh (2024) esta herramienta tecnológica genera impactos positivos en el control y productividad operativa de los proyectos dado a que optimiza los flujos de trabajo y reduce tiempos de ejecución, esto gracias a que la herramienta permite integrar y gestionar información en un entorno colaborativo.

Asimismo, las tecnologías RV y RA están relacionadas con la eficiencia operativa ya que la visualización anticipada de los proyectos permite la detección temprana de errores lo que contribuye directamente a la disminución de costos asociados a retrabajos impulsando la mejora operativa general (Zhang et al., 2023).

En este sentido, se podría establecer que la eficiencia operativa puede combinar distintos métodos tanto tecnológicos como de trabajo en equipo que permiten generar un enfoque integral que desencadenan en la mejora de desempeño en los proyectos (Arayici & Coates, 2012). además

de ello, la estandarización de procesos apoyados por marcos normativos como la ISO 19650 favorece la estructuración administrativa en la gestión de las construcciones. (ICONTEC, 2021).

Es importante mencionar que aspectos como la precisión, el cumplimiento de especificaciones y de normas técnicas, así como el alcance de objetivos y la búsqueda de satisfacción de los stakeholders se puede resumir como la calidad de un proyecto (Eastman et al., 2011).

La tecnología ha generado un cambio significativo en la calidad de los proyectos, ya que por medio de los modelos digitales y de la visualización de diseños como la realidad aumentada y la realidad virtual, se presenta una mayor claridad de la información en las etapas de diseño lo que ocasiona una mejor interpretación del proyecto asegurando la sostenibilidad, la mejora en la ejecución y reducción de posibles inconsistencias en el ciclo de vida de los proyectos (Carrizales Luján & Ormeño Aranda, 2023).

Finalmente, se puede establecer que el uso simultaneo de las tres tecnologías (BIM, RV y RA) contribuyen a lo largo de la ejecución de los proyectos, debido a que se pueden emplear una gestión integrada de información por medio de entornos colaborativos, además de que por medio de la simulación y visualización de diseños se pueden obtener beneficios como precisión en los procesos constructivos y cumplimientos normativos que en conjunto están asociados con la eficiencia operativa y la calidad.

2.4 Marco normativo

El presente trabajo de investigación enfocado a medir el impacto en la implementación de las tecnologías BIM, realidad virtual y realidad aumentada en la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos de construcción, cuenta con un marco legal y normativo relacionado con la gestión, organización, intercambio y seguridad de la información digital en el sector de la construcción. Este cuerpo de normativas resulta clave para poder establecer objetivos de comparación frente a las prácticas convencionales, especialmente en aspectos ligados a la productividad, la coordinación interdisciplinaria y la calidad de los entregables.

NTC ISO 19650: Organización y digitalización de la información en edificaciones y obras de ingeniería civil, incluyendo BIM (Building Information Modelling)

Una de las referencias normativas más importantes para el desarrollo de este proyecto de investigación es la NTC ISO 19650, una norma de alcance internacional que fija los requisitos para la gestión de la información de manera colaborativa y estructurada en proyectos de edificación y de obra civil, y que se basa en la metodología BIM. Se trata de una norma que abarca todo el ciclo de vida del activo construido, desde su fase de proyecto y ejecución hasta la de operación y mantenimiento y que resulta por lo tanto muy adecuada para evaluar impactos en la eficiencia operativa y la calidad del objetivo planteado en el trabajo.

La ISO 19650 toma como base la estructura del estándar británico PAS 1192 y realiza algunos ajustes para que pueda ser válida en cualquier parte del mundo, sirviendo de base común y estableciendo procedimientos normalizados para la gestión de la información en proyectos BIM (Beaumont, 2020). Por el momento la norma está dividida en seis partes, de las cuales cinco están ya publicadas y en vigor mientras que la sexta, relativa a la seguridad y la salud, se encuentra en fase de elaboración. En este trabajo son de aplicación las partes ISO 19650-1, ISO 19650-2 e ISO 19650-5 al estar relacionadas de forma más directa con la planificación, ejecución y control de la información en el proyecto.

ISO 19650-1: Conceptos y principios

Esta parte de la norma hace una introducción a los conceptos básicos de la gestión de la información sobre los que se sostiene una implantación correcta de BIM en la obra. Entre ellos se encuentran:

- Modelo de information
- Modelo de Información del Proyecto (PIM – Project Information Model)
- Modelo de Información del Activo (AIM – Asset Information Model)
- Agentes del proceso
- Requisitos de información:
 - OIR (Requisitos de Información de la Organización)
 - PIR (Requisitos de Información del Proyecto)
 - AIR (Requisitos de Información del Activo)
 - EIR (Requisitos de Intercambio de Información)
- Plan de Ejecución BIM (BEP)

- Entorno Común de Datos (CDE)

La definición de estos conceptos sirve para establecer unas reglas del juego claras para la gestión de la información a lo largo del desarrollo del proyecto, facilitando la coordinación interdisciplinar, la reducción de los reprocesos y la mejora en la toma de decisiones, aspectos que están directamente relacionados con los objetivos específicos 1 y 3, vinculados a la identificación de las funcionalidades clave y a la explicación de las variaciones en eficiencia y calidad.

Además, el plan de ejecución BIM se constituye en una herramienta fundamental para planificar, evaluar y controlar la capacidad del proyecto de alcanzar los objetivos planteados, pudiendo definir entregables claros y siendo un medio idóneo para fomentar el trabajo colaborativo entre los diferentes agentes del proyecto (Konstruedu, s. f.).

ISO 19650-2: Fase de desarrollo de los activos

La ISO 19650-2 regula el proceso de gestión de la información durante la fase de desarrollo de los activos, estructurándolo en 8 etapas claramente diferenciadas:

- Evaluación de necesidades
- Citación de ofertas
- Presentación de ofertas
- Adjudicación
- Movilización
- Producción colaborativa de la información
- Entrega del modelo de información
- Fin de la fase de desarrollo

Este planteamiento por procesos es clave para el análisis comparativo entre BIM y los procesos tradicionales, ya que establece unos criterios objetivos con los que se pueden medir ciertos aspectos de la eficiencia operativa, como por ejemplo plazos de entrega, coordinación de la información, control de versiones o calidad de los modelos entregados. En este sentido, la norma ayuda a cumplir con el objetivo específico 2, centrado en la comparación práctica entre enfoques tecnológicos y tradicionales.

ISO 19650-5: Enfoque orientado a la seguridad en la gestión de la información

La norma en su quinta parte aporta a la gestión de la información en la construcción un enfoque orientado a la seguridad, estableciendo normas para la protección de la información sensible, la gestión de riesgos asociados y la generación de una cultura organizacional de la seguridad. Su aplicación se entiende en todo el ciclo de vida del proyecto y cobra especial importancia en colectivos donde se combinan tecnologías digitales avanzadas como BIM, RV y AR. Este punto no es menos importante, ya que la calidad de los proyectos no solo se mide a nivel técnico, sino también en base a la confianza, integridad y protección de la información, aspectos que afectan directamente a la toma de decisiones y a la eficiencia operativa (INCONTEC, 2021).

NTC ISO 16739 Interoperabilidad en la industria de la construcción y gestión de inmuebles mediante IFC (Industry Foundation Classes)

La NTC ISO 16739 es la norma que define el estándar abierto IFC (Industry Foundation Classes) para el intercambio interoperable de información BIM entre diferentes plataformas de software BIM utilizadas por los diferentes agentes del proyecto. La norma define las propiedades, relaciones y estructuras de los objetos BIM, con lo que ayuda a garantizar la coherencia de la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Es de aplicación fundamental a la hora de poder demostrar la eficiencia operativa derivada del uso de BIM frente a medios tradicionales, ya que la interoperabilidad ayuda a que no se pierda información, a que no haya errores de interpretación o reproceso, y todo ello redundando en forma de calidad en el proyecto (Catherineramirez, 2023).

NTC ISO 12006-2 Construcción. Organización de la información de las obras de construcción. Parte 2: Marco para la clasificación

La NTC ISO 12006-2 es una norma que proporciona un marco para la clasificación y organización de la información en proyectos de construcción, abarcando todo el ciclo de vida del activo, desde la planificación hasta la demolición. Asimismo, incorpora a las obras de ingeniería civil y a sus servicios asociados, por lo que es un elemento normativo clave para que la información generada mediante BIM esté correctamente estructurada.

Esta norma permite elevar la calidad de los modelos de información, la trazabilidad de los datos y la estandarización de criterios, que son aspectos clave para entender las diferencias de rendimiento entre los proyectos en los que se incorporan tecnologías digitales de forma intensiva y aquellos que se ejecutan con metodologías convencionales (INCONTEC, 2021).

Otras normativas y contexto nacional

En el país, se puede destacar el trabajo realizado en la adopción paulatina de normativas BIM de alcance nacional, orientadas a normalizar su implementación en proyectos del sector público y privado. Entre estas acciones se cuentan:

- La adecuación de la ISO 19650 al contexto colombiano.
- La confección de plantillas estandarizadas de Requisitos de Intercambio de Información (EIR) y Términos de Referencia BIM para la contratación pública.
- La Resolución 0441 que va dirigida a curadores urbanos y autoridades competentes para la expedición de licencias urbanísticas por medio de ventanillas electrónicas.

Todo este trabajo normativo reafirma la pertinencia del estudio y permite ubicar en contexto la comparación entre los dos enfoques, evidenciando cómo el sector está haciendo un tránsito hacia modelos más eficientes, colaborativos y de calidad (BIM: El Ahora, Normatividad y Avance en Colombia, 2021).

3. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque y alcance de la investigación

Este proyecto se desarrolla bajo un enfoque mixto que combina técnicas cuantitativas y cualitativas. El enfoque cuantitativo permitirá obtener datos medibles y precisos sobre la implementación de BIM, VR y AR, mientras que el enfoque cualitativo profundizará en las percepciones, actitudes y experiencias de los profesionales involucrados.

Cuantitativo: se emplearán encuestas para recolectar datos estadísticos sobre la adopción de estas tecnologías en las empresas, midiendo variables como el porcentaje de empresas que han implementado BIM, el nivel de capacitación del personal y los beneficios tangibles en términos de reducción de costos y tiempos de ejecución.

Cualitativo: Se realizarán entrevistas semi-estructuradas con el objetivo de identificar las barreras y resistencias que enfrentan las empresas en la adopción de BIM, VR y AR. También se explorarán las percepciones de los líderes de proyecto sobre los beneficios a largo plazo que estas tecnologías pueden aportar al sector.

Este enfoque mixto combina la investigación descriptiva y explicativa, lo cual resulta adecuado para observar y documentar fenómenos sin alterar el entorno, mientras se analizan causas y efectos. En este caso, se busca analizar la adopción y aplicación de tecnologías como Building Information Modeling, realidad virtual y realidad aumentada en pequeñas y medianas empresas del sector de la construcción en Bogotá.

El enfoque descriptivo se centra en observar cómo estas empresas entienden y gestionan la integración de estas tecnologías, así como los beneficios y limitaciones que enfrentan. Por otro lado, el enfoque explicativo agrega profundidad al estudio al identificar las relaciones causales entre la implementación de BIM, VR y AR, y su impacto en la eficiencia operativa, la calidad de los proyectos y la toma de decisiones dentro de estas empresas. Asimismo, se explorará cómo la falta de comprensión de los beneficios de estas tecnologías dificulta su adopción y de qué manera las estrategias de capacitación podrían mejorar esta situación.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Definición de la población

La población de este estudio estará constituida por empleados y gerentes de pequeñas y medianas empresas del sector de la construcción ubicadas en Bogotá. Entendiéndose como empleados a ingenieros, arquitectos, especialistas, administrativos y operativos.

3.2.2. Cálculo y selección de la muestra

La selección de la muestra se realizará mediante dos técnicas diferentes:

Muestreo probabilístico: para la recolección de datos cuantitativos, se empleará este tipo de muestreo, asegurando que cada miembro de la población objetivo tenga la misma probabilidad de ser seleccionado. Esto garantizará que los resultados sean representativos de la población total y permitan obtener datos estadísticamente fiables sobre la adopción de BIM, VR y AR.

Muestreo por conveniencia o muestreo intencionado: para la recolección de datos cualitativos, se seleccionarán personas que puedan ofrecer información valiosa y detallada acerca de sus experiencias. En este caso, se entrevistará a líderes de proyecto que ya hayan implementado estas tecnologías y a gerentes que estén considerando o no su adopción. Esta estrategia permitirá explorar en mayor profundidad las percepciones y motivaciones detrás de la adopción (o falta de adopción) de BIM, VR y AR en el contexto de las pequeñas y medianas constructoras.

De acuerdo con la calculadora de tamaño de muestra y teniendo en cuenta la población en base a un artículo de la cámara de comercio de Bogotá, se establece que hay 93.012 empresas Pymes dedicadas al sector de construcción, energía y economía circular. Se establece un nivel de confianza de 95% y un margen de error del 10%, el tamaño de la muestra es de 97, sin embargo, solo se pudo establecer una muestra real de 40 empresas Pymes de Bogotá.

3.3. Instrumento(s)

Se utilizarán dos instrumentos principales para la recolección de datos: encuesta y entrevista.

3.3.1. Encuesta

El objeto es medir la adopción, el conocimiento y la percepción del impacto de las tecnologías BIM, VR y AR en las pequeñas y medianas empresas de construcción en Bogotá. Por medio de una estructura que contiene preguntas cerradas con una escala de Likert de 5 puntos, preguntas abiertas y preguntas de opción múltiple permitiendo a los encuestados expresar su grado de acuerdo o desacuerdo con respecto a distintas afirmaciones sobre las tecnologías. Se manejarán cinco categorías y dos variables las cuales se presentan a continuación:

Categoría 1: Datos demográficos, las primeras 4 preguntas buscan establecer el contexto de la organización a encuestar por medio de preguntas abiertas.

Categoría 2: Adopción tecnológica (nivel de implementación de BIM, VR, AR), con dos preguntas de opción múltiple y de opción múltiple con única respuesta.

Categoría 3: Impacto percibido en la eficiencia operativa y reducción de costos, con tres preguntas de opción múltiple y de opción múltiple con única respuesta.

Categoría 4: Conocimiento y capacitación del personal con tres preguntas de opción múltiple con única respuesta.

Categoría 5: Barreras para la implementación con tres preguntas de opción múltiple con única respuesta.

Variable dependiente: grado de adopción de las tecnologías.

Variables independientes: nivel de conocimiento, barreras identificadas, y percepción de beneficios/costos.

El instrumento de recolección de datos se aplica de manera 100% virtual, por medio de mensajería instantánea.

La encuesta al momento del envío se encuentra activa para que pueda ser diligenciada en cualquier momento, empleando el siguiente enlace.

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSe8udOzmO_Y8bmLJzX1ZuT3dMSVIRaQ-Z56In1jqDehmv97Xw/viewform?usp=sf_link

3.3.2. Entrevista

El objetivo es explorar en profundidad las barreras, las resistencias y las percepciones de los gerentes y líderes de proyectos respecto a la implementación de BIM, VR y AR. Por medio de una entrevista estructurada con preguntas abiertas que guiarán la conversación, permitiendo explorar un área específica, pero con flexibilidad para indagar más profundamente según las respuestas. Se manejarán una categoría y tres variables las cuales se presentan a continuación:

Categoría 1: Barreras organizacionales, experiencias previas en la implementación, estrategias para superar obstáculos, percepción del retorno de la inversión a largo plazo.

Variable dependiente: Percepción de los beneficios (cualitativa)

Variables independientes: Identificación de barreras (organizacionales, económicas, técnicas) y experiencia previa con tecnologías similares

La estructura de las entrevistas realizadas se encuentra en el siguiente enlace.

https://www.canva.com/design/DAGUEakG9KI/8neCByHBx0yOdET97JBEpA/edit?utm_content=DAGUEakG9KI&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

3.4. Descripción de procedimientos

El proceso de recolección de información se llevará a cabo en tres etapas:

La primera etapa es el diseño y prueba de los instrumentos, se diseñarán las encuestas y entrevistas basadas en los objetivos del estudio. Se llevará a cabo una prueba piloto para asegurar la claridad y pertinencia de las preguntas.

La segunda etapa es la aplicación de la encuesta y entrevista. La encuesta será enviada a los empleados y gerentes de las empresas seleccionadas, a través de un medio electrónico para facilitar la recolección de datos y las entrevistas se llevarán a cabo de manera presencial o virtual con líderes de proyecto y directivos clave. Cada entrevista será grabada (con el consentimiento del entrevistado) para facilitar el análisis posterior.

La tercera etapa es el análisis de datos. Los datos cuantitativos serán analizados mediante estadísticas descriptivas para identificar patrones y tendencias, mientras que los datos cualitativos se analizarán utilizando técnicas de codificación temática para identificar las barreras clave y las oportunidades en la adopción de BIM, VR y AR.

3.5. Análisis de información

La información se procesa por medio del programa Excel tomando como base la muestra de 40 constructoras Pymes de la ciudad de Bogotá con el fin de conocer sobre la integración de tecnologías BIM, RV y RA y su impacto en la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos de construcción frente a los enfoques tradicionales.

3.6. Consideraciones éticas

3.6.1. Análisis de consideraciones éticas

Este proyecto de investigación se rige por principios éticos por lo cual toda la información recolectada será usada exclusivamente para fines académicos, se dará la información con el consentimiento de manera libre y voluntaria por parte de los encuestados. Las empresas objeto de

análisis no serán nombradas por temas de política de tratamiento de datos, sin embargo, es importante mencionar que las empresas son pymes constituidas en Bogotá.

3.6.2. Instrumentos de aceptación y autorización

Debido a que la encuesta se emplea de manera virtual se establece una pregunta de consentimiento informado, la cual es obligatoria para poder hacer el envío del formulario. En este apartado se menciona que los datos suministrados serán tratados bajo política de tratamiento de datos y para fines académicos.

4. HIPÓTESIS

4.1. Las variables

Las hipótesis de la investigación se plantean en función de las relaciones entre variables que consideran al menos una variable independiente y una variable dependiente, estas variables son elementos que pueden cambiar y cuyas interacciones permiten estudiar el fenómeno, en este caso, el impacto de la integración de tecnologías digitales en proyectos de construcción.

4.1.1. Variable independiente

La variable independiente del presente estudio es la integración de tecnologías digitales avanzadas en proyectos de construcción, en particular la integración de tecnologías BIM, realidad virtual y realidad aumentada.

Esta variable se entiende como el nivel de incorporación y uso combinado de herramientas BIM, RV y AR en las diferentes fases del proyecto de construcción, tanto en la planificación, el diseño, la coordinación interdisciplinaria, la simulación constructiva, la visualización avanzada, el seguimiento de obra como en comparación con los enfoques tradicionales basados en métodos convencionales.

Esta variable se relaciona directamente con el objetivo específico 1, al identificar las características clave de dichas tecnologías, y con el objetivo específico 2, al contrastarlas con los métodos tradicionales.

4.1.2. Variables dependientes

a) Eficiencia operativa del proyecto de construcción, está relacionada con el desempeño del proyecto en términos de uso eficiente de recursos, reducción de tiempos de ejecución, disminución de costos asociados a reprocesos, control de errores constructivos y mejora en la planificación y seguimiento del proyecto.

b) Calidad del proyecto de construcción, se define como el cumplimiento de las especificaciones técnicas, la precisión del diseño, la detección temprana de interferencias, la reducción de errores y la mejora en la coordinación, así como la percepción de los actores involucrados del desempeño del proyecto.

Estas variables se vinculan directamente con el objetivo general y con el objetivo específico 3, al comparar las variaciones en eficiencia operativa y calidad entre enfoques tecnológicos y tradicionales.

4.2. Planteamiento de hipótesis

Las hipótesis del estudio se formulan como proposiciones que explican de forma tentativa la relación entre la implementación de las tecnologías BIM, RV y AR y su impacto en la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos de construcción. Dichas hipótesis están basadas en la revisión bibliográfica, el análisis del problema de investigación y la experiencia recogida del uso de tecnologías digitales en el sector construcción, y tienen un carácter orientado a ser comprobado empíricamente.

H1: La convergencia de las tecnologías BIM, realidad virtual y realidad aumentada genera mejoras sustanciales en la eficiencia operativa y en la calidad de los proyectos de construcción en comparación con los enfoques convencionales.

H2: La implantación conjunta de BIM, RV y AR reduce los tiempos de ejecución, los costos asociados a reprocesos y la cantidad de errores constructivos frente a los métodos tradicionales.

H3: Los proyectos de construcción que incorporan BIM, RV y AR presentan mayores niveles de calidad en términos de la precisión del diseño, el cumplimiento de las especificaciones técnicas y la disminución de interferencias respecto a los proyectos ejecutados con enfoques tradicionales.

H4: Las funcionalidades de coordinación colaborativa, visualización avanzada y simulación constructiva de BIM, RV y AR influyen positivamente en la toma de decisiones y en el control del proyecto, lo que redundará en un mejor desempeño de la eficiencia operativa y en la calidad del proyecto.

Hipótesis nula: No se evidencian diferencias significativas en la eficiencia operativa ni en la calidad de los proyectos de construcción entre aquellos que incorporan tecnologías BIM, RV y AR y aquellos proyectos que se desarrollan bajo enfoques convencionales.

5. RESULTADOS

5.1. Encuesta

Se plantean 14 preguntas orientadas a los objetivos estratégicos de la investigación. Para el primer objetivo se relacionan las preguntas 4, 6, 7, 11 y 14. Para el objetivo dos las preguntas 6, 7, 2, para el objetivo tres las preguntas 6, 7, 8. Finalmente, las preguntas 1, 3, 5, 9, 10, 12 y 13 fueron utilizadas como complemento para el desarrollo de cada uno de los objetivos.

A continuación, se presenta el análisis de los datos obtenidos de cada pregunta.

- **Pregunta 4: ¿Qué tecnologías ha implementado su empresa?**

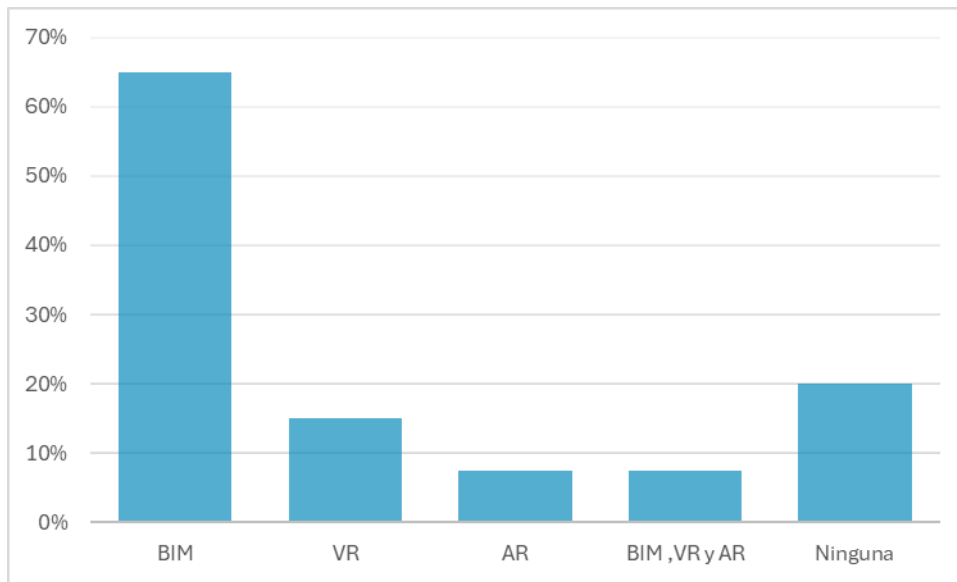
Esta pregunta fue formulada en la modalidad de opción de selección múltiple, permitiendo que el/los encuestados seleccionaran todas las opciones que consideraran aplicables a su organización. Esta pregunta permite identificar el nivel de adopción de las tecnologías para posteriormente poder caracterizar el aporte que cada herramienta genera en un proyecto.

Luego de la recolección y tabulación de la información se obtiene como resultado:

Tabla 1 *Tecnologías implementadas*

Tecnología utilizada	BIM	VR	AR	BIM, VR y AR	Ninguna
Número de empresas	26	6	3	3	8
Porcentaje (%)	65%	15%	7,50%	7,50%	20%

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Figura 1 *Tecnologías implementadas*

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

La gráfica nos permite observar la adopción tecnológica en el ámbito de constructoras MiPymes de Bogotá donde predomina el uso de BIM, el cual es implementado por el 65% de las organizaciones enunciadas, lo que corrobora precisamente su posicionamiento como una de las herramientas más usada en nuestros días y como una solución fundamental en los procesos de digitalización, coordinación de disciplinas y gestión de la información al largo del ciclo de vida del proyecto.

Por el contrario, la adopción de tecnologías como VR (15%) y AR (7,5%) presentan niveles de implementación mucho más bajos, lo que da a entender que todavía estarían en una fase emergente o limitada. Sólo el 7,5% de empresas han integrado el uso simultáneo de BIM, VR y AR, lo que hace referencia a un nivel de madurez digital bajo. El 20% de las empresas de la muestra, han manifestado que no emplean ninguna de estas tecnologías, lo que conforma una brecha realmente importante en la transformación digital, en la eficiencia operativa y en la calidad. Esta situación permite establecer la necesidad de la adopción de estas tecnologías en el sector.

- **Pregunta 6: ¿En qué áreas de su empresa se utilizan estas tecnologías?**

Esta pregunta se formuló con opción múltiple, permitiendo a los encuestados elegir todas las áreas en las que han implementado el uso de las tecnologías. Este apartado se relaciona con cada

uno de los objetivos de la investigación, dado a que permite identificar el área donde se utilizan estas tecnologías y en base a esta información es posible caracterizar las funcionalidades, además facilita comprender específicamente el impacto de las tecnologías en cada uno de los procesos y en base a esto posibilita la realización de comparaciones con métodos tradicionales.

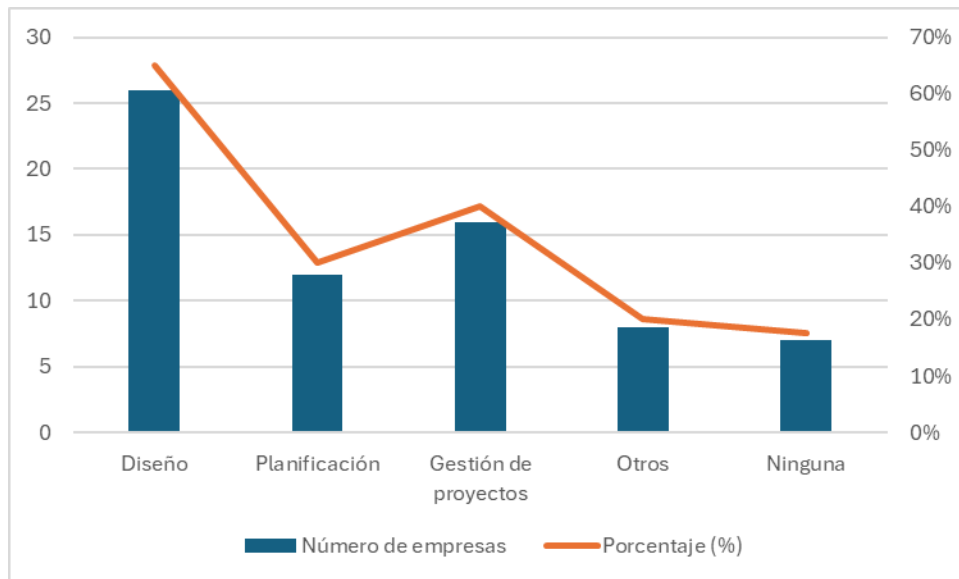
Luego de la recolección y tabulación de la información se obtiene como resultado:

Tabla 2 Área de aplicación de tecnologías

Área de aplicación	Diseño	Planificación	Gestión de proyectos	Otros	Ninguna
Número de empresas	26	12	16	8	7
Porcentaje (%)	65%	30%	40%	20%	17,50%

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Figura 2 Área de aplicación de tecnologías



Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

La gráfica indica que la mayor adopción está presente en el área de Diseño con un 65%, evidenciando el creciente uso de estas tecnologías en la representación de los proyectos, debido a que estas herramientas permiten realizar simulaciones constructivas que

mejoran la comprensión de los proyectos. El segundo porcentaje más alto, es la gestión de proyectos con un 40%, seguido de la planificación con un 30%, permitiendo establecer que las tecnologías se utilizan en mayor medida en las etapas tempranas y de coordinación del proyecto. El 20% indican usos en otras áreas y el 17,5% indica que no las utilizaban en ningún proceso; lo que evidencia la brecha tecnológica que aún se presentan en las organizaciones.

- **7. ¿Cuánto ha mejorado la eficiencia operativa desde la implementación de estas tecnologías?**

La pregunta fue usada para el desarrollo del objetivo 1 porque permite conocer de manera bastante directa, la influencia que las funcionalidades de las tecnologías BIM, RV y AR tienen sobre la eficiencia operativa de los proyectos de construcción. Al medir el nivel de mejora percibido, se obtiene evidencia acerca de qué tan efectivas son estas tecnologías para optimizar procesos, reducir tiempos y mejorar el desempeño operativo, aspectos clave para poder caracterizar su impacto en la eficiencia y calidad de los proyectos.

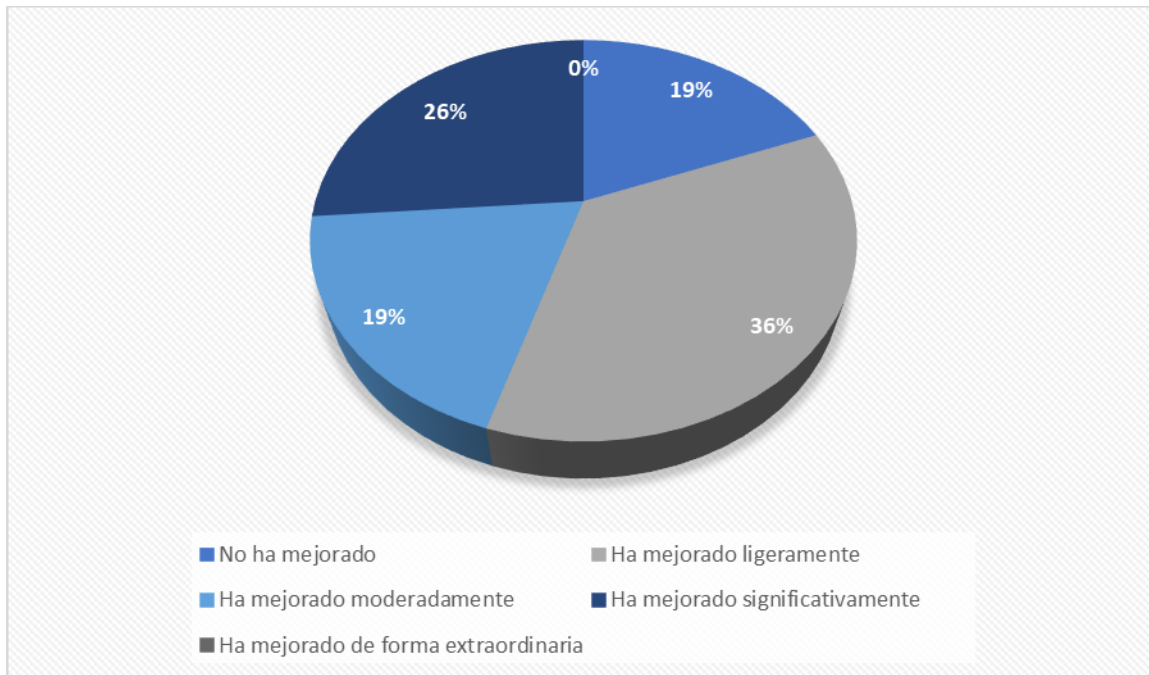
Esta pregunta fue diseñada para que el encuestado eligiera una de varias opciones con el fin de conocer en qué medida percibía que su eficiencia operativa había mejorado tras la incorporación de nuevas tecnologías. De este modo, la pregunta permitía conocer hasta qué punto las tecnologías han ayudado a los procesos operativos de las organizaciones encuestadas.

Luego de la recolección y tabulación de la información se obtiene como resultado:

Tabla 3 *Eficiencia operativa*

Mejora en la eficiencia operativa	No ha mejorado	Ha mejorado ligeramente	Ha mejorado moderadamente	Ha mejorado significativamente	Ha mejorado de forma extraordinaria
Porcentaje (%)	19%	35.7%	19%	26,2%	0%

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Figura 3 Eficiencia operativa

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

El gráfico evidencia que la adopción de tecnologías BIM, Realidad Virtual y Realidad Aumentada ha sido por lo general el motor de la eficiencia en los proyectos de la construcción, un 80,9 % de los encuestados afirma haber experimentado algún nivel de mejora con un 35,7 % que indica una mejora ligera, un 26,2 % que señala una mejora considerable y un 19 % que identifica una mejora moderada; sin embargo, un 19 % sostiene que no se han producido mejoras con lo cual se puede interpretar que no todos los beneficios de estas tecnologías son generalizables y que factores como el grado de implantación, la formación del personal o la madurez digital de las organizaciones condicionan la variable de la eficiencia, de ahí que, si bien los resultados avalan el impacto positivo de estas herramientas frente a la realización de los proyectos por los métodos tradicionales, todavía hay margen de mejora.

- **11. ¿Qué tan familiarizado está el personal con el uso práctico de estas tecnologías?**

El motivo por el que se incluyó esta pregunta tiene que ver con la necesidad de comprender hasta qué punto las funcionalidades clave de BIM, RV y AR pueden ser aprovechadas por las organizaciones. Para el objetivo 1, resulta fundamental conocer el nivel de familiaridad del personal, dado que el grado de dominio en el uso práctico de estas tecnologías marca la diferencia

en si se consigue o no su correcta aplicación y, por tanto, su influencia real en la eficiencia operativa y en la calidad de los proyectos de construcción.

Esta pregunta se hizo para responder eligiendo solo una opción. Las respuestas son estos niveles de familiaridad: expertos en el uso, muy familiarizado, moderadamente familiarizado, poco familiarizado y nada familiarizado. La idea es ver qué tanto conoce el personal sobre cómo usar las tecnologías que evaluamos.

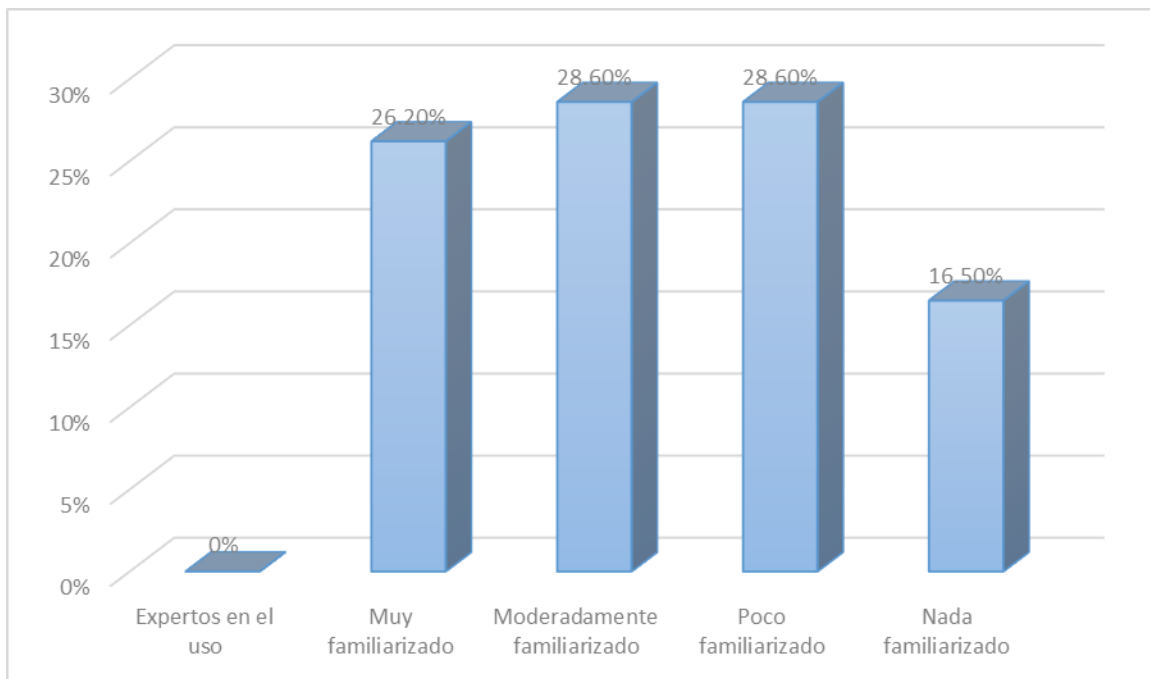
Luego de la recolección y tabulación de la información se obtiene como resultado:

Tabla 4 Conocimiento del tema BIM, Vr o Ar en las empresas

Uso del personal con las tecnologías	Expertos en el uso	Muy familiarizado	Moderadamente familiarizado	Poco familiarizado	Nada familiarizado
Porcentaje (%)	0%	26.2%	28.6%	28.6%	16.7%

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Figura 4 Conocimiento del tema BIM, Vr o Ar en las empresas



Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Los resultados muestran que el 28.6% del personal está moderadamente familiarizado. Otro 28.6% dice estar poco familiarizado. Esto significa que bastante gente tiene un nivel medio o bajo. Un 26.2% está muy familiarizado. Esto indica que ese grupo sabe usar bien las tecnologías. El 16,7% dice estar nada familiarizado. Esto quiere decir que un grupo pequeño no tiene experiencia ni conocimiento práctico. No hay nadie que sea experto en el uso. En general, los datos nos dicen que, aunque hay una base de conocimiento, necesitamos mejorar la capacitación para que el personal tenga más habilidades con la tecnología.

- **14. ¿Qué dificultades técnicas ha enfrentado en la implementación de estas tecnologías?**

La pregunta fue usada para el desarrollo del objetivo 1 porque permite conocer qué aspectos técnicos limitan o condicionan el uso efectivo de las funcionalidades de BIM, RV y AR. Identificar estas dificultades, además de ayudar a conocer cuáles son los beneficios de estas tecnologías para la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos, ayuda también a conocer sus limitaciones técnicas, es decir, a entender cómo estas tecnologías ayudan y cómo pueden complicar la vida al ser implementadas en el día a día de las empresas constructivas.

Esta pregunta se estructura bajo opción múltiple de elección única permitiendo estandarizar la respuesta dada, facilitando la agrupación y cuantificación de los resultados.

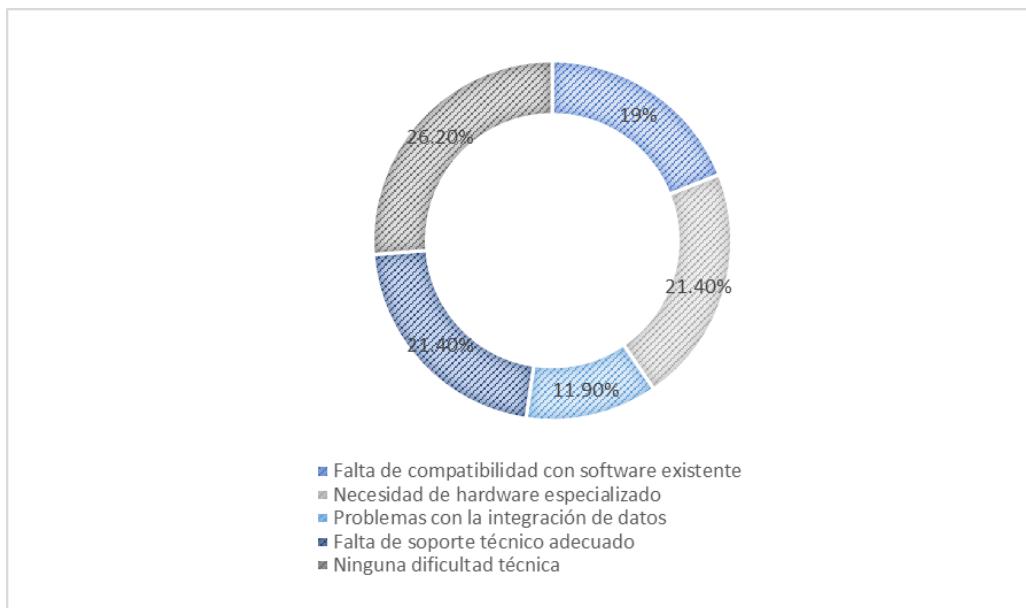
Luego de la recolección y tabulación de la información se obtiene como resultado:

Tabla 5 *Dificultades técnicas en la implementación de tecnologías.*

Dificultades con la implementación de tecnologías	Falta de compatibilidad con el software existente	Necesidad de hardware especializado	Problemas con la integración de datos	Falta de soporte técnico adecuado	Ninguna dificultad técnica
Porcentaje (%)	19%	21.4%	11.9%	21.4%	26.2%

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Figura 5 *Dificultades técnicas en la implementación de tecnologías.*



Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

De los resultados se puede inferir que la mayoría de los encuestados 26.2% no presenta ninguna dificultad técnica a la hora de implementar las tecnologías, en base a esto se puede establecer que las tecnologías son fáciles de implementar o que las empresas ya cuentan con una estructura que adopta las tecnologías. Se establece un porcentaje del 21.4% en la necesidad de un hardware especializado lo que se puede relacionar directamente con inversión, dado a que se requiere de equipos potentes que tenga la capacidad de desarrollar los programas. El otro 11.9% que establece la gráfica evidencia los problemas de compatibilidad debido al uso de herramientas diferentes o de distintas versiones del software, lo que puede repercutir en el retraso de procesos debido a que en ocasiones se requiere la conversión de archivos, lo que impacta de modo negativo la calidad y la eficiencia de un proyecto.

El 21.4% indica falta de soporte técnico adecuado, esto puede inferir en que no se resuelvan fallas de manera rápida afectando la productividad. Finalmente, el 11.9% se relaciona con problemas en la integración de datos, aunque representa un porcentaje bajo este factor puede aumentar el riesgo de inconsistencias y generar retrabajos.

- **2. ¿Años de experiencia en el sector de la construcción?**

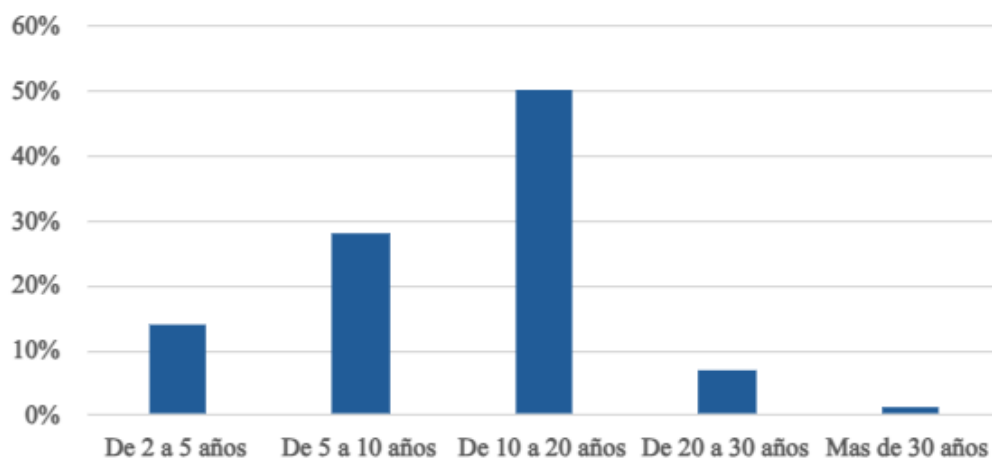
La pregunta sobre los años de experiencia en el sector de la construcción se relaciona directamente con el objetivo de comparar, a partir de un caso o ejercicio práctico, los resultados generados mediante BIM, RV y AR frente a los obtenidos con métodos tradicionales. Esto se debe a que la trayectoria profesional de la muestra encuestada influye en la forma en que perciben y aplican las tecnologías emergentes, así como en su capacidad para evaluar las ventajas y limitaciones frente a los métodos convencionales. De esta manera, conocer el nivel de experiencia permite contextualizar los resultados de la comparación, identificando si las diferencias en eficiencia, calidad y precisión se explican por la adopción tecnológica en sí misma o por la experticia acumulada en el sector, lo que aporta mayor rigor y validez al análisis.

Tabla 6 *Experiencia en el sector de la construcción porcentualmente*

Años de experiencia en el sector de la construcción	De 2 a 5 años	De 5 a 10 años	De 10 a 20 años	De 20 a 30 años	Mas de 30 años
Porcentaje (%)	14%	28%	50%	7%	1%

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Figura 6 *Incidencia porcentual en años de experiencia*



Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

La predominancia con experiencia entre 10 y 20 años (50%) y entre 5 y 10 años (30%) indica que la muestra está compuesta por empresas con suficiente trayectoria para generar apertura hacia la innovación. Esta combinación favorece una comparación equilibrada, ya que permite contrastar percepciones desde la práctica convencional con valoraciones sobre la eficiencia y calidad que ofrecen las herramientas digitales. Además, la baja representación de perfiles con más de 30 años o menos de 5 años de experiencia sugiere que el análisis no está sesgado hacia extremos generacionales, lo que fortalece la validez del ejercicio comparativo y aporta una visión más representativa del sector constructor en Bogotá.

- **8. ¿Cómo ha afectado el uso de estas tecnologías a los costos operativos**

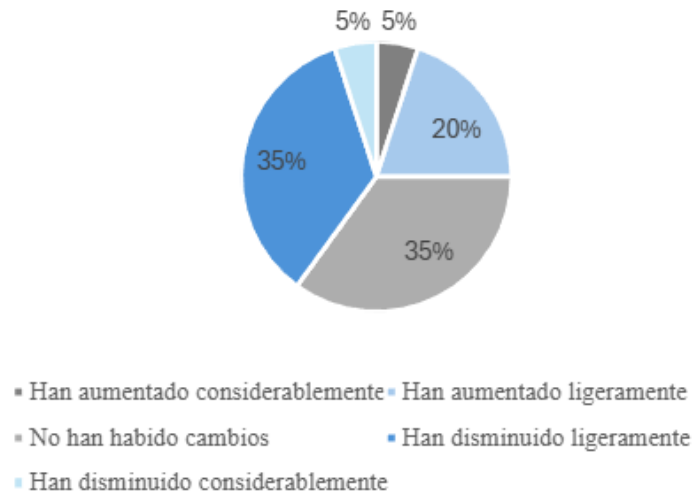
La presente pregunta fue creada para conocer cómo perciben los encuestados el impacto que ha tenido la implementación de tecnologías en los costos operativos de sus organizaciones. Se diseñó como una pregunta de selección múltiple con única respuesta, ofreciendo opciones para evaluar si esos costos han subido o bajado en diferentes grados, o si no han presentado cambios. Así, la pregunta busca saber si la adopción tecnológica ha traído beneficios económicos, aumentos en los costos o estabilidad en los gastos operativos.

Luego de la recolección y tabulación de la información se obtiene como resultado:

Tabla 7 *Afectación en costos operativos* debido a implementación de nuevas tecnologías

Afectación del uso de tecnologías en costos operativos	Han aumentado considerablemente	Han aumentado ligeramente	No ha habido cambio	Han disminuido ligeramente	Ha disminuido considerablemente
Porcentaje (%)	5%	20%	35%	35%	5%

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Figura 7 Distribución porcentual de Afectación en costos operativos

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Esta grafica demuestra diferentes perspectivas de los encuestados debido a que el 35% indica que han disminuido ligeramente los costos operativos, mientras que el otro 35% señala que no ha habido cambios lo que podría sugerir que algunas empresas aún no han adoptado las tecnologías. El 20% indica un aumento ligero en el costo, mientras que el 5% un aumento considerable estos porcentajes pueden explicarse por factores asociados a la fase inicial de implementación de tecnologías. El otro 5% expone una disminución considerable de costos operativos, lo que podría indicar que este porcentaje de empresas ya implementan las tecnologías y ven mejoras en la ejecución, optimización y planificación de proyectos lo que desencadena en la reducción de costos.

- **1. ¿Tamaño de la empresa? (número de empleados)**

La primera pregunta se encuentra dirigida a conocer cuántos empleados tienen las empresas que respondieron la encuesta, ya que el tamaño organizacional influye mucho en la estructura, los procesos y las necesidades de gestión de la empresa. Los datos fueron recolectados través de una pregunta abierta, en la que cada encuestado escribía el número aproximado de trabajadores de su organización.

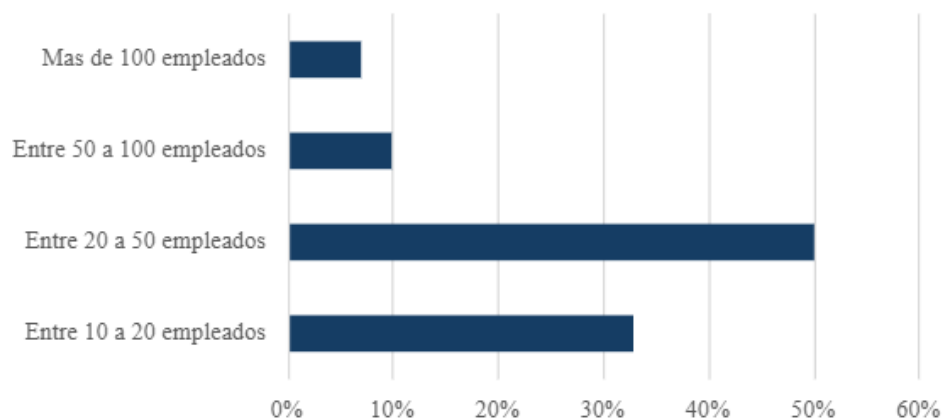
Luego de la recolección y tabulación de la información se obtiene como resultado:

Tabla 8 *Tamaño de empresas evaluado en número de empleados*

Número de empleados	Entre 10 a 20 empleados	Entre 20 a 50 empleados	Entre 50 a 100 empleados	Mas de 100 empleados
Porcentaje (%)	33%	50%	10%	35%

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Figura 8 *Distribución porcentual de tamaño en constructoras muestra*



Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

El resultado obtenido, demuestra que la mayoría de las empresas que contestaron la encuesta hacen parte del Pymes en Bogotá, ya que solo el 7% del compilado arroja tener más de 100 empleados, considerándose como empresas grandes, mientras que el 50% de la muestra encuestada indica que tiene entre 20 y 50 empleados, lo que indica que su participación en el sector construcción es relevante, y la implementación de nuevas tecnologías se vuelve cada vez más indispensable.

- **3. ¿Rol o cargo en la empresa?**

La pregunta se relaciona directamente con los objetivos de la investigación, ya que permite identificar desde qué perspectiva organizacional se valoran las funcionalidades de BIM, RV y AR, se comparan sus resultados frente a los métodos tradicionales y se determinan las variaciones en

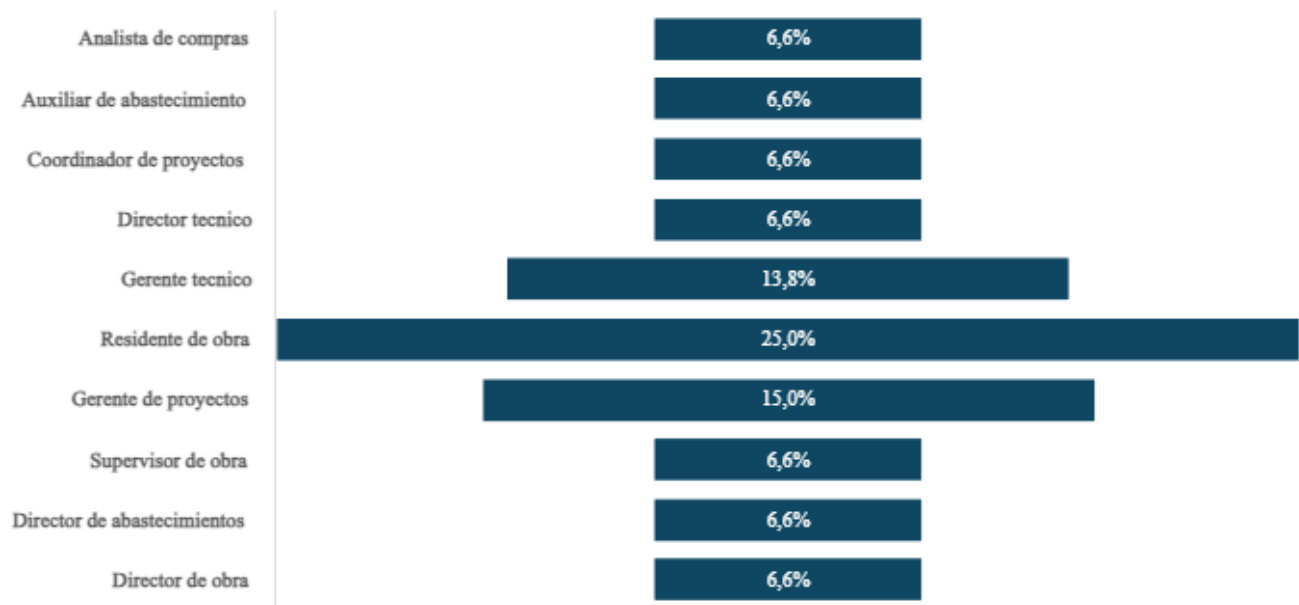
eficiencia operativa y calidad. Conocer si las respuestas provienen de directivos, jefes de área, coordinadores de proyectos o personal técnico aporta un marco interpretativo clave, pues cada cargo experimenta de manera distinta los impactos de la innovación digital: los niveles estratégicos tienden a evaluar beneficios en competitividad y gestión global, mientras que los operativos perciben mejoras en precisión, tiempos y reducción de errores.

Tabla 9 Roles y cargos en la muestra analizada

Rol o cargo en la empresa	Analista de compras	Auxiliar de abastecimiento	Coordinador de proyectos	Director técnico	Gerente técnico
Porcentaje (%)	6,6%	6,6%	6,6%	6,6%	13,8%
Rol o cargo en la empresa	Residente de obra	Gerente de proyectos	Supervisor de obra	Director de abastecimientos	Director de obra
Porcentaje (%)	25%	15%	6,6%	6,6%	6,6%

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Figura 9 Distribución porcentual de roles en la muestra



Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Los resultados muestran que la mayoría de los encuestados ocupan cargos operativos y de gestión directa en obra, como residentes (25%) y gerentes de proyectos (15%), lo cual aporta una perspectiva práctica y estratégica al análisis de los objetivos. Esta distribución permite caracterizar las funcionalidades clave de BIM, RV y AR desde roles que enfrentan directamente los desafíos técnicos y logísticos del sector, facilita una comparación realista entre métodos tradicionales y tecnologías emergentes, y ayuda a explicar las variaciones en eficiencia y calidad observadas en el ejercicio práctico, considerando cómo cada cargo experimenta e interpreta los impactos de la innovación en su entorno laboral.

- **5: ¿Hace cuánto tiempo adoptó su empresa estas tecnologías?**

Esta pregunta es de única opción y permite identificar el nivel de madurez en el uso de BIM, RV y AR. Dado a que Succar (2009) indica que el nivel de madurez está ligado directamente con el tiempo de adopción, integración y estandarización que desencadenan en la capacidad de una organización para obtener beneficios operativos.

Luego de la recolección y tabulación de la información se obtiene como resultado:

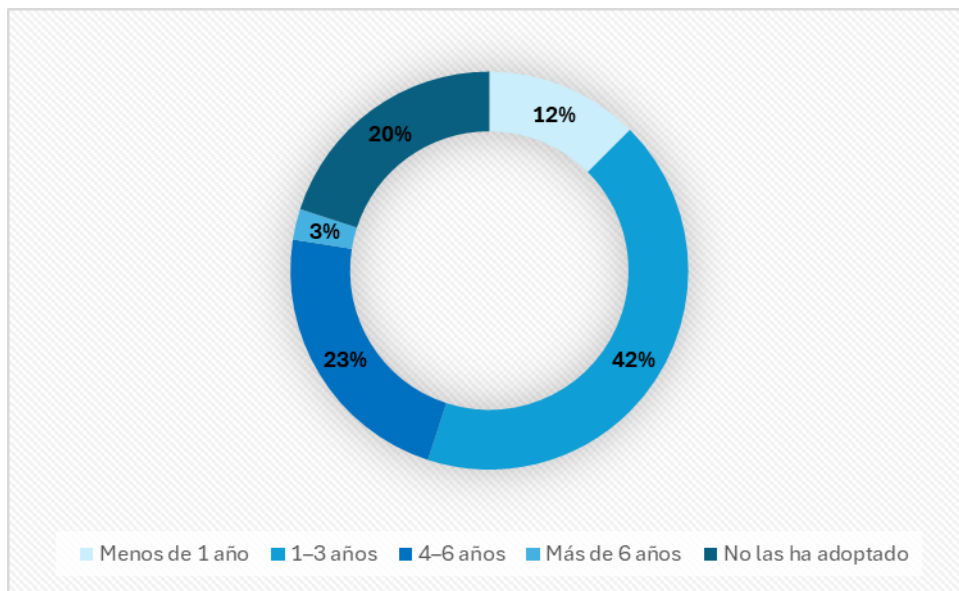
Tabla 10 *Tiempo de adopción de las tecnologías*

Tiempo de adopción	Menos de 1 año	1–3 años	4–6 años	Más de 6 años	No las ha adoptado
--------------------	----------------	----------	----------	---------------	--------------------

Porcentaje (%)	12,50%	42,50%	22,50%	2,50%	20%
----------------	--------	--------	--------	-------	-----

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Figura 10 *Tiempo de adopción de las tecnologías*



Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Según el gráfico, el 42,5% de las empresas empezó a usar estas tecnologías entre 1 y 3 años, representando la mayoría, lo que quiere decir que muchas empresas las han adoptado hace poco, pero ya las usan bien. El 22,5% de las empresas establece que implemento el uso de estas tecnologías desde hace 4 a 6 años, estas empresas demuestran mayor experiencia. El 20% establece que aún no las usa, lo que muestra que hay empresas que van atrasadas. Puede ser por el costo, porque no tienen capacitación o porque no quieren cambiar. El no usar estas tecnologías repercute en el desaprovechamiento de eficiencia y calidad que podrían impactar un proyecto positivamente. El 12,5% empezó a usarlas hace menos de un año es decir que todavía hay empresas que recién comienzan y un grupo más pequeño, de 6 años, está en un punto alto en cuanto a experiencia. Lo que podría llegar a establecer que tienen gran eficiencia operativa en sus actividades.

La mayoría de las empresas empezó a usar estas tecnologías en los últimos años. Pero hay diferencias claras entre las que llevan mucho tiempo, las que llevan poco y las que no han empezado.

- **9. ¿Qué porcentaje de su personal ha recibido capacitación en el uso de BIM, VR o AR?**

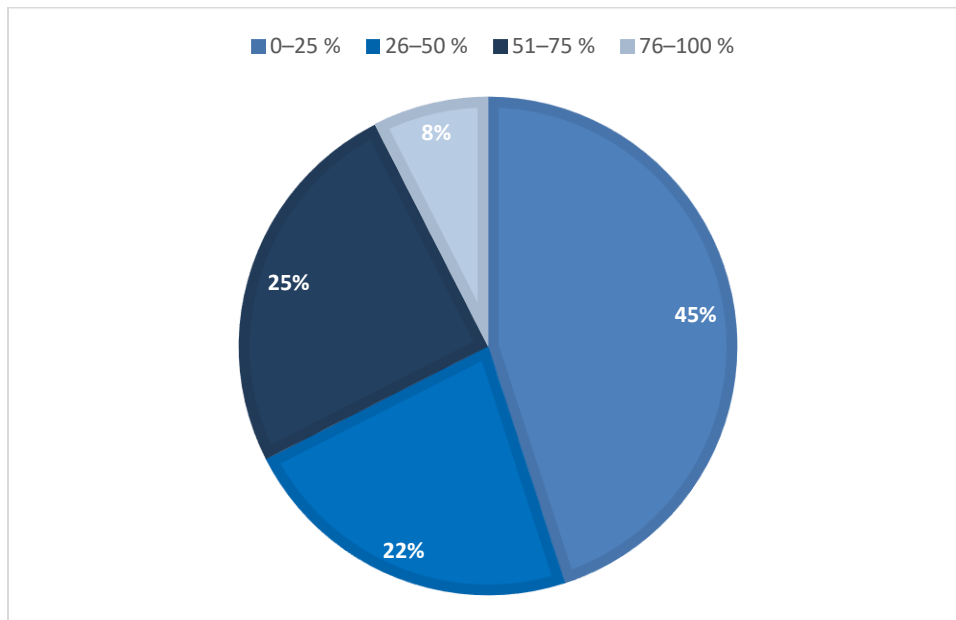
La novena pregunta de única respuesta, busca evaluar de forma porcentual el rango de personal capacitado dentro de la empresa en temas de uso de BIM, VR o AR, esto con el fin de analizar a fondo el grado de preparación organizacional y el aprovechamiento de las funcionalidades claves de dichas tecnologías y su incidencia en la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos de construcción, debido a que un bajo nivel de capacitación puede repercutir en limitar los beneficios de las herramientas y afectar los resultados del uso de estas tecnologías en los proyectos.

Luego de la recolección y tabulación de la información se obtiene como resultado:

Tabla 11 *Porcentaje de personal capacitado*

Porcentaje de personal capacitado	0–25 %	26–50 %	51–75 %	76–100 %
Porcentaje de empresas	45%	22,50%	25%	7,50%

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Figura 11 *Porcentaje de personal capacitado*

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

De acuerdo con la gráfica se puede interpretar que en la muestra utilizada el 45% de las empresas indican que se encuentran en un rango de 0-25% de capacitaciones a su personal, esto indica que sería una dificultad considerable implementar de forma inmediata estas tecnologías, ya que puede generar sobrecostos por uso inadecuado, así como la baja utilidad o aprovechamiento de las herramientas. Por otro lado un 22,5% de la muestra indica que del 26-50% de su personal se encuentra capacitado, si bien es un trabajo muy adelantado sigue siendo bajo para lograr implementar el proceso de forma totalmente exitosa, así mismo el 25% de la muestra indica que entre el 51%-75% de su personal ya está capacitado representa un avance significativo, generando que sus posibilidades en el momento de implementar estas tecnologías respondan como se tienen planeadas con mínimos márgenes de error por mal uso o usos mínimos.

Finalmente, el 7,5% se encuentra entre el 76-100% de capacitación de su personal, demostrando su amplio interés por implementar nuevas tecnologías y asegurarse de que funcionen de forma óptima desde un principio.

- **10. ¿Qué nivel de capacitación ha recibido el personal en el uso de BIM, VR o AR?**

La pregunta se utilizó como complemento de los objetivos planteados, ya que el nivel de capacitación del personal influye en la correcta aplicación de las tecnologías BIM, RV y AR, así como en los resultados obtenidos frente a los métodos tradicionales. Conocer el grado de formación permite contextualizar las variaciones en eficiencia operativa y calidad identificadas, con lo que se asegura que las diferencias observadas se expliquen no solo por la tecnología empleada, sino también por las competencias del equipo que la utiliza.

Esta pregunta es de única respuesta, se elaboró para entender que se puede capacitar un porcentaje del personal, pero también es importante el nivel de su capacitación, ya que este asegura un buen manejo de las nuevas tecnologías dentro de la empresa, ayudando a optimizar procesos, mitigar errores, evitar sobrecostos, e incluso pérdida de tiempos en los cronogramas dispuestos por la compañía.

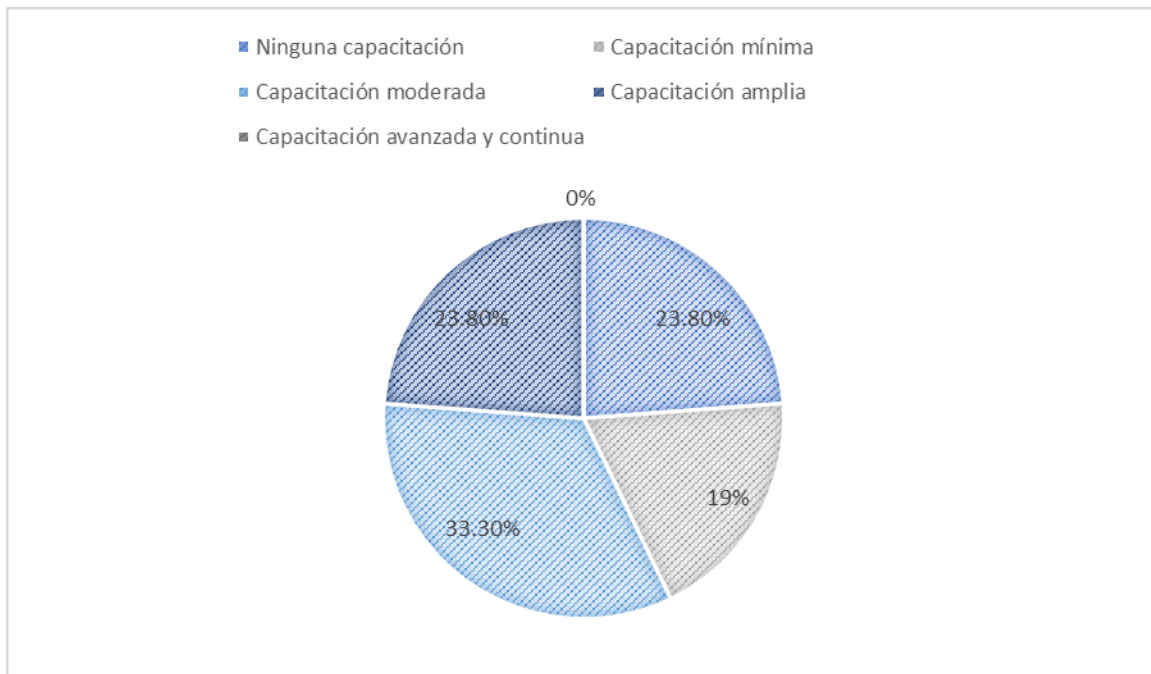
Luego de la recolección y tabulación de la información se obtiene como resultado:

Tabla 12 *Nivel de capacitación sobre las tecnologías*

Nivel de capacitación del personal	Ninguna capacitación	Capacitación mínima	Capacitación moderada	Capacitación amplia	Capacitación avanzada y continua
Porcentaje (%)	23.8%	19%	33,3%	23,8%	0%

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Figura 12 *Nivel de capacitación sobre las tecnologías*



Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

De acuerdo a la muestra analizada se tiene que el 33.3% del personal capacitado tuvo una inducción moderada en el tema, lo cual puede ser riesgoso teniendo en cuenta que estos programas requieren de precisión y manejo adecuado de su interfaz para evitar des calibraciones o desconfiguraciones, por otro lado el 23.8% del personal capacitado fue instruido de forma amplia en el tema, lo cual puede indicar que realmente dominan el tema y son capaces de manejar los programas con gran facilidad, garantizando una operatividad adecuada y suficiente para obtener resultados dentro de los tiempos esperados y establecidos.

Sin embargo, el 23.8% indican que no tienen una capacitación en el tema, lo cual resulta preocupante, ya que es personal en áreas a fines de la construcción que si requieren ser instruidos en estas tecnologías, para aplicarlos no solo en las herramientas que se analizan en el presente trabajo, sino que además son aplicables en cualquier aspecto de los proyectos constructivos. Por otro lado, el 19% asegura que cuenta con una capacitación mínima la cual no tiene tanta relevancia en el proceso y no puede ser usada con toda la seguridad que la aplicación demanda.

Finalmente resulta preocupante que el 0% de la muestra indica que su capacitación es avanzada continua ya que demuestra que a pesar del interés existente actualmente en las

constructoras por implementar estas nuevas tecnologías su inversión en capacitar al personal está siendo casi nula, por lo tanto, es un punto para reforzar de manera muy rigurosa.

- **12. ¿Cuál es la principal barrera que ha encontrado su empresa para adoptar estas tecnologías?**

Esta pregunta está estructurada como opción múltiple con única respuesta, en su alcance principal aportó información complementaria para reconocer los elementos que limitan la integración de los instrumentos tecnológicos de BIM, RV y RA en pequeñas y medianas empresas en Bogotá, facilitando el contexto de los resultados relacionados con la eficiencia operativa y calidad de los proyectos.

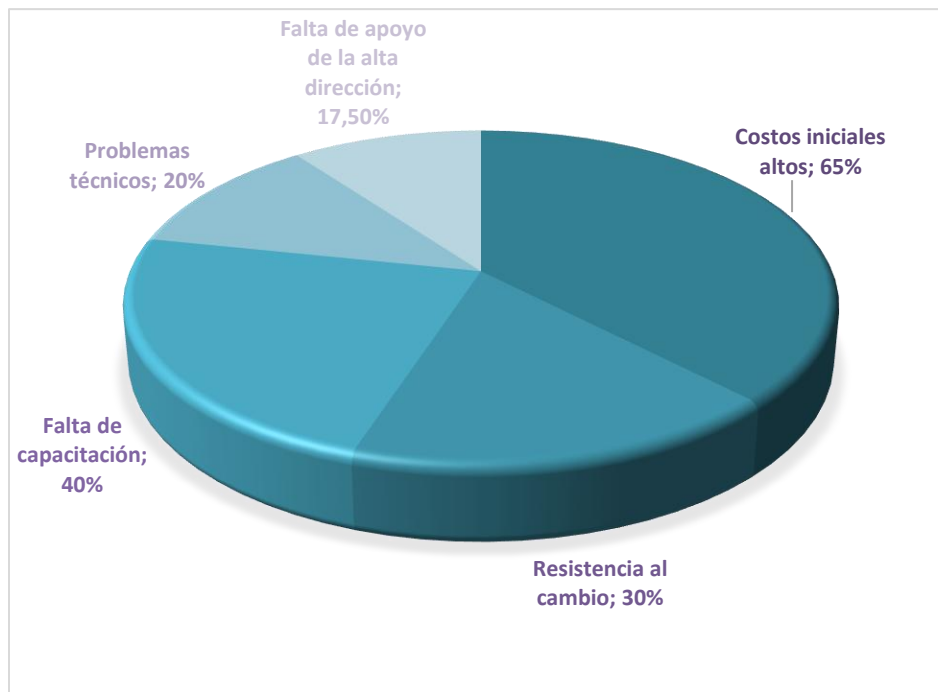
Actualmente en Colombia surgir como empresa en cualquier sector es sumamente complejo, puesto que el apoyo por parte del gobierno no es considerable, estancando muchos emprendimientos en impuestos y demás requisitos que impiden surgir como independientes, sin embargo luego de lograr iniciar, existen otras dificultades que deben superarse para mantenerse a flote, y ser realmente competitivos, en el caso de la construcción, optimizar sus procesos con nuevas tecnologías que innoven, fomenten disminución de costos, tiempos, e incrementen la calidad y seguridad es primordial para llamar la atención del cliente objetivo.

Luego de la recolección y tabulación de la información se obtiene como resultado:

Tabla 13 Principales barreras de adopción tecnológica

Barrera de adopción	Costos iniciales altos	Resistencia al cambio	Falta de capacitación	Problemas técnicos	Falta de apoyo de la alta dirección
Porcentaje (%)	20%	7.50%	50%	15%	7,50%

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

Figura 13 Principales barreras de adopción tecnológica

Fuente: Elaboración propia con instrumento aplicado

De acuerdo con los resultados obtenidos tenemos que el 50% de la muestra indica que su principal barrera para adoptar estas tecnologías es la falta de capacitación, lo positivo de este resultado es que no es un problema que no tenga soluciones de varias formas, por otro lado, el 15% indica que esto se debe a problemas técnicos, que puede ser espacio en la nube disponible, poco alcance de la empresa que aún no requiere implementar la tecnología.

Sin embargo, el 7,5% indica que se debe a falta de apoyo por parte de la alta dirección que puede traducirse en que no hay recursos financieros para proceder con la implementación.

Así mismo el 20% indica que los costos iniciales son muy altos, teniendo en cuenta que, si no existe una inversión considerable no solo en la implementación si no en la capacitación del personal, los resultados tardaran muchísimo más en llegar y ser útiles.

13. ¿Qué nivel de resistencia al cambio ha percibido en la adopción de estas tecnologías?

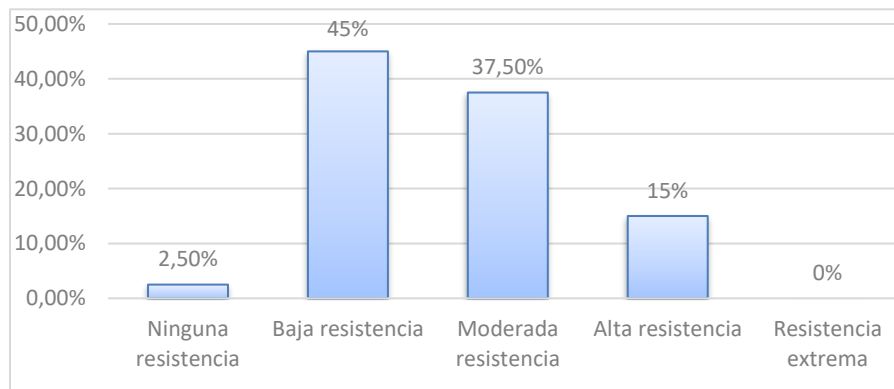
Esta pregunta se creó para identificar cuánto resisten los encuestados al cambio durante la implementación de nuevas tecnologías en sus organizaciones. Se formuló como una pregunta de opción múltiple con única respuesta. Las opciones ofrecidas fueron diferentes niveles de resistencia: ninguna resistencia, baja resistencia, resistencia moderada, alta resistencia y resistencia extrema. Así, la pregunta facilita información complementaria que permite saber el nivel de aceptación o rechazo que tienen los colaboradores frente al proceso de adopción tecnológica, enfatizando sobre el impacto en la eficiencia operativa y calidad de los proyectos.

Luego de la recolección y tabulación de la información se obtiene como resultado:

Tabla 14 Nivel de resistencia al cambio en la adopción

Nivel de resistencia al cambio	Ninguna resistencia	Baja resistencia	Moderada resistencia	Alta resistencia	Resistencia extrema
Porcentaje (%)	2.5%	45%	37.5%	15%	0%

Figura 14 Nivel de resistencia al cambio en la adopción



La resistencia al cambio tiende a ser baja o moderada dado a los altos porcentajes que se identifican, un 45% indica baja resistencia y el 37.5% moderada resistencia, reflejando que, aunque existe apertura al cambio, persisten dudas en el proceso de adopción. El 15% de los encuestados indica que se presenta alta resistencia, este porcentaje podría encaminarse a la brecha digital que aún persiste en la industria de la construcción dado a que se limita el uso de estas herramientas por miedo a cometer errores o la percepción de que el cambio puede afectar a la forma tradicional de trabajar (Castillo Ruiz & Quevedo Y parraguirre, 2021).

5.2. Entrevista

Con el propósito de indagar la percepción que tienen las constructoras pymes en la ciudad de Bogotá se empleó una entrevista para dos empresas una que no implementa el uso de tecnologías BIM, AR y VR y otra que sí. Esto con el fin de poder entender las percepciones de los gerentes y líderes de proyecto respecto a la implementación de las tecnologías. Como se mencionó en el capítulo de ética las empresas, las personas encuestadas no serán mencionadas dado a que la información suministrada es de carácter sensible.

- Para la empresa que no emplea tecnologías en su estructura organizacional, se entrevistó al representante legal de la compañía, el cual también hace las funciones de gerente, esta persona dio a conocer la siguiente información:

¿Cuáles han sido sus experiencias más destacadas en la implementación de estas tecnologías?

Aunque la compañía directamente no maneja las tecnologías en ocasiones si nos hemos visto obligados a usarlas, debido a que clientes nos han solicitado diseños en BIM. Hace poco un cliente con el que contantemente trabajamos, nos indicó que realizaría el cambio de la red hidrosanitaria de una edificación y que sometería el proyecto a un proceso licitatorio. Al momento de revisar el pliego de condiciones nos llevamos la sorpresa de que el cliente exigía un modelo tridimensional, como dentro de nuestra compañía ningún integrante maneja la herramienta, tuvimos que recurrir a un subcontratista que realizara el modelado del diseño que ya habíamos generado. Esta situación genero un costo adicional a los procesos que normalmente manejamos para los diseños, pero era un costo que debíamos asumir dado a que el proyecto al ser de gran envergadura permitiría generar una ganancia significativa a la empresa.

¿Podría describir algún proyecto en el que la implementación haya sido exitosa o haya enfrentado problemas?

En base al proyecto que mencione se obtuvo un resultado favorable, ya que ganamos la licitación y pudimos tanto contratar los diseños, como realizar el cambio de toda la red. Este proyecto tuvo gran impacto en la compañía en dos aspectos. Por un lado, genero un impacto económico favorable por el tamaño del proyecto y por otro lado nos permitió generar una visión

frente a como manejamos el diseño y la cuantificación de los proyectos. Dado a que normalmente empleamos planos en planta, ya sea digitales o en físico. Cuando la empresa decidió contratar el servicio de diseño tridimensional nos llevamos la sorpresa de que el subcontratista nos entregó también un listado de cantidades del proyecto. El cotejar estas cantidades con el método tradicional que normalmente maneja la compañía nos arrojó cantidades muy similares. Lo que nos hizo cuestionarnos de la importancia de empezar a emplear este tipo de metodologías.

¿Cuánto tiempo suele invertir la empresa para realizar el despiece y cálculo de materiales de obra de un proyecto y como es el proceso de compra?

La empresa suele invertir de uno a dos días dependiendo del proyecto y si el proyecto es muy grande a veces nos puede tomar una semana. Por ejemplo, el proyecto que mencionaba tomo tres días el realizar la cuantificación y el despiece. Luego de tener la cuantificación del proyecto, el área de compras se encarga de realizar un análisis de mercado en el que se evalúa que proveedor cuenta con las mejores características frente a precios, tiempos de entrega y calidad.

¿Como se ha visto afectada la empresa cuando las cantidades compradas no coinciden con la realidad del proyecto?

La falta de materiales en obra genera un sobrecosto y retrasos en el cronograma del proyecto, dado a que nuestro departamento de compras generalmente realiza las compras bajo una negociación en base a cantidades, al comprar una suma grande el proveedor genera descuentos, pero si compramos una cantidad mínima el costo incrementa considerablemente, porque no aplican descuentos y se debe comprar en base a precios comerciales, también en ocasiones se debe asumir el costo transporte porque al ser un pedido pequeño, el proveedor no asume el costo y hay que recurrir a contratar un vehículo para poder transportar el material.

Además de los sobrecostos que mencionaba, se generan retrasos en el cronograma y esto se debe a que en ocasiones el proveedor no cuenta con el material para despacho. Hace poco tuvimos un retraso en un proyecto justamente por ese motivo. Se había comprado cierta cantidad de vigas w para un proyecto que teníamos en Bogotá, resulta que no se había contemplado un detalle constructivo por lo cual requeríamos comprar una viga de más. Al momento de contactar al proveedor, este nos indicó que no contaba con el material disponible para despacho, ya que este material es importado y tenían que validar si el mismo si se encontraba disponible en puerto.

Contamos con la fortuna de que el material si se encontraba en puerto, pero tuvimos un retraso de una semana, debido a que la viga primero tenía que llegar a las instalaciones del proveedor en Fontibón para luego ser despachada. Además del retraso también tuvimos que asumir el costo de transporte porque, al ser una solo viga, no se cumplía con la cantidad de toneladas necesarias para el proveedor asuma en transporte.

Aunque se trató de mitigar el retraso del proyecto realizando la compra con otros proveedores, no fue posible. Debido a que este material estaba agotado en la ciudad porque las siderúrgicas de Colombia no están fabricando este tipo de materiales y la única forma de adquirirlo es por medio de importaciones.

¿Qué barreras organizacionales ha encontrado en la adopción de estas tecnologías?

La barrera que impacta en mayor medida a la empresa ha sido la falta de conocimiento que enfrenta el personal frente al manejo de estas tecnologías, además de que no contamos con los equipos y softwares necesarios para poder visualizar los proyectos. En el caso del proyecto de las redes hidrosanitarias tuvimos que adquirir el programa por medio de la prueba gratuita que brinda Autodesk. Esto nos permitió visualizar el proyecto, durante el mes que duro su ejecución.

¿Cuáles han sido los mayores desafíos técnicos?

En base al proyecto de las redes hidrosanitarias el mayor desafío técnico que se evidencio fue la dificultad de integrar la información, porque la empresa al no contar con el software adecuado no se podían visualizar los planos en archivos rvt, si no que se requería que los mismo fueran enviados en dwg. Esto en ocasiones generaba retrasos y problemas de comunicación.

¿Considera que la inversión en BIM, VR y AR ha valido la pena? ¿Por qué?

Aunque la empresa aún no ha implementado estas tecnologías dentro de los procesos operativos, considero que a futuro si vamos a requerir la inversión tanto en la adquisición de los programas como en la capacitación del personal, porque es importante que la empresa se encuentre actualizada frente a las solicitudes del mercado. Además de que es importante contemplar que día a día vemos que las tecnologías juegan un papel importante en todos los ámbitos en los que interactuamos.

¿Qué factores influyen en la decisión de su empresa para invertir más en estas tecnologías en el futuro?

Como lo mencionaba, el factor que más influye en la decisión es la adopción a la solicitud de los clientes, claro está que también es determinante el hecho de que en el proyecto de las redes pudimos evidenciar que el uso de estas tecnologías permite generar una mejor percepción del proyecto ya que se pueden visualizar detalles que no son tan visibles en los planos.

- En la empresa que, si aplica dichas tecnologías se entrevista al director de abastecimientos, quien es el encargado de liderar el proceso de cálculo de cantidades, tiempos de ejecución y requerimientos, licitación de cada insumo y actividad correspondiente a los proyectos propios de la empresa de construcción para viviendas vis y no vis donde se obtienen las siguientes respuestas.

¿Cuáles han sido sus experiencias más destacadas en la implementación de estas tecnologías?

La empresa experimento una transformación relevante desde su implementación, puesto que los tiempos empleados en cálculo de cantidades y visualización en modelos 3D facilita la ejecución de los proyectos, además el trabajo colaborativo en línea permite solidificar las ideas en cada equipo, ya que se puede visualizar los planos y modelos por coordinaciones desde diferentes computadoras, agilizando considerablemente no solo los tiempos de respuesta en los procesos sino la calidad de estos.

Todo esto produjo un crecimiento considerable en la empresa ya que los rendimientos son más altos, sin embargo, el prospecto de profesional que solicitábamos antes de implementar BIM es diferente al que buscamos en este momento, el cual es más difícil conseguir y mucho más costoso.

¿Podría describir algún proyecto en el que la implementación haya sido exitosa o haya enfrentado problemas?

Desde la implementación, se manejan varios proyectos en simultaneo, por lo tanto se puede evidenciar tanto optimizaciones como algunas fallas en el software, pero lo más relevante es que para que la implementación sea exitosa el área de desarrollo debe iniciar a cargar la información

en BIM con mucho tiempo de anticipación al inicio del proyecto, ya que los planos y modelos requieren el más mínimo detalle para poder iniciar su construcción, desafortunadamente en algunos casos este tiempo no es suficiente y el proyecto debe iniciar su ejecución, por lo cual deben liberar la información que dispongan, y al momento donde el equipo de abastecimiento inicia su cálculo de cantidades, o el equipo de presupuestos realiza sus partidas presupuestales no se cuenta con información completa, en consecuencia se deben estimar muchos datos por medio de indicadores y obras referencia, disminuyendo considerablemente el nivel de errores en presupuestos y compra de suministros y manos de obra, eso genera pérdidas considerables anualmente las cuales deberían ser casi nulas.

Actualmente, estamos trabajando para lograr optimizar este tiempo de cargue de información para lograr las metas de eficiencias propuestas al momento de implementación.

¿Cuánto tiempo suele invertir la empresa para realizar el despiece y cálculo de materiales de obra de un proyecto y como es el proceso de compra?

Este proceso resulta ser muy ágil, depende de la actividad pero estimamos que redujimos un 80% de tiempo frente al cálculo de cantidades tradicional, este proceso se realiza en dos momentos, inicialmente nuestros profesionales en oficina en compañía de los residentes y directores de obra realizan el cálculo de cantidades las cuales envían a cotizar a nuestros proponentes quienes deben ingresar a los planos y modelos que les compartimos y recalcularlas para garantizar que no tendremos deltas al momento de ejecución.

¿Como se ha visto afectada la empresa cuando las cantidades compradas no coinciden con la realidad del proyecto?

Esta desafortunada y complicada situación se presenta cuando los planos o modelos utilizados no se encuentran 100% terminados y cargados por el area de desarrollo en el BIM, ya las cuales si han sido significativas en varias ocasiones, en ese caso al momento de realizar la negociación en los procesos licitatorios de debe buscar un proveedor que mantenga los mismos precios unitarios finales en caso de salir adicionales para evitar sobrecostos, sin embargo muchas veces no se logra dicho acuerdo, adicional a esto también se tiene extensión de tiempo e entregas y terminación de obra, lo cual retrasa la siguiente actividad y por consecuencia retrasos en la entrega a los clientes finales, lo cual se traduce en pérdidas anuales.

¿Qué barreras organizacionales ha encontrado en la adopción de estas tecnologías?

Consecuentemente a lo mencionado la empresa requiere crecer de forma significativa para lograr obtener resultados visibles, su manejo se debe realizar por personal capacitado el cual es más complejo encontrar además de que su valor es más alto, y al tener un equipo tan grande es complejo organizar de forma homogénea las instrucciones y que estas sean cumplidas a cabalidad, por lo tanto se presenta pérdida de información la cual no llega a tiempo al profesional que se encuentra realizando las actividades.

¿Cuáles han sido los mayores desafíos técnicos?

Garantizar que todo el equipo tenga acceso a la información y sepan manejar el sistema es una tarea muy compleja, ya que esto se debe realizar de forma ágil y acertada, garantizando que los errores sean nulos a la hora de manipular tanta información, muchas veces se contrata con planos que no corresponden al proyecto, por el poco manejo que se tiene de la interfaz, lo cual causa daños en sentido de costos y tiempo.

¿Considera que la inversión en BIM, VR y AR ha valido la pena? ¿Por qué?

Realmente si, dichas tecnologías facilitan de forma contundente el proceso constructivo de nuestros proyectos, facilitando un manejo más amplio y permanente de sus necesidades, actualmente logramos centralizar el abastecimiento de todas nuestras obras desde la oficina principal, es decir con los planos y modelos en línea podemos contratar desde el cerramiento a todo costo del proyecto hasta el aseó final para su entrega, pasando por movimientos de tierra, pilotajes, estructura, suministro de concretos, redes hidráulicas y eléctricas, todo tipo de acabados, incluso optimizando el proceso constructivo en la marcha de acuerdo a la localización, condiciones específicas del suelo, y requerimientos del proyecto, esto en base al repositorio de información en línea, y visualización de comportamiento frente a resistencia.

Podría dar muchísimas razones más, pero grosso modo estas tecnologías permiten reducir tiempos, costos e incluso estabilidad de las obras.

¿Qué factores influyen en la decisión de su empresa para invertir más en estas tecnologías en el futuro?

El factor que más influye es la relación entre inversión y optimización de tiempos y recursos, la cual debe rondar un 40% como mínimo al momento de encontrarse operando en su máxima capacidad, ya que la empresa sigue creciendo, requiere de un manejo óptimo y vanguardista que le permita mantenerse vigente en el sector de construcción.

6. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de la encuesta y entrevista aplicadas a las pequeñas y medianas empresas de Bogotá en concordancia con los objetivos específicos de la investigación permiten analizar y comparar los hallazgos con los aportes literarios revisados sobre la implementación de las tecnologías Building Information Modeling, realidad virtual y realidad aumentada y sus implicaciones en la eficiencia operativa y calidad.

6.1. Funcionalidades clave de las tecnologías BIM, RV y AR que influyen en la eficiencia operativa y la calidad en proyectos de construcción.

En concordancia con los resultados extraídos de las preguntas realizadas en la encuesta y con especial enfoque en aquellas que permiten identificar con claridad las funcionalidades clave de las tecnologías BIM, RV y RA, dando una percepción sobre su cooperación en la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos constructivos y reportada por el 65% de los encuestados, el uso de la metodología BIM se posiciona como un elemento central lo que corrobora que esta tecnología es parte fundamental de la transformación digital, como ha sido señalado por Eastman et al. (2011). Esta adopción resuena más entre las empresas debido a sus múltiples beneficios y capacidades para la integración y gestión de información, la coordinación en distintas etapas y la cooperación interdisciplinaria.

Por lo anterior, el hecho de que estas tecnologías estén principalmente centradas en el área de diseño representado con un 65% de las respuestas dadas por los encuestados, confirman y afianzan lo descrito por Dena et al. (2024), donde destaca que la inversión en tecnologías innovadoras en fases iniciales del proyecto consolida fuertemente la calidad de la información, dando un mayor crecimiento a la eficiencia operativa al permitir disminución de errores, evitar retrabajos y aportar a la sostenibilidad en diferentes áreas que conforman un proyecto de construcción civil.

Asimismo, respecto a la eficiencia operativa, con más del 80% de los resultados se evidencia una apreciación positiva en alguno de los niveles de mejora tras la implementación de estas tecnologías. Gharaibeh et al. (2024) menciona que la digitalización brinda un rendimiento

eficaz en los procesos de construcción obteniendo un aprovechamiento de distintos recursos tanto humanos como de tiempo y materiales. Sin embargo, se refleja el hecho de que el 19% indica que no existe ninguna mejora al integrar estas tecnologías, por lo que la adopción de estas innovaciones tecnológicas por sí solas no generan resultados positivos si no se tiene una constancia de uso, aprendizaje continuo y una adecuada capacitación que guíen directamente a la obtención de grados de integración eficientes.

Otro factor importante de mencionar es el grado de relación y confianza de los involucrados beneficiados del uso práctico de BIM, RV y RA para comprender la funcionalidad y la influencia operativa y calidad de los proyectos. Los resultados brindan un panorama de que un número amplio de empleados de constructoras Pymes presentan familiaridad con las tecnologías en un nivel moderado o bajo y otro número expone la falta completa de conocimiento acerca de estas herramientas, coincidiendo con lo expresado por Arayici y Coates (2012) que indican que la inexperiencia o falta de conocimiento en el aprovechamiento de los beneficios repercute en la calidad de uso o el entendimiento de funciones claves que afectan directamente la eficacia operacional y a su vez la calidad normativa del proyecto. Aun así, el 25% de los encuestados se encuentran muy familiarizados con estas herramientas tecnológicas.

Por otro lado, en afinidad con las dificultades técnicas que se han presentado se concentran en este caso en el departamento de soporte técnico, la compatibilidad del software y requerimientos puntuales del hardware lo cual concuerda con lo revisado en la literatura de la implementación de las tecnologías en la construcción (Alotaibi et al., 2024). Sin embargo, se refleja que un 25% de los encuestados no ha experimentado dificultad técnica, demostrando que, si se realiza la adopción de forma ordenada y gestionando adecuadamente la información cumpliendo los estándares definidos en la norma ISO 19650, es posible la obtención del máximo beneficio del uso de herramientas tecnológicas innovadoras como BIM, RV y RA.

En conjunto, los resultados de la encuesta que permiten tener una percepción amplia acerca de las funcionalidades de las tecnologías BIM, RV y RA que están directamente relacionadas con la eficiencia operativa y de la calidad de un proyecto son aquellas que se encuentran unidas a la coordinación de diseño, la visualización avanzada del trabajo, el análisis anticipado de errores y el manejo de información. Así mismo, se observa que el nivel de satisfacción de uso que a su vez aporta al rendimiento de estas tecnologías está estrechamente relacionado con la capacitación de

personal, gestión eficiente de aspectos técnicos y organizacionales lo que evidencia la necesidad de una adopción planificada y progresiva.

6.2. Comparar, a partir de un caso o ejercicio práctico, los resultados generados mediante BIM, RV y AR frente a los obtenidos con métodos tradicionales

Tomando como base la pregunta planteada en la encuesta en relación con las áreas en las que las empresas emplean BIM, RV y AR, se logró establecer que el 40% de los encuestados usan este tipo de instrumentos tecnológicos en la gestión de proyectos.

La gestión de proyectos al ser una herramienta interdisciplinaria integra diferentes áreas y procesos en el ciclo de vida de un proyecto como lo puede ser el diseño, planeación, costos, presupuestos, compras, ejecución, entre otras. Contemplado todas estas áreas y el impacto que cada una tiene en la eficiencia operativa de un proyecto y la complejidad de analizar cada una de las áreas, se decide únicamente analizar el departamento de compras de dos constructoras una que emplea las herramientas tecnológicas y otra que no. Con el fin de evaluar la eficiencia operativa de la implementación de BIM, RV y AR frente a métodos tradicionales.

Las empresas objeto de análisis no serán nombradas por temas de política de tratamiento de datos, sin embargo, es importante mencionar que ambas empresas son pymes constituidas en Bogotá.

El departamento de compras en la empresa que no ha implementado las tecnologías objeto de estudio emplea métodos tradicionales para el cálculo de cantidades de obra, para ello emplea planos a escala de forma física y digital, extendiendo su proceso alrededor de uno o dos días dependiendo del proyecto. Este proceso en ocasiones presenta dificultades dado a que la lectura de los planos se realiza de forma incorrecta, esto debido a que a veces no se contempla detalles constructivos.

En el proceso de ejecución de obra se evidencia la falta de materiales debido a la mala cuantificación de cantidades de obra, lo cual genera sobrecostos y retrasos en el proyecto. Se genera sobrecostos debido a que en las negociaciones durante el proceso de compras se contempla un valor estimado debido a la cantidad de materiales que va a requerir el proyecto, al comprar materiales fuera de lo negociado incrementa costos y aumenta los tiempos de entrega en obra.

Por otro lado, la constructora que tiene implementado en su proceso de gestión de proyectos las tecnologías de BIM, RV y AR, presenta en su departamento de abastecimientos una connotación diferente frente a la que se plantea anteriormente, esto debido a que dichas tecnologías permiten agilizar los procesos partiendo desde el cálculo de cantidades, ya que este proceso se realiza de forma colaborativa entre el equipo de forma digital, con las herramientas de precisión que facilitan los programas, como lo son las tablas de cantidades predeterminadas en los diseños establecidos de cada proyecto, cortes y vistas en los planos, entre otros. En el proceso de compras se negocia con las cantidades reales, lo que permite mantener el costo presupuestado inicialmente, sin adicionales imprevistos, cumpliendo además con el cronograma definido en la etapa inicial.

En base al manejo que tiene cada una de las empresas se identifica que los años de experiencia en el sector influyen directamente en sus alcances, ya que la empresa que emplea las herramientas tecnológicas objeto de estudio se encuentra constituida en el mercado hace 32 años, lo que le ha permitido desarrollar una mayor madurez organizacional, capacidad de inversión y apertura a procesos de innovación, Este análisis se puede asociar con lo que plantea Azhar (2011) frente a que la experiencia y la consolidación empresarial facilitan la adopción de tecnologías en el sector de la construcción.

Mientras que la constructora que no ha implementado estas tecnologías lleva 8 años constituida, mantiene un enfoque tradicional, posiblemente asociado a la priorización de la estabilidad operativa y a limitaciones en recursos y experiencia, lo que restringe la adopción de soluciones tecnológicas orientadas a mejorar su desempeño y competitividad.

6.3. Variaciones en eficiencia operativa y calidad identificadas en la comparación, destacando los factores que explican dichas diferencias

En base a la comparación de constructoras se puede establecer que existen variaciones en la eficiencia de sus procesos causadas principalmente por la metodología de operación empleada, donde resalta principalmente el uso de tecnologías como BIM, VR y AR ya que son las más conocidas y empleadas en el mercado de la industria por los múltiples beneficios que aportan.

Como lo es la percepción y visualización del proyecto en cada entorno, ya que BIM genera modelos tridimensionales a escala, VR por otro lado permite una inmersión en el proyecto por medio de un entorno virtual y AR genera una superposición en el entorno físico logrando dimensionar el espacio, esto es algo que no se logra con los modelos tradicionales, ya que estos se limitan únicamente a los cortes, detalles, especificaciones y vistas presentes en los planos, los cuales muchas veces no logran representar los componentes implícitos de cada proyecto.

Lo anterior se puede justificar de acuerdo a los resultados obtenidos en la encuesta implementada, puesto que el 65% de los encuestados indican que usan tecnologías para los diseños, directamente relacionado con las necesidades actuales del sector constructivo, así mismo, en la entrevista realizada a la empresa que emplea métodos tradicionales en sus procesos indica que en ocasiones ha tenido que recurrir a subcontrataciones de diseño que le permitan ser competitivos con otras empresas al momento de participar en procesos licitatorios, debido a que cumplen con todos los criterios necesarios para ser un candidato óptimo en la ejecución de los proyectos, sin embargo, presentan una deficiencia en la presentación de diseños debido a que no se cuentan con las tecnologías necesarias para representar visualmente el proyecto.

Por otro lado, se determina que dichas tecnologías también generan un impacto en la operatividad de los proyectos, puesto que en base a la encuesta realizada se identifica que el 80.9% de las empresas que implementan estas tecnologías han tenido un impacto positivo en la eficiencia operativa, además de ello, se puede inferir que el 40% de las empresas reportan una disminución en el costo operacional el cual podría estar ligado con la optimización de tiempos, reducción de reprocesos y un mejor control de recursos, lo cual se puede sustentar con lo que indica Soler (2021) en su texto “Evaluación comparativa entre la metodología BIM y la metodología tradicional en los procesos constructivos de viviendas residenciales, mediante la gerencia en la construcción” donde expone que el uso de enfoques tecnológicos en los proyectos presenta una variación menor en cuanto a costo y tiempo con respecto a la metodología tradicional en la fase de planeación de proyectos, beneficiando así la optimización del presupuesto y cronograma de obra.

Adicionalmente, es importante contemplar que la calidad de los proyectos se relaciona con la forma en la que se gestiona la información, los procesos y el control durante el ciclo de vida del

proyecto, por un lado, la calidad en los métodos tradicionales suele establecerse por controles manuales e inspecciones correctivas, las cuales demandan mayor tiempo y asumiendo posibles errores de ejecución, debido, a que estos solo pueden identificarse al finalizar las actividades.

Por otro lado, las tecnologías aplicadas en la construcción permiten la detección anticipada de errores y la corrección en etapas tempranas, evitando reprocesos, ya que opera bajo un enfoque predictivo. En este sentido, el integrar ambos enfoques mejora la gestión en la calidad a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Carrizales & Ormeño, 2023).

A partir de los hallazgos obtenidos, la integración de las tecnologías BIM, RV y AR supone un cambio radical en la manera en que las pymes del sector de la construcción gestionan la información, coordinan los procesos y controlan la calidad de los proyectos. La preeminencia de BIM como centro de la transformación digital de las pymes confirma su papel estratégico en las primeras fases del ciclo de vida del proyecto, especialmente en el diseño y la planificación, donde se concentra el mayor potencial de impacto positivo en la eficiencia operativa. Sin embargo, también muestran que la tecnología no es una palanca de mejora automática, la falta de formación, la baja familiaridad del personal y las dificultades técnicas limitan el aprovechamiento de estas herramientas, por lo que la conclusión es que su impacto depende de una adopción paciente, planificada y acompañada de procesos de gestión del cambio organizacional.

La comparativa práctica entre una empresa que trabaja con métodos tradicionales y otra que, apuesta por el BIM, la RV y la AR pone de manifiesto las ventajas de la eficiencia operativa, especialmente en el área de compras. Las técnicas tradicionales se basan en la interpretación manual de planos, con el consiguiente riesgo de errores, sobrecostos y retrasos. Sin embargo, el empleo de un modelo digital colaborativo permite hacer un recuento exacto, negociar basándose en datos y tener un mayor control tanto del presupuesto como del calendario. En este escenario, la experiencia y la madurez organizativas son también aspectos muy relevantes, ya que hacen más fácil la inversión, la estandarización de procesos y la apertura a la innovación, lo que ayuda a explicar en parte las diferencias que hay entre las dos empresas constructoras.

Por último, un estudio de caso demuestra que las diferencias en eficiencia operativa y calidad no vienen dadas únicamente por el tipo de metodología empleada, sino también por la gestión de la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Las tecnologías BIM, RV y AR permiten

un enfoque más predictivo, ya que facilitan la detección anticipada de errores, la mejora de la visualización y el refuerzo del control de la toma de decisiones, superando las limitaciones de los controles correctivos a posteriori de los métodos tradicionales. En definitiva, la transformación digital con BIM, RV y AR no es un proceso de eliminación simultánea del trabajo convencional en papel, sino una transición hacia métodos híbridos más eficientes, en los que la digitalización, el conocimiento técnico y la gestión organizativa se combinen para la construcción de la calidad y la competitividad de los proyectos a un nivel superior y de forma sostenible.

7. CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo como finalidad responder como la integración de las tecnologías BIM, realidad virtual (RV) y realidad aumentada (AR) inciden en la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos de construcción en comparación con los métodos tradicionales y cuáles son los factores que explican las diferencias encontradas en constructoras pymes. Para ello se evaluó por medio de encuestas y entrevistas como el impacto de la integración de estas tecnologías infieren en la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos de construcción.

El desarrollo de la investigación permitió reconocer las funcionalidades principales de la metodología Building Information Modeling, la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada y su contribución en la eficiencia operativa y la calidad de los proyectos constructivos. Tomando como base el análisis de resultados obtenidos por medio de la encuesta aplicada a las constructoras Pymes de Bogotá se pudo establecer que estas tecnologías innovadoras son instrumentos digitales que cooperan en la optimización de los procesos, en la gestión de información y en la coordinación entre áreas logrando esto cuando se implementa de forma ordenada desde fases iniciales del proyecto. De esta forma, los resultados permitieron posicionar la tecnología BIM como la herramienta con más impacto, mientras que la RV y RA como softwares complementarios que ayudan en la toma de decisiones al permitir visualizaciones anticipadas de la realidad del proyecto. Asimismo, los beneficios de estas tecnologías dependen con gran enfoque de la familiarización, la preparación inicial y continua del personal con estas tecnologías y el manejo adecuado de los problemas técnicos, lo anterior posibilita concluir que la implementación gradual y organizada da paso al aprovechamiento de todas las funcionalidades de estas tecnologías.

Por otro lado, se comparó a partir de un caso práctico, los resultados generados mediante BIM, RV y AR frente a los obtenidos con métodos tradicionales por medio de dos compañías pymes de la ciudad de Bogotá, una que emplea las tecnologías en sus prácticas diarias y otra que no, los resultados permitieron evidenciar que la empresa que usa BIM, RV y AR presenta mayor eficiencia operativa y calidad en los proyectos, debido a que el uso de estas herramientas genera un aporte en la reducción de costos y tiempo, gracias a que se puede cuantificar y detallar visualmente con mayor precisión los proyectos. Caso contrario de las constructoras que no

emplean las tecnologías, ya que se basan en modelos tradicionales que solo pueden visualizar los proyectos en dos dimensiones; por lo cual es común caer en reprocesos al no poder cuantificar con precisión y al no poder detectar errores en etapas tempranas, ocasionando que se genere aumento de costos y afectación en los cronogramas establecidos. De igual manera se pudo establecer que la experiencia de las empresas en el mercado juega un papel importante en el uso y adopción de tecnologías dado que a mayor nivel de madurez organizacional se posibilita la capacidad de inversión y la apertura a procesos de innovación.

Así mismo, se concluye que durante el análisis en las variaciones sobre eficiencias operativas y de calidad identificadas en la comparación de empresas constructoras pertenecientes al Pymes de Bogotá que aplican tecnologías como BIM, VR y AR y aquellas que se mantienen en métodos tradicionales en efecto la inmersión y migración hacia el tema digital se ha posicionado como un elemento fundamental para el desarrollo y crecimiento en el sector constructivo en la ciudad de Bogotá.

Las constructoras que implementan dichas herramientas tecnológicas definitivamente transforman sus procedimientos, obteniendo resultados muchísimo más eficientes en cuanto a optimización de materiales, planificación, desarrollo, disminución de tiempos y costos, lo que finalmente se evidencia en proyectos más confiables, mejor planificados y desarrollados en un ambiente totalmente controlado y optimo como debería ser en todo proyecto constructivo, manteniendo la esencia de la empresa y aportando un valor agregado significativo.

En caso contrario las pymes que sostienen practicas tradicionales enfrentan dificultades de mayor alcance en cuanto a errores, retrasos y sobrecostos limitando así su crecimiento en el mercado, siendo cada vez menos competitivos frente a las exigencias que cada vez son más rigurosas, ya que se basan en los estándares que ofrecen las tecnologías.

El tercer objetivo también logra determinar que la competitividad de las pequeñas y medianas constructoras de Bogotá no depende solamente de adoptar nuevas tecnologías, sino de que estas sean manejadas de forma correcta, que su integración dentro de la infraestructura de la empresa se lleve a cabo de forma correcta, de que el personal encargado pueda darle un uso coherente, haciendo valer su inversión. Por lo anterior, la comparación entre empresas que aplican y no estas herramientas, demuestra que es un proceso extenso y algo tedioso el poder capacitar el

personal, adecuar las instalaciones, modificar su funcionamiento y filosofías ya que este es el pilar más importante para poder obtener resultados favorables y diferenciales que realmente fortalezcan su competitividad y relevancia.

Finalmente, la presente conclusión al tercer objetivo contribuye con una visión crítica y fundamentada en cuanto al impacto que genera la adopción de nuevas tecnologías vanguardistas en el sector de la construcción colombiana, esto de formas más profundas a los beneficios inmediatos y superficiales, confirmando así que la migración a la digitalización genera oportunidades para transformar la cultura del sector, impulsando la competitividad. El presente hallazgo invita a la comunidad académica y a el congreso nacional a considerar que tanto están impactando realmente sus apoyos socioeconómicos en las necesidades de consolidar entornos que favorezcan adopción de tecnologías asegurando que los avances no se estanquen en ideas aisladas del pueblo, sino que logren convertirse en el impulso sostenible para el desarrollo del país.

Con base en los resultados del estudio y en coherencia con la pregunta de investigación y el objetivo general, El estudio ha concluido que la integración de las tecnologías BIM, VR y AR supone un auténtico cambio de paradigma en la manera en que las pymes del sector de la construcción gestionan la información, coordinan los procesos y controlan la calidad de los proyectos. La preeminencia de BIM como núcleo de la transformación digital de las pymes del sector de la construcción confirma su papel estratégico en las primeras fases del ciclo de vida del proyecto, especialmente en el diseño y la planificación, donde se concentra el mayor potencial de impacto positivo en la eficiencia operativa.

No obstante, también evidencian que la tecnología no es una palanca de mejora automática: la falta de formación, la baja familiaridad del personal y las dificultades técnicas limitan el aprovechamiento de estas herramientas, por lo que la conclusión es que su impacto es fruto de una adopción paciente, planificada y acompañada de procesos de gestión del cambio organizacional.

El contraste práctico entre una empresa que ejecuta proyectos con métodos tradicionales y otra que, apostando por el BIM, la VR y la AR, revoluciona la manera de hacer las obras para optimizar sus recursos y maximizar la rentabilidad pone de manifiesto las ventajas de la eficiencia operativa, especialmente en el área de compras. Las técnicas tradicionales se basan en la interpretación manual de planos, con el consiguiente riesgo de errores, sobrecostos y retrasos. No

obstante, el empleo de un modelo digital colaborativo permite hacer un recuento exacto, negociar basándose en datos y tener un mayor control tanto del presupuesto como del calendario. En este escenario, la experiencia y la madurez organizativas son también factores muy importantes, ya que facilitan la inversión, la estandarización de procesos y la apertura a la innovación, lo que ayuda a explicar en parte las diferencias que hay entre las dos empresas constructora.

Finalmente, un trabajo de campo ha puesto de manifiesto que las diferencias en eficiencia operativa y calidad no vienen dadas únicamente por el tipo de metodología empleada, sino también por la gestión de la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Las tecnologías BIM, VR y AR permiten un enfoque más predictivo, ya que facilitan la detección anticipada de errores, la mejora de la visualización y el refuerzo del control de la toma de decisiones, superando las limitaciones de los controles correctivos a posteriori de los métodos tradicionales.

En resumen, la transformación digital con BIM, VR y AR no es un proceso de erradicación simultánea del trabajo clásico en papel, sino una transición hacia métodos híbridos más eficientes, en los que la digitalización, el know-how técnico y la gestión organizativa se combinan para construir la calidad y la competitividad de los proyectos a un nivel superior y de forma sostenible.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda que para futuras investigaciones la población de muestreo tenga un mayor alcance tanto para las entrevistas como para las encuestas, esto con el fin de conocer mejor la percepción de las empresas constructoras pymes de la ciudad de Bogotá y así poder generar una investigación con mayor precisión y rigurosidad.

Adicionalmente se recomienda enfatizar en estudios que permitan determinar la evolución de la implementación de tecnologías BIM, AR y VR en constructoras a lo largo del tiempo, para poder evaluar como estas empresas enfrentan el nivel de madurez tecnológico y el impacto que se genera en los proyectos frente a costo, tiempo y calidad.

Referencias

- Gharaibeh, L., Matarneh, S., Lantz, B., & Eriksson, K. (2024). Quantifying the influence of BIM adoption: An in-depth methodology and practical case studies in construction. *Results In Engineering*, 23, 102555. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102555>
- Dena, A. J. G., Del Carmen García Hípola, M., & Bandera, C. F. (2024). Optimization testing for the modeling and characterization of three-dimensional elements to enhance interoperability from building information modeling (BIM) to building energy modeling (BEM). *Energy And Buildings*, 317, 114394. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114394>
- Alotaibi, B. S., Waqar, A., Radu, D., MKhan, A., Dodo, Y., Althoey, F., & Almujiabah, H. (2024). Building information modeling (BIM) adoption for enhanced legal and contractual management in construction projects. *Ain Shams Engineering Journal*, 102822. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102822>
- Liu, Y., Volk, R., & Zhang, J. (2021). Building Information Modeling: Advances and Challenges in the Construction Industry. *Journal of Civil Engineering*.
- Sacks, R., Pikas, E., & Perez, A. (2022). Virtual Reality and Augmented Reality in Construction: Opportunities and Challenges. *Engineering Project Management Review*.
- Zhang, H., Wang, L., & Zhou, M. (2023). Reducing Costs and Errors through Early Adoption of VR and AR Technologies in Construction. *Construction Science Journal*.
- Pacheco-Torres, R., Smith, J., & Fernández, C. (2021). Digital Transformation in the Construction Industry: IoT, Data Analysis, and Collaborative Tools. *International Journal of Project Management*.
- Pérez, A., López, A. (2021). Metodología BIM aplicada al entorno preventivo. <https://repositorio.upct.es/entities/publication/68cfa2ed-d191-4a56-a7d8-b31bebf6438d/full>

- Alsina Saltarén, 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>
- Zhou, W., Whyte, J., & Sacks, R. (2012). *Construction safety and digital design: A review. Automation in Construction*, 22, 102-111.
- Azhar, S. (2011). *Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241-252.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. John Wiley & Sons.
- Arayici, Y., & Coates, P. (2012). A system engineering perspective to knowledge transfer: a BIM case study. *Automation in Construction*, 22, 48-57.
- Becerik-Gerber, B., & Kensek, K. (2010). Building Information Modeling in architecture, engineering, and construction: Emerging research directions and trends. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 136(3), 139-147.
- Rogers, O. P., & Nadim, W. (2011). IT-based environmental innovation and its contribution to sustainable development. *Journal of Environmental Management*, 92(7), 1715-1720.
- Konstruedu. (s. f.). ISO 19650: ¿Cómo interpretar la parte 1 y 2? | Konstruedu. Konstruedu. <https://konstruedu.com/es/blog/iso-19650-como-interpretar-la-parte-1-y-2>
- BIM: el ahora, normatividad y avance en Colombia. (2021, 2 diciembre). BIM MANAGEMENT. <https://bimanagement.co/2021/12/02/bim-el-ahora-normatividad-y-avance-en-colombia/>
- Beaumont, R. (2020, 28 octubre). PAS 1192 & ISO 19650: ¿CÓMO FUNCIONA? <https://es.linkedin.com/pulse/pas-1192-iso-19650-c%C3%B3mo-funciona-roger-beaumont>

Organización y digitalización de la información en edificaciones y obras de ingeniería civil, incluyendo BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información usando BIM. Parte 5: Enfoque orientado a la seguridad en la gestión de la información. (2021, 15 septiembre). ICONTEC. <https://tienda.icontec.org/gp-organizacion-y-digitalizacion-de-la-informacion-en-edificaciones-y-obras-de-ingenieria-civil-incluyendo-bim-building-information-modelling-gestion-de-la-informacion-usando-bim-parte-5-enfoque-orientado-a-la-seguridad-en-la-gestion-de-la-informacion-ntc>

Hernández, R. y Mendoza, C. P. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill.

Pimienta, J., de la Orden, A. y Estrada, R. (2018). Metodología de investigación.

Kroon, N., do Céu Alves, M., Martins, I. (2021). *The impacts of emerging technologies on accountants' role and skills: Connecting to open innovation—a systematic literature review*. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 7(3), 163.

Studocu. (s. f.). Metodología Mixta- Investigación Mixta - 2 Marco Metodológico 2.5 Enfoque de la investigación El - Studocu. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-piloto-de-colombia/proyecto-integrados-a-la-investigacion/metodologia-mixta-investigacion-mixta/9164277>

Dupuis, A. (2024, 14 octubre). Fuentes de información primarias, secundarias y terciarias. Técnicas de Investigación. <https://tecnicasdeinvestigacion.com/fuentes-de-informacion-primaria-y-secundaria-y-terciaria/>

Stewart, L. (2024, 10 julio). Datos primarios: Definición, ejemplos y métodos de recogida. ATLAS.ti. <https://atlasti.com/es/research-hub/datos-primarios>

Estadística, P. Y. (2023, 11 noviembre). Muestreo probabilístico. Probabilidad y Estadística. <https://www.probabilidadyestadistica.net/muestreo-probabilistico/>

Parra, A. (2023, 7 febrero). Muestreo intencional. Características y ejemplos. QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/muestreo-intencional/>

- Ortega, C. (2023, 10 septiembre). Investigación con encuestas: Características y métodos. QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-con-encuestas/>
- ResumeHead. (2024, 27 mayo). Entrevistas Semiestructuradas: Guía Completa para 2024. CVzen. <https://cvzen.es/blog/entrevista-semiestructurada>
- Febres, D. (2024, 2 octubre). Métodos de investigación y contenido de la investigación: una guía completa | Atlantic International. Atlantic International University. <https://www.aiu.edu/es/metodos-de-investigacion-y-contenido-de-la-investigacion-una-guia-completa/>
- Pinzón Lemos, M. (2025, 5 de mayo). En Bogotá hay más de 93.000 compañías en la construcción, energía y economía circular. La República. <https://www.larepublica.co/empresas/en-bogota-hay-mas-de-93-000-companias-en-la-construccion-energia-y-economia-circular-4125796>
- Castillo Ruiz, Á. J., & Quevedo Yparraguirre, S. A. (2021). Análisis de la brecha digital en el uso de BIM en equipos de construcción. Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/20067>
- Succar, B. (2009). *Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*. Automation in Construction, 18. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580508001568?via%3Dihub>
- Carrizales Luján, E., & Ormeño Aranda, R. (2023). *Diferencias entre la calidad de información con procedimientos tradicionales y la metodología building information modeling para la elaboración de tres proyectos de edificaciones en la etapa de diseño* (Tesis de pregrado, Universidad Continental, Huancayo, Perú). Repositorio Institucional Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/14056>

Anexos

Anexo 1 Entrevista

Sesión	Nombre	Preguntas
1	Experiencias con la Implementación de Tecnologías	<p>¿Cuáles han sido sus experiencias más destacadas en la implementación de estas tecnologías?</p> <p>¿Podría describir algún proyecto en el que la implementación haya sido exitosa o haya enfrentado problemas?</p>
2	Diagnóstico de eficiencia operativa	<p>¿Cuánto tiempo suele invertir la empresa para realizar el despiece y cálculo de materiales de obra de un proyecto y como es el proceso de compra?</p> <p>¿Cómo se ha visto afectada la empresa cuando las cantidades compradas no coinciden con la realidad del proyecto?</p>
3	Barreras Organizacionales y Técnicas	<p>¿Qué barreras organizacionales ha encontrado en la adopción de estas tecnologías?</p> <p>¿Cuáles han sido los mayores desafíos técnicos?</p>
4	Percepción del Retorno de la Inversión a Largo Plazo	<p>¿Considera que la inversión en BIM, VR y AR ha valido la pena? ¿Por qué?</p> <p>¿Qué factores influyen en la decisión de su empresa para invertir más en estas tecnologías en el futuro?</p>

Anexo 2 Encuesta

Adopción de Tecnologías BIM, VR y AR en el Sector de la Construcción

Medir la adopción, el conocimiento y la percepción del impacto de las tecnologías BIM, VR y AR en las pequeñas y medianas empresas de construcción en Bogotá.

* Indica que la pregunta es obligatoria

Toda la información recolectada será usada exclusivamente para fines académicos, para poder continuar con el diligenciamiento de la encuesta se debe aceptar el tratamiento de los datos. *

Marca solo un óvalo.

- Acepto
 No acepto

1. Tamaño de la empresa (número de empleados). *

2. Años de experiencia en el sector de la construcción.

3. Rol o cargo en la empresa.

4. ¿Qué tecnologías ha implementado su empresa? (Seleccione todas las que apliquen) *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- BIM
 VR
 AR
 BIM, VR y AR combinadas
 Ninguna

5. ¿Hace cuánto tiempo adoptó su empresa estas tecnologías? *

Marca solo un óvalo.

- Menos de 1 año
- 1-3 años
- 4-6 años
- Más de 6 años
- No las ha adoptado

6. ¿En qué áreas de su empresa se utilizan estas tecnologías? *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- Diseño
- Planificación
- Gestión de proyectos
- Otros
- Ninguna

7. ¿Cuánto ha mejorado la eficiencia operativa desde la implementación de estas tecnologías? *

Marca solo un óvalo.

- No ha mejorado
- Ha mejorado ligeramente
- Ha mejorado moderadamente
- Ha mejorado significativamente
- Ha mejorado de forma extraordinaria

8. ¿Cómo ha afectado el uso de estas tecnologías a los costos operativos? *

Marca solo un óvalo.

- Han aumentado considerablemente
- Han aumentado ligeramente
- No ha habido cambios
- Han disminuido ligeramente
- Han disminuido considerablemente

9. ¿Qué porcentaje de su personal ha recibido capacitación en el uso de BIM, VR o AR? *

Marca solo un óvalo.

- 0-25%
- 26-50%
- 51-75%
- 76-100%

10. ¿Qué nivel de capacitación ha recibido el personal en el uso de BIM, VR o AR? *

Marca solo un óvalo.

- Ninguna capacitación
- Capacitación mínima
- Capacitación moderada
- Capacitación amplia
- Capacitación avanzada y continua

11. ¿Qué tan familiarizado está el personal con el uso práctico de estas tecnologías? *

Marca solo un óvalo.

- Expertos en el uso
- Muy familiarizado
- Moderadamente familiarizado
- Poco familiarizado
- Nada familiarizado

12. ¿Cuál es la principal barrera que ha encontrado su empresa para adoptar estas tecnologías? *

Marca solo un óvalo.

- Costos iniciales altos
- Resistencia al cambio
- Falta de capacitación
- Problemas técnicos
- Falta de apoyo de la alta dirección

13. ¿Qué nivel de resistencia al cambio ha percibido en la adopción de estas tecnologías? *

Marca solo un óvalo.

- Ninguna resistencia
- Baja resistencia
- Moderada resistencia
- Alta resistencia
- Resistencia extrema

14. ¿Qué dificultades técnicas ha enfrentado en la implementación de estas tecnologías? *

Marca solo un óvalo.

- Falta de compatibilidad con software existente
- Necesidad de hardware especializado
- Problemas con la integración de datos
- Falta de soporte técnico adecuado
- Ninguna dificultad técnica