

Parametrización de costos y duración en la construcción de una vivienda unifamiliar mediante la metodología BIM

Cesar David Garibello Gonzalez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Guillermo Mejía Aguilar

PhD en Ingeniería de la Construcción

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas
Escuela de Ingeniería Civil
Ingeniería Civil
Bucaramanga
2026

Agradecimientos

Gracias infinitas a mis padres Libia Gonzalez y Saul Garibello por su amor y apoyo en cada paso de mi carrera, siendo fundamental la crianza se mi madre para ser lo que soy como persona. Gracias por todo el esfuerzo que han empeñado en mí.

A mi director de grado el PhD Guillermo Mejía Aguilar y al ingeniero Johann Duque por su apoyo y guía para la realización de este trabajo de grado, aportando sus conocimientos, profesionalismo y calidad académica.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Objetivos	12
1.1 Objetivo General	12
1.2 Objetivos Específicos.....	12
1.3 Justificación	13
1.4 Alcances	15
2. Marco teórico	16
2.1 Revisión bibliográfica	18
3. Metodología	20
3.1 Implementación de la metodología BIM	22
4. Análisis y discusión de resultados.	24
4.1 Programación visual con Dynamo	26
4.2 Validación.	29
4.2.1 Objetivo de la validación.	29
4.2.3 Actividades	29
4.2.4 Variables a evaluar.....	30
4.2.5 Herramientas	30
4.2.6 Hipótesis	31
4.2.7 Ejecución de la prueba	31
4.3 Análisis de resultados de la validación	31

5. Conclusiones	33
6. Recomendaciones	36
Referencias Bibliográficas	38
Apéndices.....	41

Lista de Tablas**Pág.**

Tabla 1: Ciclo de rigor.	20
Tabla 2: Ciclo de relevancia.	21
Tabla 3: Ciclo de diseño.	21

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Árbol de causas y consecuencias.	14
Figura 2: Ciclos de la metodología de la ciencia del diseño.	18
Figura 3: Planos arquitectónicos.....	22
Figura 4: Modelo integrado 3D vivienda unifamiliar.....	23
Figura 5: Ejemplo de producción diaria h-cuadrilla.....	24
Figura 6: Parámetros de instancia creados: costo elemento, estado, fecha, tiempo de construcción.	25
Figura 7: Diagrama de flujo programación Dynamo.....	26
Figura 8: Resumen ejecutivo Power BI.....	28
Figura 9: Gráfica de resultados validación. Escala de Likert.	32

Lista de Apéndices

Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional.

Apéndice A. Planos Arquitectónicos y Estructurales.

Apéndice B. EDT y Presupuestos.

Apéndice C. Modelo Integrado (Revit).

Apéndice D. Plantilla para Cargar Información de Costo, Tiempo y Estado.

Apéndice E. Automatización Dynamo Asignar Costo de Construcción.

Apéndice F. Automatización Dynamo Asignar Estado del Elemento.

Apéndice G. Automatización Dynamo Asignar Tiempo de Construcción.

Apéndice H. Resumen Ejecutivo (Power BI).

Apéndice I. Transcripción de Retroalimentación.

Apéndice J. Cronograma.

Resumen

Título: Parametrización de costos y duración en la construcción de una vivienda unifamiliar mediante la metodología BIM. *

Autor: Cesar David Garibello Gonzalez**

Palabras Clave: Building Information Modeling, parametrización de costos, vivienda unifamiliar, Design Science, Revit.

Descripción: El sector de la edificación residencial en Colombia, enfrenta de manera sistemática desafíos asociados a sobrecostos, retrasos y deficiencias en la coordinación interdisciplinaria, para mitigar estas problemáticas, este proyecto plantea un servicio técnico de modelado avanzado bajo metodología BIM 5D dirigido a optimizar la planeación a cargo de ingenieros civiles. La solución consiste en la parametrización integral de costos y duraciones para una vivienda unifamiliar típica de un piso. Metodológicamente, la investigación adopta el enfoque de Design Science, el cual se despliega en tres fases: rigor (validación teórica y consulta con expertos para definir rendimientos reales), relevancia (identificación de necesidades del entorno y normatividad local) y diseño (generación del modelo paramétrico en Revit). Este proceso da como resultado un modelo BIM 5D optimizado y una metodología estandarizada y replicable para proyectos similares. La validación demuestra ventajas competitivas clave como la automatización de estimaciones y la reducción de reprocesos, reconociendo a su vez limitaciones asociadas a la curva de aprendizaje tecnológica y la disponibilidad de datos de entrada.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar. PhD en Ingeniería de la Construcción

Abstract

Title: Cost and Duration Parameterization in the Construction of a Single-Family House Using the BIM Methodology.*

Author: Cesar David Garibello Gonzalez.**

Key Words: Building Information Modeling, cost parameterization, confined masonry, single-family house, Design Science, Revit

Description: The residential building sector in Colombia systematically faces challenges associated with cost overruns, delays, and deficiencies in interdisciplinary coordination. To mitigate these issues, this project proposes an advanced technical modeling service under the BIM 5D methodology, aimed at optimizing planning managed by civil engineers. The solution consists of the comprehensive parameterization of costs and durations for a typical single-story single-family home. Methodologically, the research adopts the Design Science Research approach, which is deployed in three phases: rigor (theoretical validation and expert consultation to define actual productivity rates), relevance (identification of environmental needs and local regulations), and design (generation of the parametric model in Revit). This process results in an optimized BIM 5D model and a standardized, replicable methodology for similar projects. The validation of the service demonstrates key competitive advantages, such as the automation of estimations and the

* Degree Work

**Faculty of Physico-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Guillermo Mejía Aguilar. PhD in construction project management.

reduction of rework, while simultaneously acknowledging limitations associated with the technological learning curve and input data availability.

Introducción

En el marco global de la construcción, la optimización de recursos, tiempos y costos se ha convertido en un eje central para mejorar la competitividad y sostenibilidad del sector, impulsada por la necesidad de eficiencia y reducción de la incertidumbre financiera. En este sentido, la metodología Building Information Modeling (BIM) ha emergido como una herramienta disruptiva: investigaciones recientes demuestran que el uso de modelos matemáticos y análisis de regresión lineal permite establecer relaciones de costos precisas (Mantoro, 2018), mientras que la presupuestación paramétrica ha logrado reducciones importantes en costos y tiempos de planificación (Vrbka, 2019). Sin embargo, en el contexto colombiano la adopción de estas tecnologías aún se encuentra en una etapa temprana, predominando métodos tradicionales de estimación que suelen derivar en márgenes de error elevados y falta de coordinación técnica.

El sector de la construcción en Colombia representa un pilar estratégico para la economía nacional, generando cerca de un millón de empleos directos (Rivera, 2025). No obstante, según la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV), aplicada por el DANE en el año 2024, arroja que el acceso a vivienda propia sigue siendo bastante limitado; solo el 36.9% de los hogares habita en una vivienda propia; frente a un 40.4% que se ve en la obligación de recurrir a viviendas en modalidad de arriendo (DANE, 2025a). Esta situación está relacionada, en parte, con el incremento sostenido de los precios de las viviendas nuevas. El índice de Precios de la Vivienda Nueva (IPVN) del IV semestre del 2024 registró una variación anual del 9.07%, y el análisis del desempeño del sector en ese mismo año mostró que la mano de obra representó el 20.4% de los costos totales de

construcción (con una variación anual del 8.2%) y los materiales el 50.7% (con un aumento del 1.91%) (Rivera, 2025). Todos estos incrementos, sumados a problemas recurrentes en la obra, como lo son la falta de coordinación entre disciplinas, los sobre costos, demoras y dificultades en el mantenimiento, evidencian la necesidad de implementar metodologías que permitan una gestión más eficiente de los proyectos.

Así pues, el propósito que se plantea para esta investigación consta de diseñar y validar un servicio técnico de modelado bajo metodología BIM 5D. De forma integral, se hace uso de una metodología complementaria: Design Science Methodology, esta nos permite organizar el trabajo de investigación en tres ciclos: *el ciclo de relevancia, el ciclo de rigor y el ciclo de diseño*, apoyándose en herramientas informáticas y de modelado como Revit, Dynamo, Excel, Power Bi y Microsoft Project. Con todo esto, se espera conseguir una metodología replicable para proyectos muy pequeños de construcción como viviendas unifamiliares de un piso. Mediante la implementación de un modelo 5D en Revit. Se limitará el análisis de una vivienda que consta de un piso con datos de construcción de 2024-2025 sin considerar tendencias previas ni proyecciones posteriores. Para lograr ello, se establecen los objetivos específicos descritos a continuación:

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Parametrizar los costos y duración de construcción de una vivienda unifamiliar mediante el uso de la metodología BIM.

1.2 Objetivos Específicos

- Analizar el costo y tiempo de ejecución de una vivienda unifamiliar de un piso.
- Diseñar una metodología para la parametrización de los costos y tiempos de construcción de una vivienda unifamiliar en un modelo Revit 5D.
- Validar la metodología identificando los beneficios y limitaciones para ser aplicados en viviendas unifamiliares.

1.3 Justificación

A nivel internacional, investigaciones recientes han logrado avances significativos en la optimización de procesos constructivos, especialmente en la predicción de costos y duración en la construcción de viviendas unifamiliares. Entre estas metodologías destacan modelos matemáticos y análisis de regresión lineal para establecer relaciones de costos basadas en parámetros significativos del proyecto (Mantoro, 2018b). Asimismo, la presupuestación paramétrica implementada en programas de modelado de la información (BIM), donde se consigue reducir costos y tiempos en la presupuestación de proyectos (Vrbka, 2019b). Sin embargo, en Colombia el desarrollo y aplicación de nuevas metodologías aun es insuficiente. La industria de la construcción continúa apoyándose de métodos tradicionales, lo que puede generar márgenes de error altos.

Como se mencionó anteriormente, el sector de la construcción en Colombia enfrenta un escenario de encarecimiento sostenido, reflejado en el comportamiento del IPVN y en el peso significativo que representa la mano de obra y los materiales dentro de los costos totales, mientras que el acceso a la vivienda propia continua siendo limitado (DANE, 2025a).

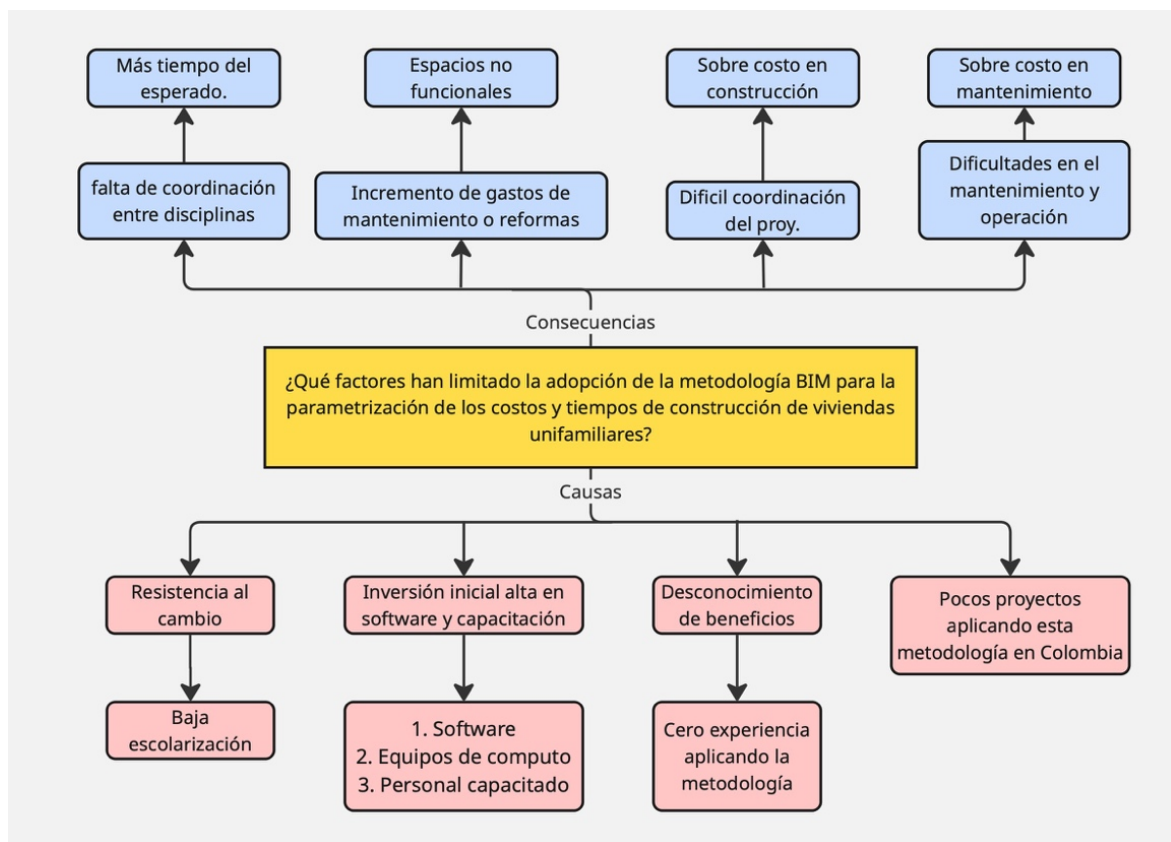
Esta tendencia puede atribuirse, en parte al incremento en los precios en las viviendas nuevas, lo que ha llevado a que muchas familias opten por el arriendo como alternativa. En este contexto, resulta esencial mejorar la eficiencia y controlar los costos de construcción para facilitar el acceso a la vivienda.

En la industria de la construcción, los proyectos enfrentan diferentes dificultades que generan sobre costos y demoras durante su ejecución (Portilla, 2024). Estos incrementos en los

costos de construcción, sumados a los problemas recurrentes en obra evidencia la necesidad de contar con herramientas que permitan una gestión más precisa de costos y tiempos. Adicionalmente, el árbol de causas y consecuencias presentado *figura 1* se construyó a partir de fuentes académicas y sectoriales sobre las barreras de adopción de BIM en Colombia y Latinoamérica.

Entre las causas, la resistencia al cambio, el desconocimiento de beneficios y la inversión inicial en software y la capacitación han sido identificados como barreras recurrentes en el sector (Viveros Luna, 2024; Camacol, 2020). Entre las consecuencias, los sobre costos (Almanza-Castillo y Cadavid-Rojas, 2021) y la falta de coordinación interdisciplinarias (Ramírez-Escalona y Sandoval-Fernández, 2024) figuran entre los factores más determinantes.

Figura 1: *Árbol de causas y consecuencias.*



Teniendo en cuenta la estrategia nacional BIM 2020-2026, impulsada por el ministerio de vivienda el departamento nacional de planeación que establece para el año 2026 la implementación en el 100% de los proyectos de infraestructura pública utilicen BIM como estándar, con el fin de mejorar la eficiencia de recursos y reducir al menos un 10% el costo operacional, la implementación de un modelo 5D de BIM se presenta como una solución eficaz para integrar de forma simultánea los datos de costos y tiempos de construcción en el modelo tridimensional, automatizando la estimación de costos y tiempos de ejecución y minimizando los errores en la ejecución de la obra (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2020).

Surge la pregunta de investigación, ¿Cómo podemos parametrizar los costos y duración de construcción de una vivienda unifamiliar de un piso con la construcción de un modelo 5D que pueda ser replicable, mediante el uso de la metodología BIM?

1.4 Alcances

Teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos y tiempo para lograr los objetivos, se plantea adaptar la gestión de la información usado en BIM acorde a lo reglamentado en el contexto colombiano, para el estudio de las variables costo y tiempo de construcción de una vivienda unifamiliar típica, esperando conseguir una metodología replicable para proyectos muy pequeños de construcción de viviendas de mampostería confinada de un piso. Mediante la implementación de un modelo 5D en Revit. Se limitará el análisis a una casa unifamiliar de un único piso, el análisis se concentrará en datos de construcción de 2024-2025 sin considerar tendencias previas ni proyecciones posteriores. También se tiene en cuenta múltiples limitaciones como la dificultad del acceso a la información al no ser de acceso público como lo son presupuestos de obra, planos de obra civil y de igual manera el conocimiento limitado del uso de la herramienta Revit, la cual permite la incorporación de modelos de múltiples disciplinas las cuales no corresponden a la

carrera de ingeniería civil como lo son el diseño de redes eléctricas o no estudiadas como las redes hidrosanitarias.

2. Marco teórico

A continuación, se presentan los conceptos básicos requeridos para comprender el desarrollo de este proyecto.

•**Building Information Modeling (BIM):** Es una metodología de trabajo colaborativo para la creación de gestión de un proyecto de construcción. El objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todas disciplinas necesarias (BuildingSMART Spain, 2025). Desde el año 2020 se ha venido trabajando en Colombia la implementación de la metodología BIM y tiene el objetivo para el 2026 sea ley su incorporación en los proyectos públicos (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2020).

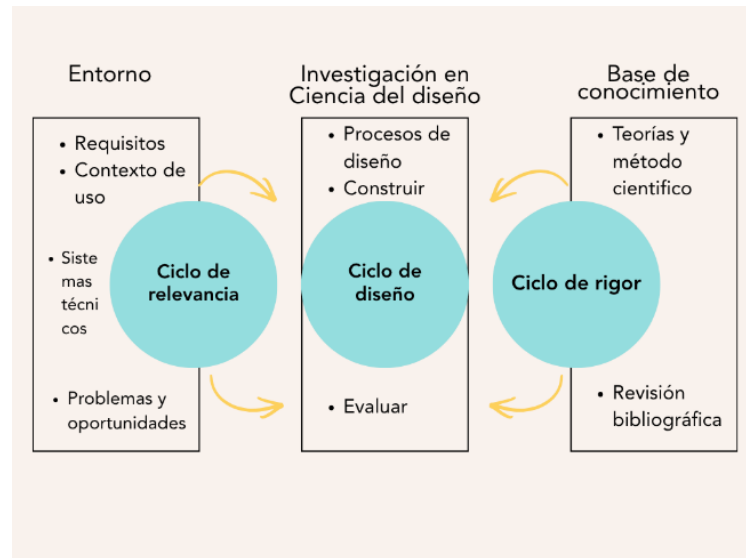
Tipos de procesos BIM

- 2D:** Diseño tradicional de planos.
- 3D:** Incorpora información geométrica.
- 4D:** Esta es la variable de tiempo, la cual se agrega al modelo, controlando las dinámicas de la ejecución del proyecto de infraestructura.
- 5D:** Esta es la variable de costos, se definen las cantidades y los gastos que se van en la ejecución.
- 6D:** Incorpora datos de sostenibilidad y desempeño energético.
- 7D:** Incluye manuales de operación, cronogramas de mantenimiento garantías y datos de rendimiento.

•**Estandarización:** De acuerdo con la IEEE señala que los estándares son documentos que establecen especificaciones técnicas y procedimientos, y comprende la estandarización como el proceso de elaboración y mantenimiento de dichos estándares para apoyar la innovación, la interoperabilidad y seguridad tecnológica (IEEE Standards Association [IEEE SA], 2021).

•**Ciclo de vida del proyecto:** Para una buena gestión de proyectos es necesario comprender su ciclo de vida, es decir, las etapas secuenciales que van desde la concepción hasta el cumplimiento de la vida útil del proyecto, y que proporcionan una ruta para su gestión (Hansen et al., 2018). En construcción, este ciclo puede dividirse genéricamente en cinco etapas: prefactibilidad, factibilidad, diseño, construcción y operación/mantenimiento. La propuesta presentada en este trabajo aborda los procesos correspondientes a las etapas tempranas del proyecto, cuyos resultados se espera implementar en etapas posteriores.

•**Design Science Methodology:** La metodología de la ciencia del diseño plantea tres ciclos: *el ciclo de relevancia, el ciclo de rigor y el ciclo de diseño*. La infiltración de los enfoques de design thinking en el proceso de investigación de la ciencia del diseño apoya aún más el desarrollo de un artefacto adecuado. Si bien esta metodología es ampliamente usada en el diseño de software, sus ciclos se pueden aplicar en múltiples campos como la ingeniería ya que contempla los pasos básicos para el desarrollo de cualquier producto tangible o intangible (Robles et al., 2019).

Figura 2: Ciclos de la metodología de la ciencia del diseño.

Nota: La figura es adaptada de Robles et al. (2019).

Tipos de ciclos de la metodología de la ciencia del diseño:

•**Ciclo de relevancia:** Consiste en una revisión de las necesidades del mercado y del contexto de uso, para definir los requisitos del proyecto.

•**Ciclo de rigor:** Búsqueda exhaustiva de información con relación de soluciones previas y el conocimiento técnico necesario para llevarlas a cabo.

•**Ciclo de diseño:** Construcción y evaluación de posibles soluciones.

2.1 Revisión bibliográfica

Con el fin de recopilar información acerca de la metodología BIM aplicado en el caso de planificación, diseño, construcción y gestión viviendas unifamiliares a nivel internacional, se hace una búsqueda en la base de datos Scopus. Teniendo en cuenta palabras como “BIM”, “Building Information Modeling”, “single family home” en la ecuación de búsqueda.

Si bien esta búsqueda nos arrojó pocos resultados en la aplicación de viviendas unifamiliares, los resultados obtenidos ayudan a visibilizar algunas de las aplicaciones específicas de BIM en el proceso constructivo, como lo son:

- Proceso de automatización y sostenibilidad: la metodología BIM puede ser integrada con otras metodologías como el Análisis del Ciclo de Vida (LCA) para evaluar impactos ambientales y optimizar el uso de materiales sostenibles. Por ejemplo, se han desarrollado marcos específicos para analizar emisiones de carbono y eficiencia energética en viviendas unifamiliares (Caspee et al., 2019)
- Gestión de proyectos: en la Universidad de Río de Janeiro, ingenieros han utilizado en conjunto herramientas como Revit y Navisworks para mejorar la comunicación entre las partes interesadas y así reducir errores y optimizar la planificación en proyectos de viviendas unifamiliares (Oliveira et al., 2025)
- Integración con IoT: la combinación de BIM con este tipo de sensores IoT (Internet of Things) permite monitorear condiciones como temperatura y presión en tiempo real, mejorando la eficiencia energética y el confort en viviendas unifamiliares (Borkowski, 2024)

La metodología BIM ofrece un enfoque integral y eficiente para la construcción de viviendas unifamiliares, mejorando la colaboración, sostenibilidad y gestión del ciclo de vida. Sin embargo, la información disponible sobre su implementación en este tipo de entorno es limitada, ya que la investigación existente se centra en viviendas modulares y edificios habitacionales de mediano y gran tamaño, con mayor desarrollo en países fuera de Sudamérica. Según Salinas y Prado (2019), los referentes mundiales en estándares y normativas BIM son Estados Unidos, Reino Unido y Singapur, mientras que en Sudamérica solo Brasil y Chile lideran su implementación

desde el sector público; en Argentina, en cambio, el estándar surgió desde el sector privado con participación pública. Esta brecha regional se atribuye principalmente a la falta de formación adecuada en BIM, factor que constituye un obstáculo importante para su adopción generalizada (Alvarez & Ripoll-Meyer, 2020).

3. Metodología

Este proyecto de grado busca adaptar la gestión de la información usado en BIM acorde a lo reglamentado en el contexto colombiano, para el estudio de las variables costo y tiempo de construcción de una vivienda unifamiliar de un solo piso, esperando conseguir una metodología replicable para proyectos muy pequeños de construcción de viviendas de mampostería confinada de un piso. Para lograr lo planteado se emplea la metodología de Design Science centrada en tres etapas: *ciclo de rigor*, *ciclo de relevancia* y *ciclo de diseño*. Se definen los objetivos, actividades, métodos y resultados esperados correspondiente a cada ciclo en las tablas 1, 2 y 3, respectivamente.

Tabla 1: *Ciclo de rigor.*

OBJETIVO	ACTIVIDAD	MÉTODO	RESULTADO
Analizar el costos y tiempo de ejecución de una vivienda unifamiliar en mampostería confinada en Bucaramanga.	Consultar fuentes de información.	Revisión bibliográfica.	Estructura desglosada de trabajo (EDT)

Para esta etapa de “ciclo de rigor”, se realiza una revisión sistemática en bases de datos y conocimiento anterior para que dichos hallazgos contribuyan y faciliten la generación de requerimientos necesarios para la realización del proyecto.

Tabla 2: *Ciclo de relevancia.*

OBJETIVO	ACTIVIDAD	MÉTODO	RESULTADO
Diseñar una metodología para la parametrización de los costos y duración de construcción de una vivienda unifamiliar en un modelo Revit 5D	Modelar en 3D.	Modelado en Revit (integración del diseño arquitectónico y estructural).	Modelo 3D Revit integrado.
	Definir los parámetros de instancia de costo y tiempo, y automatizar su carga en el modelo mediante programación visual.	Creación de parámetros de instancia (tiempo y costo) y automatización con Dynamo.	Modelo 5D de Revit.

Para el “ciclo de relevancia”, se analiza el estado actual para la construcción de la vivienda unifamiliar, con el fin de definir los requisitos y requerimientos de ley que deben ser aplicables en este proyecto, las variables y parámetros a medir; los elementos diferenciadores de este trabajo de grado.

Tabla 3: *Ciclo de diseño.*

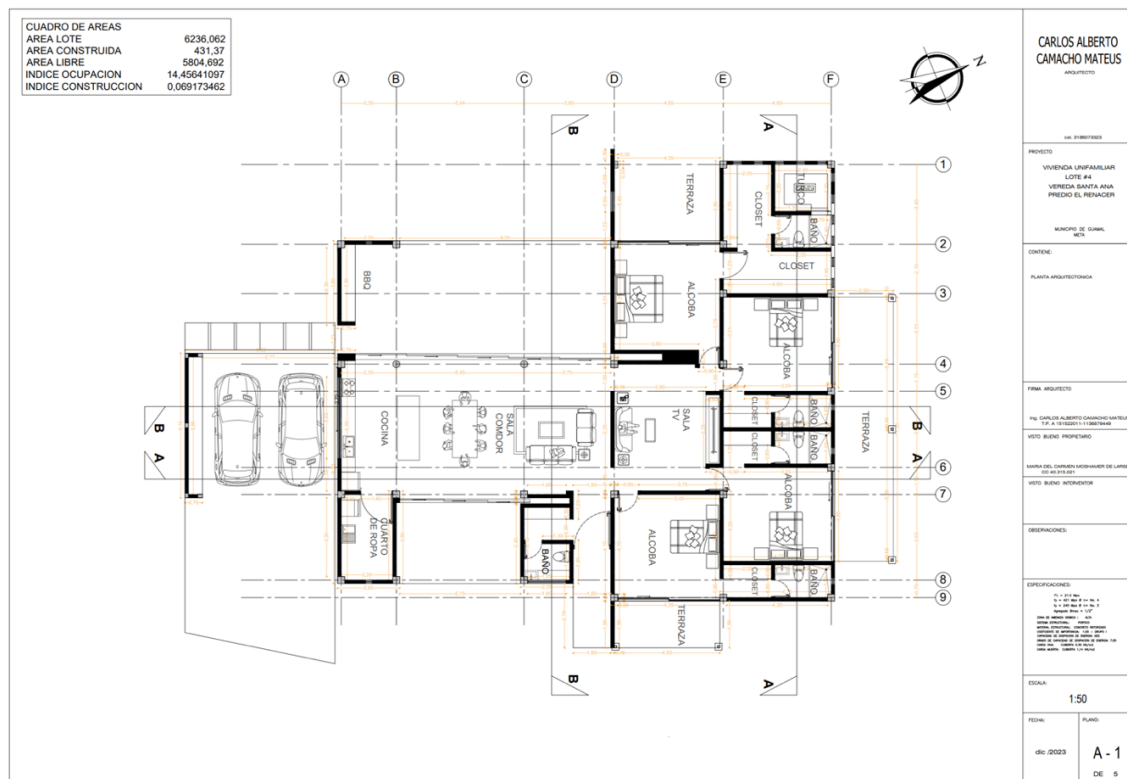
OBJETIVO	ACTIVIDAD	MÉTODO	RESULTADO
Validar la metodología identificando los beneficios y limitaciones para ser aplicados en viviendas unifamiliares.	Validar metodología.	Consulta con expertos usando una metodología Delphi adaptada.	Listado de ventajas y limitaciones.

En el “ciclo de diseño”, se realiza la construcción del modelado de una vivienda de un piso en el software Revit junto con el uso de la metodología BIM, cumpliendo con los parámetros establecidos en el ciclo anterior.

3.1 Implementación de la metodología BIM

Para dar inicio al ciclo de diseño, se parte desde la obtención de planos 2D de una vivienda unifamiliar, que nos brindan la información arquitectónica (*figura 3*) e información estructural (planos completos ver adjunto en el [apéndice A](#)). Estos planos se obtuvieron mediante la facilitación del arquitecto Carlos Alberto Camacho. Sobre planos la vivienda está comprendida por un área construida de 431,37 m², distribuidos en cuatro alcobas, cinco baños, cocina, sala, comedor, cuarto de ropas, sala TV, dos terrazas, zona bbq y un garaje.

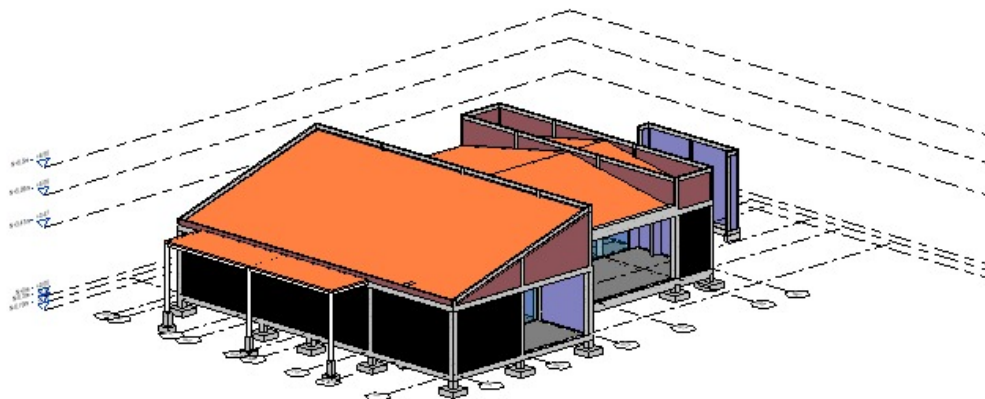
Figura 3: Planos arquitectónicos.



Nota: Elaboración de los planos por el arquitecto Carlos Alberto Camacho.

A partir de esta información, se da inicio al proceso de modelado 3D a través del software Autodesk Revit, en el cual se realiza un modelo integrado que incluye diseño estructural y arquitectónico en uno solo debido a la complejidad del proyecto, facilitando el monitoreo de este teniendo en cuenta que estos proyectos son monitoreados por un único ingeniero (*figura 4*).

Figura 4: *Modelo integrado 3D vivienda unifamiliar.*



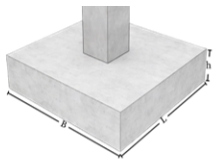
Este modelo integrado (ver adjunto en el [apéndice C](#)) tiene como objetivo optimizar el control de la obra al integrar los costos y tiempos de construcción asociados a cada elemento estructural de la edificación. La carga de estos datos se automatiza mediante el uso de programación visual en Dynamo, vinculando la información almacenada en una plantilla de Excel directamente con el modelo BIM. Para calcular el costo de cada componente, se emplearon Análisis de Precios Unitarios (APU) obtenidos de la base de datos de ConstruData. En cuanto a los tiempos de ejecución, se recurrió a los Libros de Rendimiento de Obra, seleccionando los rendimientos correspondientes a los elementos necesarios como lo son: zapatas, pedestales, columnas, vigas de cimentación, vigas aéreas y mampostería. Para el cálculo del tiempo se adoptó la unidad de medida hora/cuadrilla, la cual está compuesta por un oficial y tres obreros.

4. Análisis y discusión de resultados.

Este proyecto parte de la premisa de que la construcción de una edificación de un solo piso, al ser una obra de menor escala, permite implementar un control semanal con pagos basados en el avance ejecutado. Por lo tanto, para el análisis del tiempo de construcción, se propone estructurar un listado detallado con las tareas requeridas para la ejecución de cada elemento estructural, Asimismo, se define la cantidad de elementos a realizar por jornada y se establece una unidad de medida unificada para los rendimientos, trabajando con una cuadrilla tipo (1X3). De este modo, a partir de la literatura técnica y contrastándola con la experiencia de ingenieros, se ajustan los rendimientos para realizar la equivalencia desde la unidad convencional de Horas-Hombre ($h-H$) hacia una unidad común de Horas-Cuadrilla (h -cuadrilla), como se propone en la (figura 5).

Figura 5: Ejemplo de producción diaria h -cuadrilla.

PRODUCCIÓN DIARIA					
TIPO		ZT-T1	DIMENSIONES		
CANTIDAD		4	L (m)	1	
CUADRILLA		(1X3)	B (m)	1	
			h (m)	0.3	
ID	TAREA	CANTIDAD	UN	RENDIMIENTO $h-H$	h -CUADRILLA
t1	Soldado	4.0	m ²	4.0	1.3
t2	Acero de refuerzo	103.7	kg	0.1	0.02
t3	Formateado	4.0	mL	0.8	0.3
t4	Vaciado (5% desperdicio)	1.3	m ³	10.3	3.4
t5	Desformateado	4.0	mL	0.8	0.3
DURACIÓN TOTAL REDONDEADA A DÍAS				2.0	
RENDIMIENTO				0.50	



Para la determinación de los costos del proyecto se empleó el Análisis de Precios Unitarios (APU), estructurado en función de los entregables de la obra. En el caso de zapatas, pedestales y columnas, dado que presentan dimensiones repetitivas según el diseño y usualmente no superan los tres o cuatro tipos en este tipo de edificaciones, se categorizaron y presupuestaron directamente por unidad (UN). Por el contrario, elementos como las vigas de cimentación, vigas aéreas y muros se cuantificaron por metro lineal (ML) y metro cuadrado (m²), respectivamente. Debido a que la geometría de estos componentes varía en cada eje de la vivienda, elaborar un APU detallado para

cada variación geométrica resultaría metodológicamente complejo; por lo tanto, esta limitación se solucionó mediante una rutina de automatización desarrollada en Dynamo. De este modo, utilizando la plantilla creada en Excel (ver adjunto en el [apéndice D](#)), se extrae el costo unitario del elemento calculado en el APU; al activar la automatización, esta información se carga en el modelo y se multiplica por la longitud, en el caso de las vigas, o por el área, en los muros. Como resultado, se obtiene el valor total de cada elemento, el cual se puede visualizar tanto en Revit como en Power BI de forma sencilla. Esto permite monitorear eficientemente el avance de la obra y, al mismo tiempo, presentar los resultados de manera clara al propietario del proyecto.

Para incorporar la información de costos y tiempo en el modelo de Revit, se definieron parámetros de instancia (*figura 6*). La selección de esta configuración se fundamentó en la revisión bibliográfica la cual señala que permite modificar las propiedades de cada elemento de manera individual sin alterar los demás componentes del mismo tipo. Esta condición es esencial para el proyecto ya que, debido a la variabilidad geométrica (como en el caso de las vigas que presentan diferentes longitudes), el costo y el tiempo de producción varían de forma independiente. Los elementos vinculados bajo estos parámetros de instancia corresponden a zapatas, pedestales, vigas de cimentación, columnas, vigas aéreas y muros.

Figura 6: *Parámetros de instancia creados: costo elemento, estado, fecha, tiempo de construcción.*

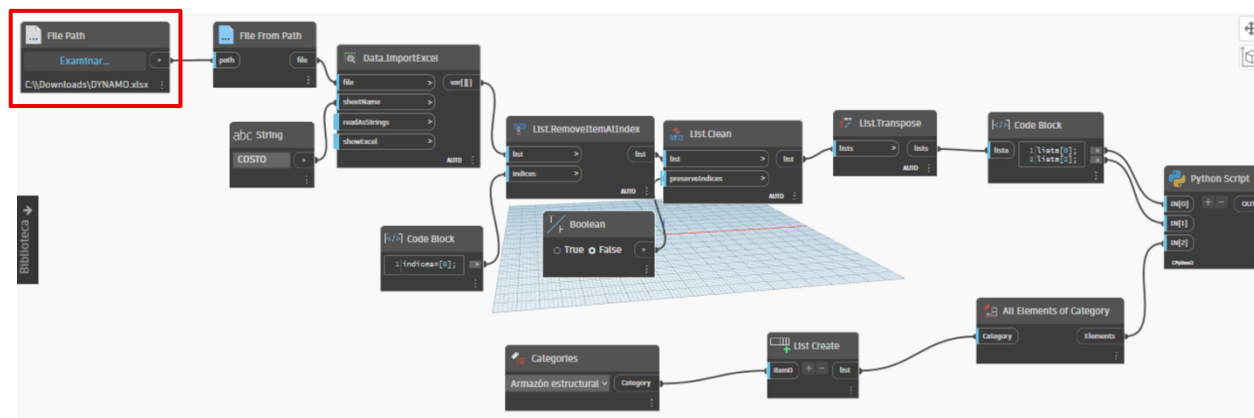
Datos de identidad		⬆
Imagen		
Comentarios		
Marca	124	
Tiene asociación	☐	
Costo Elemento	919692.00	
Estado	Pagado	
Fecha	9/5/2026	
Tiempo de cons...	11.000 h	

4.1 Programación visual con Dynamo

Posterior a la definición de los parámetros de instancia, se empleó el entorno de programación visual Dynamo con el propósito de automatizar la carga de datos en el modelo. Para ejecutar este procedimiento, se estructuró previamente una base de datos en una hoja de cálculo de Excel, la cual contiene la información costos, tiempo y estados correspondientes a cada elemento estructural. (ver adjunto en el [apéndice D](#)).

A continuación, en Dynamo se utiliza la librería de Revit en donde se selecciona el bloque “File Path” para poder binocular la base de datos de Excel con Revit ver figura 7, que se ubica a través de la ruta Import/Export >File system > File Path, , se añade el bloque “File from path” por medio de esta misma ruta (convierte esa ruta de texto en un objeto de archivo que Dynamo puede abrir. Es el conector entre la ruta y los nodos que procesan archivos).

Figura 7: Diagrama de flujo programación Dynamo.



Como siguiente paso, se agrega el bloque “Data.ImportExcel” siguiendo la ruta Import/Export > Data > Import Excel, esto nos permite recibir el archivo, el nombre de la hoja de cálculo, la opción de leer como texto y devuelve una lista de listas (filas x columnas), en este caso, se explicará el desglose de la programación para la hoja de “COSTOS”. El bloque “Code block” nos ayuda a

construir el índice que le dice al siguiente nodo cuál fila eliminar (en este caso, la primera, que contiene el encabezado). Y “Boolean False” es el complemento que indica a “code block” que los valores no deben leerse como texto sino como números.

En la limpieza de la lista, se añade el bloque “List.RemoveItemAtIndex” para quitar el primer elemento de la lista y que solo queden los datos; “List.Clean” elimina los valores vacíos o nulos que pueden existir; “List.Transpose” rota la estructura de filas y columnas o viceversa para crear una lista individual.

El bloque “Python Script” recibe tres entradas (IN[0], IN[1], IN[2]); los datos de Excel y los elementos de Revit, aquí se escribe el código Python personalizado para cruzar la información de Excel con los elementos de los parámetros y asignarles el valor de costo correspondiente.

Los bloques “Categories” son menús desplegables que nos permiten seleccionar una categoría del modelo de Revit. “List.Create” une las dos categorías en una sola lista para procesarlas juntas y finalmente, “All Elements of Category” recopila todos los elementos del modelo que pertenecen a todas las categorías seleccionadas (muros y suelos).

Este proceso de repite continuamente con cada hoja de cálculo (estado y tiempo), además de implementarse en cada categoría como muros, suelos, cimentación estructural, armazón estructural, etc... (ver adjunto en los [apéndices](#) E, F y G).

Es importante destacar que las automatizaciones en Dynamo para la gestión de costos fueron programadas bajo las unidades de medida propuestas en este proyecto; es decir, tomando el costo por metro lineal (ML) para vigas y por metro cuadrado (m²) para muros y pisos. En caso de requerir un cambio en las unidades de medida de los APU, se deberá modificar directamente el código Python del script. Por el contrario, los elementos como zapatas, pedestales y columnas reciben únicamente el valor total del componente, dado que su cuantificación se definió por unidad (UN).

Para concluir el flujo de trabajo, se utiliza Power BI con el objetivo de visualizar los indicadores principales (figura 8): la duración y el costo total del proyecto. Se seleccionó esta plataforma debido a que, mediante la extensión Speckle, permite interactuar dinámicamente con la estructura en 3D, facilitando la selección de elementos de manera individual o por tipologías. Asimismo, permite aplicar filtros interactivos para visualizar los elementos pagados semana a semana y monitorear el avance de la obra . (ver adjunto en el [apéndice H](#)).

Figura 8: Resumen ejecutivo Power BI.



En resumen, la metodología propuesta se consolida en el siguiente orden:

1. Planificación: Se calculan los tiempos de construcción y costos directos.
2. Estructuración: Se carga la información de costo, duración y estado en la plantilla de Excel.
3. Parametrización en BIM: Una vez terminado el modelo en Revit, se crean los parámetros de instancia obligatorios: Costo Elemento, Estado, Fecha y Tiempo de construcción, cuyos nombres deben coincidir exactamente con las variables del código.
4. Automatización: Desde el Reproductor de Dynamo, se ejecutan las rutinas denominadas Asignar costo de construcción, Asignar tiempo de construcción y Asignar estado del elemento; esta última marca el componente como pagado y registra la fecha de la transacción.
5. Visualización: El ciclo finaliza con la exportación de los datos y el control gráfico del proyecto en Power BI.

4.2 Validación.

4.2.1 Objetivo de la validación.

Evaluar la metodología, identificando los beneficios y limitaciones de gestión de la información para ser aplicados en viviendas unifamiliares de un piso, se le proporciona al participante los entregables necesarios para la actividad bajo la metodología BIM. Esto a través de una comparación de experiencias previas y posteriores de los participantes.

4.2.3 Actividades

- Se socializa la plantilla de Excel para que el participante pueda cargar la información necesaria como el tiempo de construcción de cada elemento.
- Se le entrega el modelo de Revit y se explican los elementos generales del modelo como su distribución, se le explican aspectos fundamentales como que los nombres

de los elementos (tipo) deben coincidir con los nombres puestos en la plantilla de Excel para poder ejecutar la automatización en Dynamo y así poder cargar la información al modelo. Para finalizar, se visualiza la presentación en Power BI que resume de forma sencilla el costo del proyecto general y de forma interactiva permite visualizar el costo de cada elemento que selecciones, además de poder visualizar los elementos que se van pagando semanalmente en la obra.

- **Aplicación de cuestionario:** se le pide al participante evaluar mediante una escala de Likert (puntuación de 1 a 5) si bajo su percepción, la metodología es replicable, fácil de implementar y clara. Adicionalmente, se recopilan sugerencias y posibles mejoras que los participantes consideren relevantes para optimizar su experiencia.

4.2.4 Variables a evaluar

Replicabilidad de la metodología y facilidad de implementación, claridad en la metodología: variable de tipo cualitativa ordinal (escala de Likert).

4.2.5 Herramientas

- **Plantilla de Excel:** se carga la información de costos y tiempos de construcción
- **Código en Dynamo:** se ejecuta el código en Dinamo para cargar la información al modelo
- **Power Bi:** se visualiza de forma dinámica la información de los costos, tiempos de construcción y el avance de la obra con elementos pagados.
- **Encuesta en Google Forms:** se evalúa la percepción de la metodología, mejoras y sugerencias.

4.2.6 Hipótesis

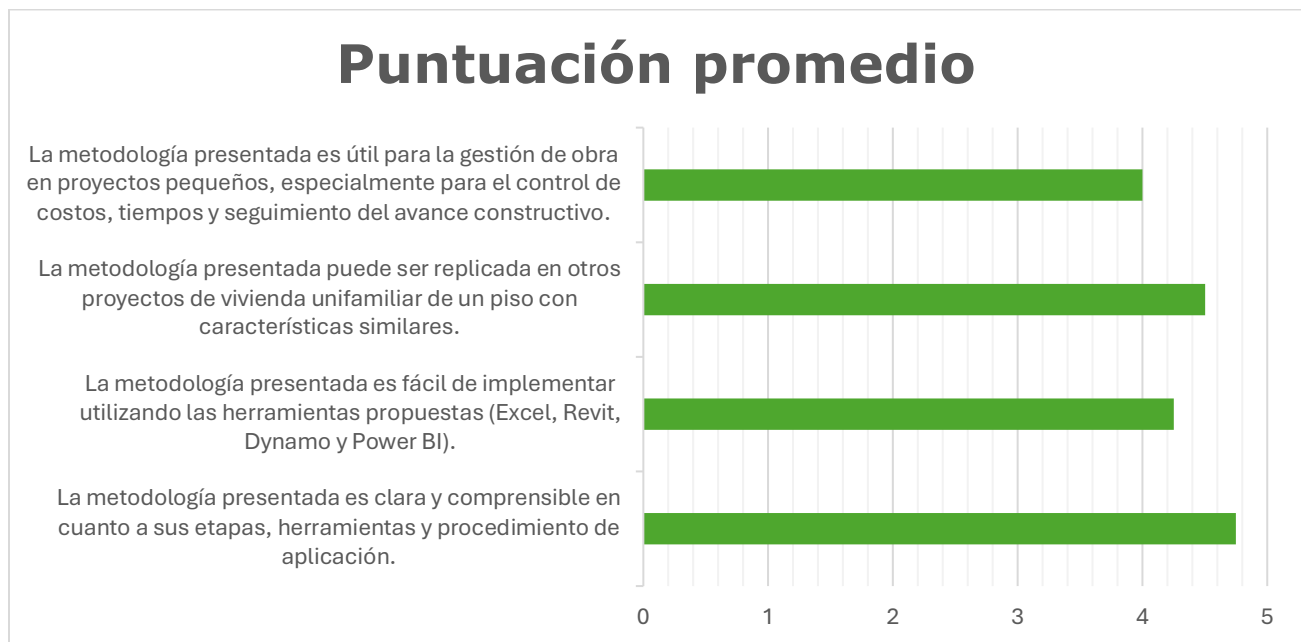
- **Hipótesis nula:** no genera una percepción favorable en términos de replicabilidad, facilidad de implementación y claridad de la metodología.
- **Hipótesis alternativa:** genera una percepción favorable en términos de replicabilidad, facilidad de implementación y claridad de la metodología.

4.2.7 Ejecución de la prueba

Se llevaron a cabo pruebas organizadas en tres momentos clave, mediante la conformación de un grupo focal compuesto por profesionales en ingeniería civil. La sesión inició con una breve presentación orientada a proporcionar a los participantes el contexto general del proyecto, así como el objetivo de esta evaluación y la duración estimada de la actividad. Posteriormente, se expuso el proceso metodológico en el que está fundamentado el proyecto, cómo se ejecuta la automatización de Dynamo y para finalizar, se demostraba el resumen ejecutivo realizado en Power Bi. Al concluir este segundo momento, se procedió con la aplicación de la encuesta correspondiente permitiendo tener una valoración integral acerca de la experiencia de uso de la metodología y retroalimentación de los participantes.

4.3 Análisis de resultados de la validación

Para evaluar la percepción técnica y la viabilidad de la herramienta propuesta, se aplicó una encuesta para la recolección de datos de la prueba a un grupo de 5 ingenieros civiles. Las repuestas fueron puntuadas utilizando una escala de Likert de 1 a 5 (donde 1 corresponde a totalmente en desacuerdo, 3 neutral y 5 totalmente de acuerdo). Los resultados obtenidos se consolidan en la siguiente tabla:

Figura 9: *Gráfica de resultados validación. Escala de Likert.*

En el primer criterio, los usuarios encuestados coincidieron en que la estructura metodológica, la secuencia de etapas y la definición de las herramientas son altamente comprensibles. El segundo criterio ratifica uno de los objetivos específicos del proyecto: la estandarización; los participantes perciben que el flujo de trabajo diseñado es lo suficientemente robusto y flexible como para ser transferido y aplicado a otros proyectos de viviendas unifamiliares de un piso. Esto confirma que la herramienta propuesta trasciende el caso de estudio particular. En el tercer criterio, aunque la puntuación sigue siendo positiva, representa un sutil descenso en comparación con los dos anteriores, se asocia de forma directa con la naturaleza de los ecosistemas de los softwares empleados (Excel, Revit, Dynamo y Power Bi). La combinación de múltiples plataformas y el uso de programación visual (Dynamo) introducen una percepción de complejidad, lo cual se alinea con la limitación identificada previamente en la investigación de este proyecto respecto a la curva de aprendizaje en el gremio. Finalmente, en el cuarto criterio, los participantes

validan que la metodología aporta un valor real y necesario para el control de costos y tiempos en proyectos de pequeña escala (viviendas unifamiliares de un piso).

En términos generales, la metodología propuesta recibió buena aceptación, manteniendo los criterios evaluados en un rango superior a 4,0. Los resultados demuestran que el desarrollo de esta herramienta responde de manera efectiva a las necesidades identificadas, ofreciendo a los ingenieros civiles una alternativa viable, clara y replicable para mitigar los sobrecostos y retrasos en la edificación residencial.

5. Conclusiones

En el desarrollo de este proyecto, con base al proceso de investigación, desarrollo de la metodología y retroalimentación de los participantes en el proceso de validación, se ha podido llegar a las siguientes conclusiones:

- Se concluye que, en cuanto al análisis de costos, es fundamental precisar que el valor obtenido de 288'578.000 de pesos no resulta directamente comparable con el presupuesto de referencia, debido a que este proyecto fue concebido y estructurado para ser ejecutado por un maestro, y no bajo el esquema tradicional de una empresa constructora con una estructura administrativa, técnica y de personal más amplia. Esta diferencia en el modelo de ejecución implica particularidades propias de las obras de pequeña escala, tales como la medición de los rendimientos, en lugar de rendimientos estandarizados por cuadrillas especializadas de mayor tamaño, así como una organización más flexible y directa de los recursos, propia de la forma en que un maestro de obra, planifica y controla su proyecto. Por lo anterior, la diferencia entre el costo obtenido y el presupuesto de referencia no debe interpretarse como una inconsistencia o error en la parametrización, sino como el reflejo

de dos escenarios de ejecución distintos, cada uno con su propia lógica de costos y de organización del trabajo. Esto brinda la posibilidad de que la herramienta desarrollada sirva como una ayuda para el maestro de obra y el propietario de la casa para hacer el seguimiento del avance de la obra, para el cual no suele existir una herramienta de gestión y seguimiento como la desarrollada en este trabajo.

- La integración de Power BI como herramienta complementaria constituye un acierto crítico para la viabilidad del servicio propuesto. Los profesionales de la ingeniería civil validaron de forma acertada su adopción, destacando su alta adopción en el mercado laboral actual y su capacidad de democratizar el acceso a la información técnica. Esta plataforma no solo facilita una interacción dinámica en tiempo real con los indicadores del modelo, sino que transforma bases de datos complejas en tableros de control visuales. Sin embargo, no fue posible vincular directamente el cronograma del proyecto para simular gráficamente en Power BI la secuencia constructiva de la obra, dado que esta integración requiere un manejo avanzado de la herramienta y el uso de bases de datos relacionales que excedían el alcance temporal de este trabajo de grado.
- El desarrollo del modelo en Revit y la automatización mediante Dynamo demostraron que el proceso de carga de información puede reducirse de horas a minutos, permitiendo estructurar proyectos residenciales de forma detallada y accesible. Adicionalmente, la capacidad del modelo para la detección temprana de interferencias y errores estructurales antes de la ejecución física representa un mecanismo valioso para mitigar sobre costos y retrasos en la obra civil. No obstante, el uso de herramientas de programación visual como Dynamo sigue siendo un campo poco explorado en el ejercicio profesional local, lo que resalta la oportunidad de que la academia lidere la transferencia de estas metodologías de

automatización hacia la industria, respondiendo a su necesidad de optimizar flujos de trabajo, reducir tiempos de diseño y garantizar la rentabilidad de los proyectos.

- Finalmente, se concluye que el objetivo general de parametrizar los costos y tiempo de construcción de una vivienda unifamiliar mediante la metodología BIM fue alcanzado satisfactoriamente. La integración de las herramientas Revit, Dynamo, Excel y Power BI permitió consolidar un modelo BIM funcional, en el cual los parámetros de instancia (Costo Elemento, Estado, Fecha y Tiempo de construcción) posibilitan la actualización automatizada y el seguimiento del avance de obra. La validación realizada con un grupo focal de 5 ingenieros civiles, cuyos resultados se mantuvieron en un rango superior a 4.0 en la escala de Likert para los cuatro criterios evaluados (claridad, facilidad de implementación, replicabilidad y utilidad), confirma que la metodología propuesta no solo es aplicable al caso de estudio, sino que constituye una herramienta replicable para proyectos similares. No obstante, este proceso también permitió identificar limitaciones importantes para su adopción, como la curva de aprendizaje asociada al uso combinado de múltiples plataformas de software y la calidad de los datos de entrada (presupuestos de referencia, rendimientos de obra) y el hecho que el modelo parametriza únicamente costos directos, sin incluir los costos indirectos de administración, imprevistos y utilidad (AIU), aspectos que deberán abordarse en futuras investigaciones para fortalecer la escalabilidad y adopción de esta metodología en el sector de la construcción residencial en Colombia.

6. Recomendaciones

Con base en el desarrollo del proyecto y la experiencia obtenida durante su implementación, se identifican las siguientes oportunidades de mejora para futuras versiones o aplicaciones de esta metodología:

- En cuanto al código desarrollado en Dynamo, este fue diseñado bajo las unidades de medida propuestas específicamente para este proyecto (unidad para zapatas, pedestales y columnas; metro lineal para vigas; metro cuadrado para muros y pisos), por lo que las operaciones de cálculo dependen de esa configuración predefinida. Se recomienda generalizar la programación para que el script identifique automáticamente la unidad registrada en la plantilla de Excel y ejecute la operación correspondiente sin necesidad de modificar el código Python ante cada cambio de unidad, así como consolidar las tres rutinas actuales (Asignar costo de construcción, Asignar tiempo de construcción y Asignar estado del elemento) en un único script. Esto permitiría una automatización más adaptable a distintos tipos de proyectos y criterios de cuantificación, sin depender de una configuración fija.
- En la visualización desarrollada en Power BI, se identificó la aparición de información fantasma cuando no hay ningún elemento seleccionado en el modelo: el cuadro que muestra las dimensiones muestra valores que únicamente deberían aparecer cuando seleccionó un elemento, y el cuadro de (precio elemento) presenta un valor promedio calculado sobre la totalidad de los elementos, en lugar de permanecer vacío. Se recomienda ajustar la configuración del tablero para que estos campos únicamente desplieguen información cuando el usuario haya seleccionado un elemento específico del modelo, evitando así confusiones en la interpretación de los datos.

- Finalmente, se recomienda incorporar en la presentación de Power BI la secuencia constructiva del proyecto dado que esta información es importante para el monitoreo y control de obra. Actualmente el modelo permite el seguimiento de costo y tiempo por elemento, pero no refleja el orden lógico ni las dependencias entre actividades constructivas, lo cual limita su utilidad como herramienta de planeación y seguimiento integral del avance de obra.
- Es importante resaltar que la metodología propuesta presenta como principal limitación la ausencia de una actualización automática y en tiempo real entre las distintas plataformas empleadas, dado que corresponden a herramientas desarrolladas por diferentes empresas cuya interoperabilidad depende de procesos de sincronización manual. En consecuencia, para garantizar la consistencia de la información y evitar errores en los resultados, es necesario seguir un orden específico de actualización: en primer lugar, mantener organizada y actualizada la información de costo, tiempo y estado del proyecto en el archivo de Excel; en segundo lugar, verificar en Revit que la plantilla de Excel con la que se está trabajando se encuentre correctamente vinculada de acuerdo con la ubicación de almacenamiento en la que fue guardada; en tercer lugar, cada vez que se realice una modificación en la plantilla de Excel, se debe volver a ejecutar la automatización correspondiente en el reproductor de Dynamo; en cuarto lugar, cargar la información actualizada del modelo de Revit a la extensión de Speckle cada vez que este sea modificado; y, finalmente, hacer clic en el botón de actualización (Refresh) de Power BI para que el tablero refleje los datos más recientes. El cumplimiento riguroso de esta secuencia es indispensable para asegurar la trazabilidad y coherencia de la información a lo largo de todo el flujo de trabajo BIM.

Referencias Bibliográficas

- Almanza-Castillo, L. V., y Cadavid-Rojas, R. A. (2021). Principales factores causales del sobre costo en proyectos de construcción colombianos: Una consulta a profesionales del sector [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional RIUCaC. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/3e815911-6bac-411e-8354-4fc6ae241941>
- Alvarez, A. A., & Ripoll-Meyer, M. V. (2020). Propuesta para la implementación de la metodología BIM en una experiencia áulica orientada a la sustentabilidad edilicia. *Revista Hábitat Sustentable*, 32-43. <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.03>
- Borkowski, A. S. (2024). Low-Cost Internet of Things Solution for Building Information Modeling Level 3B—Monitoring, Analysis and Management. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 13(2), 19. <https://doi.org/10.3390/jsan13020019>
- Camacol. (2020). Encuesta BIM Latam 2020. Cámara Colombiana de la Construcción. <https://camacol.co/sites/default/files/ENCUESTA%20BIM%20LATAM%202020.pdf>
- Caspeepe, R., Taerwe, L., & Frangopol, D. M. (Eds.). (2019). *Life cycle analysis and assessment in civil engineering: Towards an integrated vision*. CRC Press. International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, Boca Raton London New York Leiden.
- DANE. (2025a). *Encuesta nacional de calidad de vida (ECV) 2024* (Boletín Técnico COM-070-PDT-001-F-002 V18; p. 28). Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- DANE. (2025c). *Índice de precios de la vivienda nueva (IPVN) IV trimestre 2024*. (Boletín Técnico COM-070-PDT-001-F-002 V18; p. 18). Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

- Departamento Nacional de Planeación. (2020, noviembre). Estrategia Nacional BIM 2020-2026 [Presentación]. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Estrategia-Nacional-BIM-2020-2026.pdf>
- Mantoro, T. (Ed.). (2018a). *2018 4th International Conference on Computing, Engineering, and Design: ICCED 2018: Bangkok, Thailand, 6-8 September 2018: proceedings*. IEEE. International Conference on Computing, Engineering, and Design, Piscataway, NJ.
- Mantoro, T. (Ed.). (2018b). *2018 4th International Conference on Computing, Engineering, and Design: ICCED 2018: Bangkok, Thailand, 6-8 September 2018: proceedings*. IEEE. International Conference on Computing, Engineering, and Design, Piscataway, NJ.
- Oliveira, T. R. D., Tam, V. W. Y., Chaer, I., Boer, D., Haddad, A., & Najjar, M. K. (2025). Construction informatics and BIM to empower informed decisions in project management. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 1-16. <https://doi.org/10.1680/jensu.24.00161>
- Portilla, O. (2024). *Índice de definición de proyectos de vivienda de interés social incluyendo parámetros de BIM y sostenibilidad ambiental*. [Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander]. (Pag 12). <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/15616>
- Ramírez-Escalona, M. C., y Sandoval-Fernández, C. E. (2024). Factores que inciden en la planificación y control de obras civiles. *Revista Tecnocientífica URU*, (26), 77-98. <https://revistas.fondoeditorial.uru.edu/index.php/tecnocientificauru/article/download/625/pdframirezysandoval2024/1884>
- Rivera, M. (2025, febrero 4). Perspectivas del sector de la construcción en Colombia: Cierre 2024 y proyecciones 2025. *Capital Inteligente*.

<https://www.bancolombia.com/empresas/capital-inteligente/actualidad-economica-sectorial/perspectivas-sector-construccion-colombia>

- Robles Sandoval, S., Vásquez Carvajal, H., y Naranjo-Zeledón, L. (2019). Adaptación de la metodología de ciencia de diseño en el desarrollo de luminarias. *Tecnología Vital*, 2(6), 74-79.
- Salinas, J., & Prado, G. (2019). Building information modeling (BIM) to manage desing and construction phases of Peruvian public projects = Building information modeling (BIM) para la gestión del diseño y construcción de proyectos públicos peruanos. *Building & Management*, 3(2), 48. <https://doi.org/10.20868/bma.2019.2.3923>
- Viveros Luna, M. F. (2024). Propuesta de manual de implementación BIM para la micro y pequeña empresa constructora colombiana [Trabajo de grado de maestría, Pontificia Universidad Javeriana Cali]. Vitela Repositorio Institucional. <https://doi.org/10.71618/9sfm-pj53>
- Vrbka, M. (2019a, junio 20). *ACCURACY OF PARAMETRICALLY DETERMINED PRICE OFFER FOR LOW-ENERGY AND PASSIVE FAMILY HOUSES*. 19th SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference EXPO Proceedings. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/6.2/S27.043>
- Vrbka, M. (2019b, junio 20). *Accuracy of parametrically determined price offer for low-energy and passive family houses*. 19th SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference EXPO Proceedings. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/6.2/S27.043>

Apéndices

Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional.