

**MODELO DE INCORPORACIÓN A LA METODOLOGÍA BIM EN LA PARAMETRIZACIÓN DE
LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL RURAL DEL ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE
COLOMBIANO**

Santiago Ramirez Niño



Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2026

**MODELO DE INCORPORACIÓN A LA METODOLOGÍA BIM EN LA PARAMETRIZACIÓN DE
LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL RURAL DEL ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE
COLOMBIANO**

Santiago Ramírez Niño

C.C. 1.016.061.310

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Arquitecto

Profesor Arq. Andrés Fernando Almario Zamudio



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia, Bogotá D.C.

2026

Tabla de Contenido

Resumen.....	4
Abstract.....	6
Introducción.....	8
Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos.....	13
Planteamiento del problema.....	14
Pregunta Problema.....	16
Árbol Problema.....	17
Justificación.....	18
Hipótesis.....	20
Marco Referencial.....	22
Marco teórico.....	28
Metodologías Participativas y Saberes Locales en Arquitectura.....	30
Sostenibilidad y Uso de Recursos Locales en Vivienda.....	31
Viabilidad Técnica y Prefactibilidad Económica.....	32
Marco Conceptual.....	34
Autogestión del Hábitat.....	35
Prefactibilidad Técnica.....	35
Antecedentes.....	37
Marco contextual.....	39
Marco Normativo.....	43
Introducción general.....	43
Campo de aplicación y principios normativos.....	44
Requerimientos de información aplicables.....	45
Ciclo de vida de la información.....	46
Ambiente común de datos (CDE).....	46
Competencias y capacidades del equipo.....	47
Metodología.....	49
Introducción.....	49
Objetivo.....	50
Resumen.....	50
Fortalezas comunes (síntesis y potencial para BIM).....	51
Oportunidades.....	53
Debilidades y amenazas (síntesis crítica).....	54
Desarrollo del proyecto y modelo metodológico BIM.....	55
Enfoque metodológico.....	56
Estructura metodológica del proyecto.....	57

Fase 1: Recolección y sistematización de información.....	57
Fase 2: Diagnóstico técnico-constructivo.....	58
Fase 3: Estructuración del modelo metodológico BIM.....	59
Implementación en modelo BIM real (Revit).....	60
Construcción del modelo digital.....	60
Parametrización del modelo.....	61
Coordinación y simulación.....	62
Fase de validación del modelo.....	62
Resultados esperados.....	63
Resultados Esperados por Tipología.....	64
Eficiencia Modular en la Tipología Lineal-Alargada (VRSA1).....	65
Resolución de Complejidad en la Tipología en L (VRSL1).....	65
Garantía Bioclimática en la Tipología Compacta (VRSC1).....	66
Sostenibilidad Logística en las Tipologías Territoriales y Unifamiliares (VRST1 y VRSU1).....	66
Diagnóstico.....	67
Validación.....	68
Conclusiones.....	69
Recomendaciones.....	70
Implementación institucional del CDE en programas de vivienda rural.....	70
Fortalecimiento de la fiscalización normativa mediante automatización digital.....	70
Integración del presupuesto BIM 5D con variables topográficas del terreno.....	71
Capacitación técnica apoyada en modelos digitales de alta definición.....	71
Transferencia tecnológica y apropiación del modelo por parte del usuario final.....	72
Bibliografía.....	73
Anexos.....	76

Resumen

La vivienda de interés social rural en Colombia constituye un componente fundamental para la reducción de brechas territoriales y la calidad de vida de las comunidades campesinas. No obstante, los procesos de planificación, diseño y construcción de este tipo de vivienda continúan enfrentando limitaciones técnicas, económicas y organizativas que afectan su eficiencia constructiva y la calidad final de las edificaciones. En el altiplano Cundiboyacense, estas dificultades se acentúan debido a condiciones climáticas, dispersión territorial y limitaciones en la transferencia de conocimiento técnico hacia los procesos constructivos locales.

En este contexto, la investigación propone el desarrollo de una metodología constructiva que articule los lineamientos instaurados por la “Política Pública de vivienda de interés social rural” con herramientas de gestión digital basadas en la metodología BIM (Building Information Modeling Management). Esta aproximación busca integrar información técnica, indicadores normativos y procesos constructivos en un sistema paramétrico que permita mejorar la planificación, coordinación y ejecución de proyectos de vivienda rural.

El estudio parte de la identificación de problemáticas presentes en la etapa constructiva estructural de la vivienda social rural, tales como deficiencias en la planificación técnica, sobrecostos derivados de errores constructivos, baja estandarización de procesos y limitada transferencia de conocimiento entre diseñadores, constructores y beneficiarios. Según el “Banco agrario de Colombia” estas condiciones generan retrasos en la ejecución de proyectos y reducen la eficiencia del uso de recursos públicos destinados a programas de vivienda rural.

Como respuesta a estas problemáticas, la investigación plantea estrategias de implementación de la metodología BIM que permitan estructurar un sistema de gestión de información aplicable al diseño y construcción de tipologías de vivienda rural. Este modelo permitirá parametrizar

componentes constructivos, optimizar procesos de planificación y mejorar la coordinación entre los distintos actores involucrados en el desarrollo del proyecto.

Finalmente, el trabajo propone el desarrollo de una cartilla metodológica aplicada a las tipologías de vivienda social rural del altiplano Cundiboyacense, que funcione como herramienta técnica para orientar procesos de diseño, planificación y construcción. La validación de esta metodología se realizará mediante estudios de caso o simulaciones aplicadas, con el objetivo de demostrar su viabilidad como instrumento para mejorar la calidad constructiva, optimizar el uso de recursos y fortalecer la apropiación de la vivienda por parte de sus habitantes.

Abstract

The rural social housing sector in Colombia constitutes a fundamental component in reducing territorial inequalities and improving the quality of life of rural communities. However, the planning, design, and construction processes associated with this type of housing continue to face technical, economic, and organizational limitations that affect construction efficiency and the final quality of the buildings. In the Cundiboyacense Highlands, these difficulties are intensified by climatic conditions, territorial dispersion, and limited transfer of technical knowledge to local construction processes.

In this context, the research proposes the development of a construction methodology that articulates the guidelines established by the “Public Policy for Rural Social Housing” with digital management tools based on the BIM (Building Information Modeling) methodology. This approach seeks to integrate technical information, regulatory indicators, and construction processes into a parametric system aimed at improving the planning, coordination, and execution of rural housing projects.

The study begins with the identification of issues present during the structural construction stage of rural social housing, such as deficiencies in technical planning, cost overruns resulting from construction errors, low process standardization, and limited knowledge transfer among designers, builders, and beneficiaries. According to the Banco Agrario de Colombia, these conditions generate delays in project execution and reduce the efficiency of public resources allocated to rural housing programs.

As a response to these challenges, the research proposes implementation strategies for the BIM methodology that enable the structuring of an information management system applicable to the design and construction of rural housing typologies. This model will allow the parameterization of construction components, the optimization of planning processes, and the improvement of

coordination among the different stakeholders involved in project development.

Finally, the study proposes the development of a methodological guide applied to rural social housing typologies in the Cundiboyacense Highlands, functioning as a technical tool to guide design, planning, and construction processes. The validation of this methodology will be carried out through case studies or applied simulations, with the objective of demonstrating its feasibility as an instrument to improve construction quality, optimize the use of resources, and strengthen residents' appropriation of their housing.

Introducción

La vivienda de interés social rural (VISR) en Colombia constituye uno de los retos más significativos en términos de ordenamiento territorial, equidad social y desempeño estructural. A lo largo del tiempo, las intervenciones habitacionales en contextos rurales han evidenciado una marcada diferencia frente al desarrollo urbano, reflejada en la dispersión geográfica de los proyectos, el incremento de costos no previstos, las limitaciones logísticas y la escasa articulación entre los planteamientos técnicos formulados desde entidades centralizadas y su ejecución real en territorio. Como respuesta a esta situación, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT), a través de la Resolución 0410 de 2021, formuló el “Documento Técnico de Parametrización del Subsidio Familiar de Vivienda Rural (SFVR)”, estableciendo prototipos habitacionales adaptados a las condiciones bioclimáticas y socioculturales de distintas regiones del país, especialmente en el altiplano cundiboyacense.

No obstante, la implementación de lineamientos normativos y tipologías arquitectónicas estandarizadas no garantiza por sí misma la eficiencia constructiva ni la resiliencia estructural de las viviendas ejecutadas en territorio. La materialización de la VISR en el altiplano cundiboyacense enfrenta constantemente problemáticas asociadas a la limitada capacitación técnica de la mano de obra local y a la informalidad presente en los procesos de autoconstrucción asistida. Esta brecha técnica ocasiona desviaciones relevantes respecto a los requerimientos establecidos por la Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10), afectando la estabilidad estructural de las edificaciones ante eventos sísmicos y disminuyendo considerablemente su vida útil. De igual manera, los métodos tradicionales de supervisión y cubicación convencional han resultado insuficientes para controlar dichos riesgos en contextos rurales con alta dispersión geográfica.

Ante esta problemática, la presente investigación plantea un Modelo de Incorporación a la

Metodología BIM (Building Information Modeling) orientado a la parametrización y fiscalización digital de la vivienda de interés social rural en el altiplano cundiboyacense, en concordancia con los estándares internacionales definidos por la norma NTC-ISO 19650:2021 y la Estrategia Nacional BIM impulsada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP). La propuesta metodológica busca superar el uso convencional del modelado tridimensional (BIM 3D), transformando el modelo digital en un repositorio paramétrico dinámico o Gemelo Digital ("TWIN"). Este enfoque posibilita integrar simultáneamente requerimientos de información alfanumérica asociados al Nivel de Necesidad de Información (LOIN), el seguimiento temporal de procesos constructivos (BIM 4D), la proyección y control de costos (BIM 5D) y criterios de sostenibilidad ambiental (BIM 6D).

La viabilidad operativa y la capacidad de control del modelo se consolidan mediante el diseño automatizado de Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs) y matrices de verificación técnica que relacionan directamente los títulos normativos de la NSR-10 con las geometrías de las tipologías definidas por el MVCT. A través de herramientas de programación visual y la centralización de la información en un Ambiente Común de Datos (CDE), la metodología permite auditar con precisión el comportamiento de diversos sistemas constructivos, incluyendo mampostería confinada tradicional (Título D), pórticos en concreto, sistemas industrializados de panelería prefabricada en seco, estructuras metálicas conformadas en frío (Título F) y alternativas de identidad regional como la Guadua estructural (Título G).

Para alcanzar este nivel de control preventivo previo a la ejecución en obra, la investigación profundiza en la parametrización detallada de cada prototipo habitacional establecido por el MVCT. En la Tipología Lineal-Alargada (VRSA1), el gemelo digital se enfoca en la modulación precisa de la mampostería confinada mediante el indicador de Eficiencia de Modulación y Desperdicio (EMD); en este caso, las familias de Revit limitan los espesores de junta entre 10 mm y 12 mm y automatizan el uso de piezas especiales, reduciendo la necesidad de cortes

empíricos en sitio y garantizando la densidad mínima de muros exigida por el Capítulo E.2 frente a esfuerzos de cortante sísmico.

Por otro lado, la Tipología en L (VRSL1) requiere una parametrización avanzada de su sistema estructural (ICPA) bajo un nivel de desarrollo LOD 400. Al definir los quiebres geométricos de muros y cubiertas, el modelo permite detectar automáticamente interferencias críticas y controlar longitudes de gancho, traslapes y confinamiento de estribos conforme al Título D, reforzando la estabilidad de nodos estructurales y uniones críticas de limatesas frente a posibles improvisaciones durante el proceso constructivo.

En relación con la Tipología Compacta (VRSC1), el enfoque se orienta hacia la industrialización y el desempeño higrotérmico. Mediante el Índice de Conformidad Geométrica (ICGD-NSR10), se parametrizan paneles prefabricados de concreto controlando excentricidades verticales inferiores a 20 mm, mientras que los datos alfanuméricos de transmitancia térmica se integran a simulaciones energéticas (BIM 6D) con el propósito de garantizar condiciones adecuadas de confort pasivo frente a las bajas temperaturas características del altiplano.

las Tipologías Territoriales (VRST1) y Unifamiliares (VRSU1), concebidas para escenarios de alta dispersión y terrenos inclinados, incorporan una parametrización dinámica enfocada en el ciclo de vida del acero (IEDP e IECV-Acero). El modelado automatiza el anidamiento de perfiles metálicos conformados en frío para disminuir el desperdicio estructural a rangos inferiores al 5%, vinculando simultáneamente las variaciones geométricas de cimentación con el presupuesto (BIM 5D) en tiempo real, evitando así afectaciones económicas sobre el subsidio estatal. Como alternativa sostenible, también se contempla la parametrización de Guadua Estructural, regulando digitalmente distancias entre correas y empalmes de acuerdo con el Título G (ICD-NSR10).

A lo largo de este documento monográfico se expone detalladamente el desarrollo investigativo,

desde su fundamentación conceptual y normativa hasta su aplicación práctica en los prototipos habitacionales del MVCT para el altiplano cundiboyacense (Lineal-Alargada VRSA1, En L VRSL1, Compacta VRSC1, Territoriales VRST1 y Unifamiliares VRSU1). Cada subcapítulo analiza la manera en que el Índice de Conformidad Normativa y Operativa en Gemelo Digital (ICNO_BIM) y sus métricas derivadas (EMD, ICPA, ICGD, IEDP, IECV, ICD) funcionan como filtros tecnológicos preventivos dentro de un entorno interoperable.

Finalmente, la investigación evidencia cómo esta gobernanza de datos no solo optimiza la inversión de recursos públicos durante la fase de ejecución material, sino que además deja como resultado un manual digital dinámico para operación y mantenimiento. De esta manera, el conocimiento técnico especializado puede transferirse de forma más accesible y transparente a las familias campesinas y a los comités de autogestión comunitaria, promoviendo intervenciones futuras, reparaciones y ampliaciones progresivas seguras que preserven permanentemente las condiciones de sismo resistencia original del hábitat rural.

Objetivo General

Proponer una metodología constructiva que articule los conocimientos técnicos, indicadores y datos Instaurados en el "Documento Técnico de Parametrización del SFVR" para la vivienda social rural, mediante el diagnóstico, dirección y vinculación a un 'Modelado de la Información de la Construcción BIM'.

Objetivos Específicos

- I. Diagnosticar las problemáticas y fallas técnicas, económicas y organizativas presentes durante la etapa constructiva de la 'vivienda de interés social rural' del altiplano cundiboyacense, a partir del análisis de los prototipos instaurados en el "Documento de Parametrización de la vivienda emitido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio."
- II. Proponer estrategias de vinculación e implementación BIM que permitan la parametrización de los componentes técnicos de las tipologías de vivienda (VRSA1, VRSL1, VRSU1, VRSU1, VRST1) definidas en la sección 5 del "Documento técnico (pp. 36-53), asegurando el cumplimiento de áreas, dimensiones y especificaciones constructivas de carácter técnico.
- III. Diseñar una cartilla metodológica enfocada en la planificación y desarrollo de las tipologías de vivienda social rural del altiplano cundiboyacense, que traduzca los lineamientos del "Documento Técnico de Parametrización del SFVR" en un flujo de trabajo BIM aplicable y verificable en sus ciclos de ejecución.
- IV. Validar la metodología propuesta mediante un estudio de caso aplicado, que consistirá en el modelado y simulación constructiva de una de las tipologías, como la "Tipología Lineal-Alargada VRSA1" (p. 41), verificando la optimización de recursos y la coherencia con los parámetros normativos (Tabla 5.2, p. 43).

Planteamiento del problema

‘La política de vivienda de interés social rural’ en Colombia ha sido diseñada para mejorar las condiciones habitacionales de la población campesina y promover el desarrollo territorial equilibrado. No obstante, a pesar de los lineamientos técnicos y normativos establecidos por el ‘Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio’, la implementación de proyectos de vivienda rural continúa enfrentando múltiples dificultades relacionadas con la planificación, la ejecución constructiva y el manejo y ciclo de la información técnica durante el desarrollo de los proyectos.

En muchas regiones rurales, particularmente en el altiplano Cundiboyacense, los proyectos de vivienda social presentan deficiencias en la articulación entre diseño, planificación y construcción. Estas limitaciones se manifiestan en problemas estructurales, sobrecostos, retrasos en obra y baja estandarización de procesos constructivos. Adicionalmente, la limitada capacitación técnica de los actores locales y la ausencia de herramientas de gestión de información dificultan el seguimiento adecuado de los procesos constructivos.

La falta de integración de metodologías digitales para la gestión de información en proyectos de vivienda rural constituye una de las principales debilidades del sector. En este contexto, la metodología BIM ha demostrado a nivel internacional su capacidad para optimizar la coordinación de proyectos, mejorar la precisión en la planificación constructiva y reducir errores durante la ejecución de obra. Sin embargo, su aplicación en proyectos de vivienda social rural en Colombia aún es limitada y poco documentada.

Esta situación genera una brecha entre las políticas públicas de vivienda y las herramientas tecnológicas disponibles mejorando así los procesos de diseño y construcción rural. La ausencia de modelos metodológicos adaptados a contextos rurales dificulta la incorporación efectiva de BIM en proyectos de vivienda de interés social, especialmente en

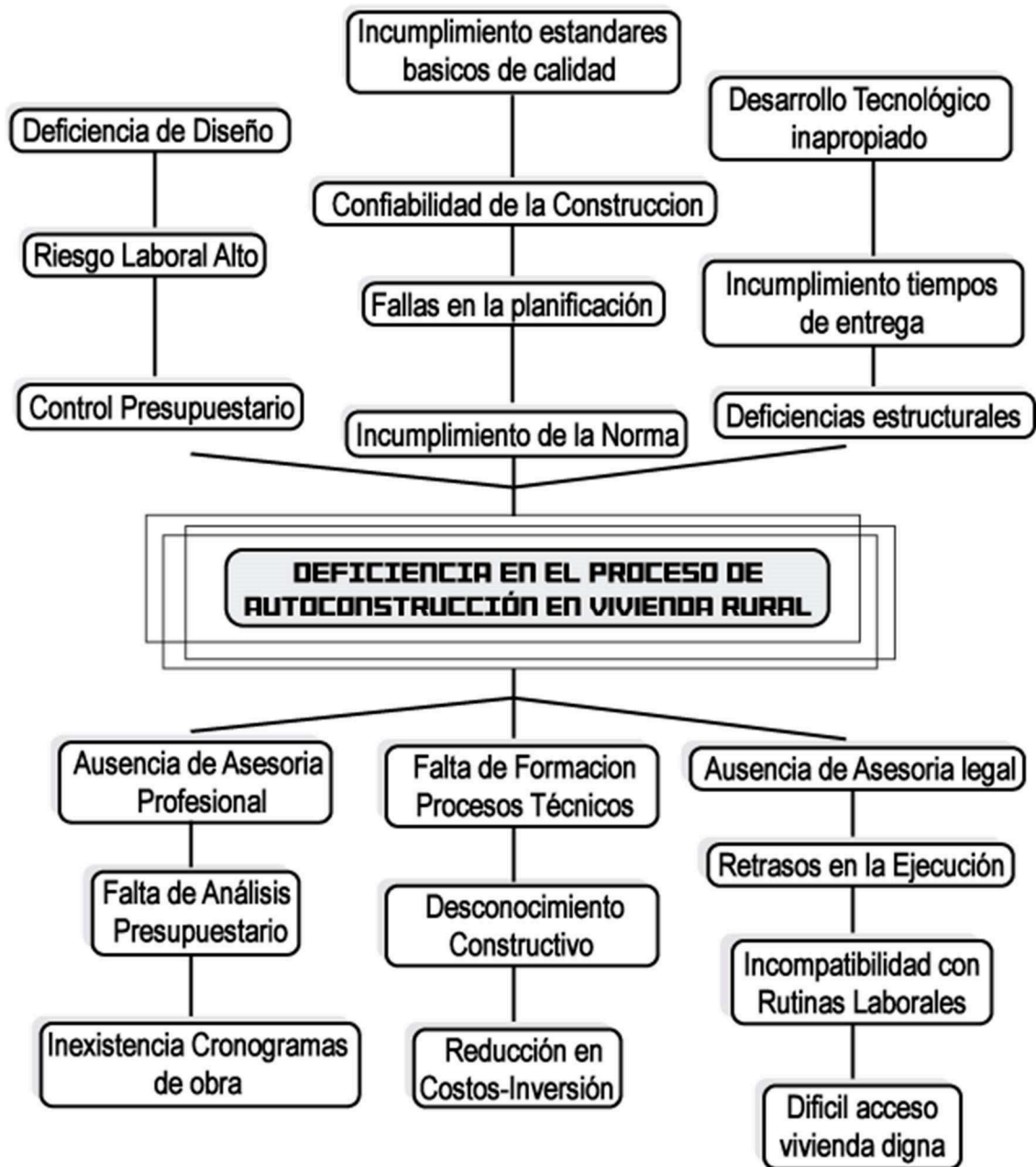
territorios donde predominan sistemas constructivos tradicionales y dinámicas productivas locales.

En consecuencia, surge la necesidad de desarrollar un modelo metodológico que permita incorporar la metodología BIM articulando y verificando la información descrita en el ‘documento de parametrización de la vivienda de interés social rural’, adaptándola a las condiciones técnicas, constructivas y territoriales del altiplano Cundiboyacense. En este marco se plantea la pregunta central de investigación: ¿De qué manera se logra incorporar la metodología BIM en la parametrización de la vivienda de interés social rural del altiplano Cundiboyacense colombiano?, buscando establecer una estrategia que permita mejorar la eficiencia constructiva, optimizar recursos y fortalecer la calidad de los proyectos de vivienda rural.

Pregunta Problema

¿De qué manera se logra incorporar la metodología BIM en la parametrización de la vivienda de interés social rural del altiplano Cundiboyacense Colombiano?

Árbol Problema



AP, ARBOL PROBLEMA 01 (Fuente Propia)

Justificación

En este contexto, la presente investigación se justifica en la necesidad de analizar, organizar e integrar los conocimientos técnicos, indicadores normativos y datos constructivos establecidos en la política de vivienda social rural, con el propósito de mejorar los procesos de diseño, planificación y ejecución de este tipo de proyectos. La dispersión de información técnica y la ausencia de herramientas sistematizadas para su gestión limitan la verificación efectiva de los parámetros establecidos por la política pública, generando inconsistencias en los procesos constructivos y dificultades en la evaluación de los proyectos.

Frente a esta problemática, el estudio propone diagnosticar, estructurar y vincular los componentes técnicos de la vivienda social rural mediante la implementación de la metodología BIM (Building Information Modeling Management). Esta metodología permite gestionar información constructiva de manera integrada, facilitando la parametrización de elementos arquitectónicos, estructurales y constructivos dentro de un entorno digital colaborativo. De esta manera, BIM se convierte en la herramienta de carácter estratégico que articula y mejora el proceso de planificación, la coordinación interdisciplinaria y la toma oportuna de decisiones durante el desarrollo constructivo de proyectos de vivienda rural.

El objetivo principal de la investigación consiste en proponer una metodología constructiva que articule los conocimientos técnicos, indicadores y datos instaurados de la vivienda social rural, mediante el diagnóstico, dirección y vinculación a un 'Modelado de la Información de la Construcción BIM'. Este objetivo adquiere un papel fundamental en la verificación de la política pública de parametrización de la vivienda social rural, ya que permite traducir los lineamientos normativos y técnicos en un sistema digital estructurado capaz de evaluar, controlar y optimizar los procesos constructivos.

En consecuencia, la investigación busca contribuir, fortalecer y validar una estrategia metodológica que permita integrar la política pública de vivienda rural con herramientas contemporáneas de gestión de información constructiva. De esta manera, el desarrollo de un modelo BIM aplicado a la vivienda social rural del altiplano Cundiboyacense no solo permitirá mejorar la eficiencia técnica de los proyectos, sino también establecer un instrumento verificable para la implementación efectiva de los parámetros establecidos por la política nacional de vivienda rural.

Hipótesis

En este contexto, la presente investigación se justifica en la necesidad de analizar, organizar e integrar los conocimientos técnicos, indicadores normativos y datos constructivos establecidos en la política de vivienda social rural, con el propósito de mejorar los procesos de diseño, planificación y ejecución de este tipo de proyectos. La dispersión de información técnica y la ausencia de herramientas sistematizadas para su gestión limitan la verificación efectiva de los parámetros establecidos por la política pública, generando inconsistencias en los procesos constructivos y dificultades en la evaluación de los proyectos.

Frente a esta problemática, el estudio propone diagnosticar, estructurar y vincular los componentes técnicos de la vivienda social rural mediante la implementación de la metodología BIM (Building Information Modeling Management). Esta metodología permite gestionar información constructiva de manera integrada, facilitando la parametrización de elementos arquitectónicos, estructurales y constructivos dentro de un entorno digital colaborativo. De esta manera, BIM se convierte en una herramienta estratégica para mejorar la planificación, la coordinación interdisciplinaria y la toma de decisiones durante el desarrollo de proyectos de vivienda rural.

El objetivo principal de la investigación consiste en proponer una metodología constructiva que articule los conocimientos técnicos, indicadores y datos instaurados de la vivienda social rural, mediante el diagnóstico, dirección y vinculación a un Modelado de la Información de la Construcción BIM. Este objetivo adquiere un papel fundamental en la verificación de la política pública de parametrización de la vivienda social rural, ya que permite traducir los lineamientos normativos y técnicos en un sistema digital estructurado capaz de evaluar, controlar y optimizar los procesos constructivos.

En consecuencia, la investigación busca contribuir, fortalecer y validar una estrategia

metodológica que permita integrar la política pública de vivienda rural con herramientas contemporáneas de gestión de información constructiva. De esta manera, el desarrollo de un modelo BIM aplicado a la vivienda social rural del altiplano Cundiboyacense no solo permitirá mejorar la eficiencia técnica de los proyectos, sino también establecer un instrumento verificable para la implementación efectiva de los parámetros establecidos por la política nacional de vivienda rural.

Marco Referencial

Gestión de la Información BIM bajo la norma ISO 19650 aplicada a la parametrización de vivienda rural del altiplano cundiboyacense

La transformación digital del sector AECO (Architecture, Engineering, Construction and Operations) ha impulsado la implementación de metodologías orientadas a la gestión integrada de información durante todo el ciclo de vida de los activos construidos. En este contexto, el Building Information Modelling (BIM) se consolida como una metodología de trabajo colaborativo que permite estructurar, producir, intercambiar y administrar información técnica de manera coordinada entre los diferentes actores de un proyecto.

No obstante, la adopción de BIM trasciende la generación de modelos tridimensionales. La metodología implica la consolidación de procesos organizacionales, protocolos de intercambio de información y estándares de gestión documental que permitan garantizar interoperabilidad, trazabilidad y control sobre los datos producidos en cada fase del proyecto. Bajo esta perspectiva surge la serie normativa ISO 19650, reconocida internacionalmente como el principal marco de referencia para la gestión de información mediante BIM.

La norma ISO 19650 establece principios y conceptos para la organización y digitalización de información relacionada con edificaciones y obras civiles, definiendo procedimientos para la producción, almacenamiento, validación y transferencia de información dentro de un entorno colaborativo denominado Common Data Environment (CDE). Su enfoque no se limita al modelado geométrico, sino que integra información alfanumérica, documentación técnica, parámetros de operación y criterios de mantenimiento asociados al activo construido.

En términos metodológicos, la ISO 19650 estructura la gestión de información a partir

de requerimientos organizacionales y de proyecto, tales como: ·

-OIR (Organizational Information Requirements): requerimientos organizacionales de información.

-PIR (Project Information Requirements): requerimientos de información del proyecto.

- AIR (Asset Information Requirements): requerimientos de información del activo.

-EIR (Exchange Information Requirements): requerimientos de intercambio de información.

Estos componentes permiten definir qué información debe producirse, quién la produce, en qué momento debe entregarse y bajo qué criterios de calidad debe ser validada. Desde la perspectiva operativa, la ISO 19650 se divide en diferentes partes que abarcan el ciclo de vida completo del activo construido:

Alcance ISO 19650:

-1 Conceptos y principios ISO 19650

-2 Fase de entrega y desarrollo del proyecto ISO 19650

-3 Fase operacional del activo ISO 19650

-4 Intercambio y calidad de información ISO 19650

-5 Seguridad de la información ISO 19650

-6 Información relacionada con salud y seguridad BIM y gestión de información en vivienda rural colombiana

En Colombia, el avance hacia la implementación BIM ha sido impulsado progresivamente por entidades gubernamentales como el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el cual ha desarrollado lineamientos orientados a la caracterización técnica de la

vivienda y la estandarización de procesos constructivos. Particularmente en el contexto de vivienda rural, dichos análisis han permitido identificar variables asociadas a tipologías constructivas, materialidad, condiciones climáticas y necesidades funcionales de los territorios rurales del país.

El altiplano cundiboyacense presenta características ambientales, culturales y constructivas específicas que condicionan el diseño arquitectónico y los sistemas de acabados utilizados en vivienda rural. Las bajas temperaturas, los altos niveles de humedad relativa, la variabilidad térmica y las dinámicas de autogestión constructiva demandan soluciones adaptativas que puedan documentarse y parametrizarse digitalmente mediante metodologías BIM.

En este sentido, la parametrización BIM de prototipos de vivienda rural constituye una estrategia orientada a consolidar bibliotecas digitales de elementos constructivos, familias paramétricas y sistemas de acabados capaces de responder a criterios técnicos, económicos y de mantenimiento. La incorporación de estándares “ISO 19650” permite estructurar dicha información bajo principios de interoperabilidad y trazabilidad documental.

El presente enfoque investigativo propone que la implementación BIM no debe entenderse únicamente como una herramienta de representación gráfica, sino como un sistema de gestión de información capaz de articular:

- Datos geométricos.
- Información técnica constructiva.
- Especificaciones de acabados.
- Costos y rendimientos.
- Información de mantenimiento.

- Protocolos de actualización del activo construido. Gestión de información BIM aplicada al ciclo de construcción de la vivienda interes social rural.

Dentro del ciclo de vida del proyecto, la etapa de ejecución presenta uno de los componentes con mayor carga de información variable debido a la cantidad de materiales, especificaciones técnicas, rendimientos y condiciones de mantenimiento involucradas. Por ello, la ISO 19650 adquiere relevancia al establecer mecanismos de control sobre la información producida durante las fases de diseño, construcción y operación.

La aplicación de BIM en acabados implica la definición previa de niveles de desarrollo geométrico y requerimientos de información asociados a cada elemento modelado. Tradicionalmente estos procesos se relacionan con los conceptos LOD (Level of Development) y LOI (Level of Information). Sin embargo, la ISO 19650 introduce una aproximación más integral denominada Level of Information Need, orientada a definir la calidad, cantidad y granularidad de la información requerida según el propósito específico del entregable.

Bajo esta lógica, un elemento constructivo como un revestimiento cerámico o un sistema de carpintería no solamente debe modelarse geométricamente, sino que debe incorporar atributos relacionados con:

- Materialidad.
- Especificaciones técnicas.
- Costos unitarios.
- Tiempo de instalación.
- Proveedor. Vida útil.
- Protocolos de mantenimiento.

Compatibilidad constructiva.

Información para operación futura. La integración de estos parámetros dentro de un entorno BIM estructurado bajo ISO 19650 permite desarrollar modelos de información más precisos y útiles para procesos de diseño participativo, control de obra y mantenimiento del activo rural. Entorno Común de Datos (CDE) y trazabilidad documental Uno de los principios fundamentales de la ISO 19650 es la utilización del Common Data Environment (CDE), entendido como un entorno digital centralizado para la gestión colaborativa de información. El CDE no corresponde únicamente a una plataforma tecnológica, sino a un sistema de procesos para controlar la producción, revisión, aprobación y publicación de información del proyecto.

La implementación de un CDE dentro del desarrollo de prototipos BIM para vivienda rural permite:

Controlar versiones de modelos y documentos.

Gestionar revisiones interdisciplinarias.

Registrar incidencias constructivas.

Garantizar trazabilidad de cambios.

Centralizar especificaciones técnicas.

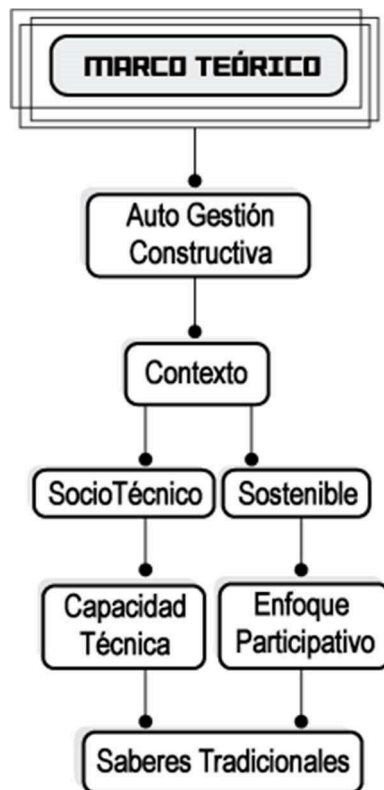
Estandarizar nomenclaturas y codificaciones.

Consolidar bases de datos paramétricas.

En consecuencia, la adopción de ISO 19650 dentro de proyectos de vivienda rural representa una oportunidad para fortalecer procesos de autogestión constructiva mediante herramientas digitales de coordinación y control de información. Relación entre parametrización BIM y vivienda rural autogestionada La investigación se articula con procesos de autogestión constructiva rural al reconocer que gran parte de la vivienda del altiplano cundiboyacense se desarrolla mediante esquemas progresivos y participación comunitaria. En este contexto, la parametrización BIM posibilita construir modelos adaptativos capaces de documentar soluciones constructivas locales y sistematizar saberes técnicos regionales. La generación de bibliotecas BIM rurales permite consolidar componentes repetitivos y adaptables según variables climáticas, económicas y culturales del territorio. Asimismo, facilita la toma de decisiones técnicas mediante simulaciones, análisis de interferencias y control de costos desde etapas tempranas del proyecto. Por tanto, la aplicación de la ISO 19650 dentro del proceso investigativo no se limita a una adopción normativa internacional, sino que constituye un mecanismo para estructurar metodologías de gestión de información aplicadas a la vivienda rural colombiana, fortaleciendo la calidad documental, la interoperabilidad y la sostenibilidad técnica de los proyectos arquitectónicos rurales.

Marco teórico

El conjunto de teorías expuestas en el marco teórico ofrece una base conceptual sólida que justifica la necesidad de diseñar una metodología de apoyo para la etapa de acabados en procesos de autoconstrucción. Cada uno de los autores seleccionados aporta una visión específica pero complementaria que enriquece la propuesta investigativa.



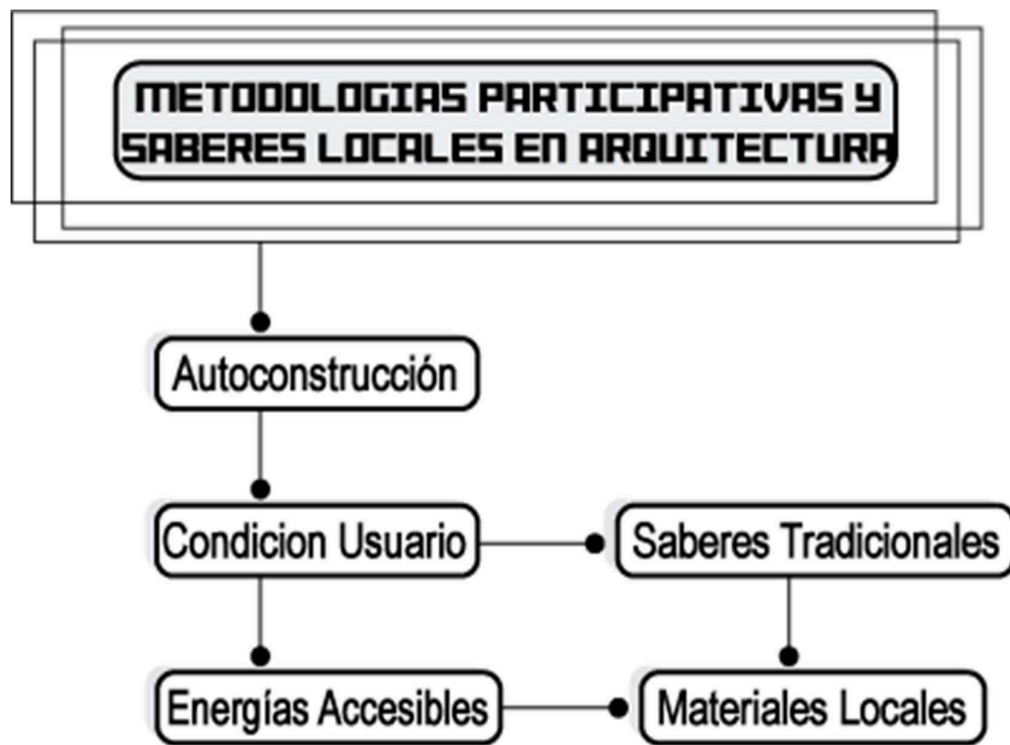
MP: Mapa Operativo 01 (Fuente Propia)

- Desde la teoría de Turner y Habraken, se sostiene la importancia del control del usuario en la vivienda como garantía de apropiación, eficiencia y pertinencia. Estas ideas fundamentan la inclusión de procesos participativos y flexibles en el diseño metodológico.

- Oliver, Salazar y Rueda justifican el uso de materiales locales y técnicas constructivas accesibles, permitiendo que los acabados no sean únicamente un resultado estético, sino también económico y sostenible, adaptado a los recursos del lugar.
- García & López y Rodríguez & Velázquez refuerzan el carácter sociotécnico del proyecto, al señalar que el acompañamiento técnico debe estar articulado con las capacidades y conocimientos comunitarios, evitando la imposición de modelos externos.
- La propuesta de UN-Habitat valida el componente metodológico de esta investigación, al presentar experiencias internacionales exitosas basadas en la organización comunitaria como motor del proceso constructivo.
- Por último, Zeisel aporta una mirada de diseño que conecta los acabados arquitectónicos con la experiencia cotidiana del habitante, reforzando la idea de que estos deben surgir de una comprensión profunda del uso del espacio.

En conjunto, estas teorías permiten construir un marco teórico integrador que sustenta el objetivo del proyecto: desarrollar una metodología que oriente técnicamente los procesos de autoconstrucción en la etapa de acabados, desde un enfoque participativo, sostenible y contextualizado.

I. Metodologías Participativas y Saberes Locales en Arquitectura



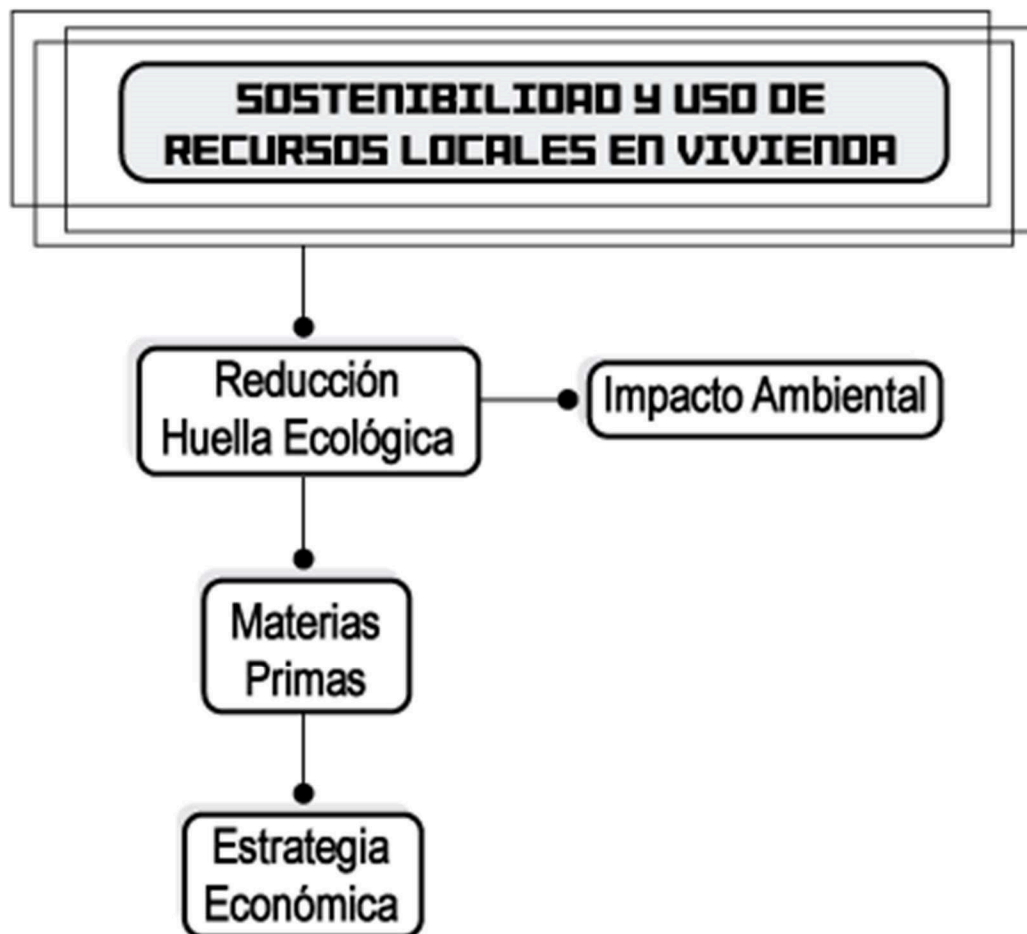
MO. Mapa Operativo 04(Fuente Propia)

El desarrollo de metodologías participativas dentro del proceso constructivo promueve un enfoque más inclusivo y contextualizado. La participación activa de la comunidad, combinada con el acompañamiento técnico, permite que las decisiones constructivas sean más eficientes, sostenibles y acordes a las necesidades reales del usuario.

Las metodologías adaptativas, que integran saberes tradicionales, materiales locales y energías accesibles, resultan más viables en contextos de autoconstrucción. Según Habraken (1972), el diseño y la construcción no deben estar separados del usuario, sino que deben concebirse como procesos colaborativos donde el habitante se convierte en constructor y decisor.

En este sentido, los procesos constructivos por autogestión pueden fortalecerse si se diseñan herramientas metodológicas que canalicen las capacidades locales, respeten las condiciones económicas del contexto y promuevan la eficiencia energética y la sustentabilidad.

II. Sostenibilidad y Uso de Recursos Locales en Vivienda



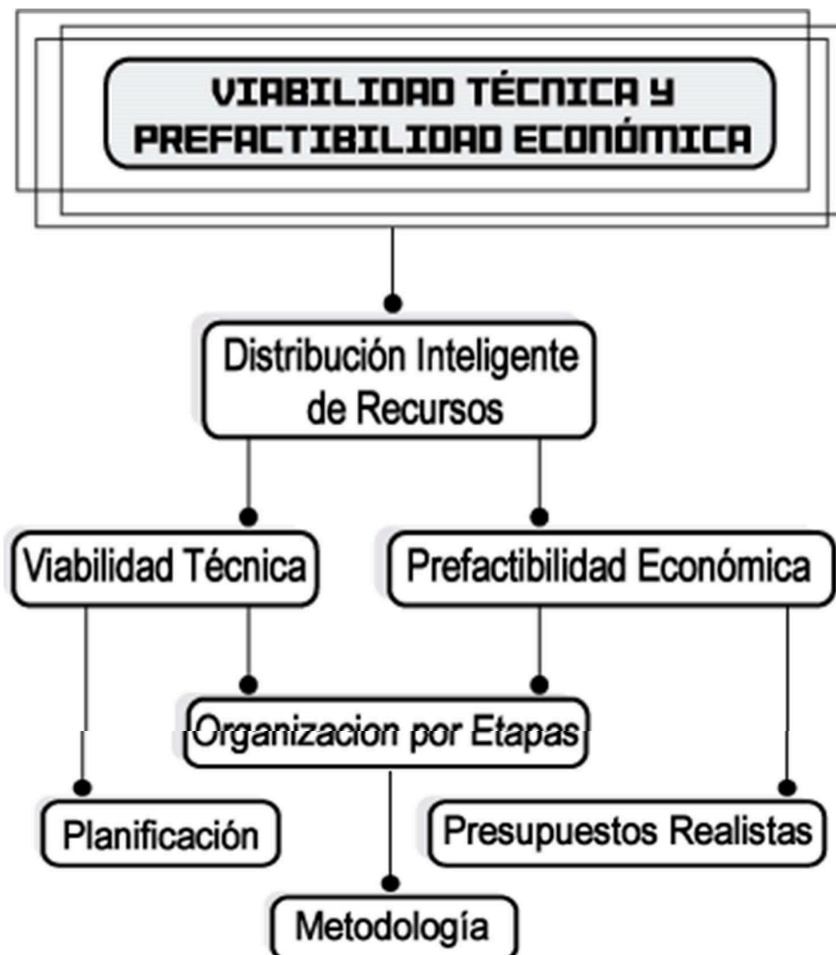
MO. Mapa Operativo 05(Fuente Propia)

La sostenibilidad en la construcción de vivienda implica reducir el impacto ambiental, optimizar recursos y mejorar la calidad de vida de los habitantes. En procesos autoconstructivos, esto se traduce en la utilización de materias primas locales, el aprovechamiento de energías renovables y la minimización del desperdicio de materiales.

Diversos enfoques del diseño sostenible —como la arquitectura bioclimática o el uso de tecnologías apropiadas— proponen soluciones técnicas que pueden ser aplicables incluso en contextos de baja inversión, siempre que exista una planificación clara y un conocimiento mínimo de sus principios.

En esta investigación se plantea que la sostenibilidad no solo es una opción ambiental, sino una estrategia económica que permite consolidar proyectos viables, duraderos y adaptados al entorno local.

III. Viabilidad Técnica y Prefactibilidad Económica

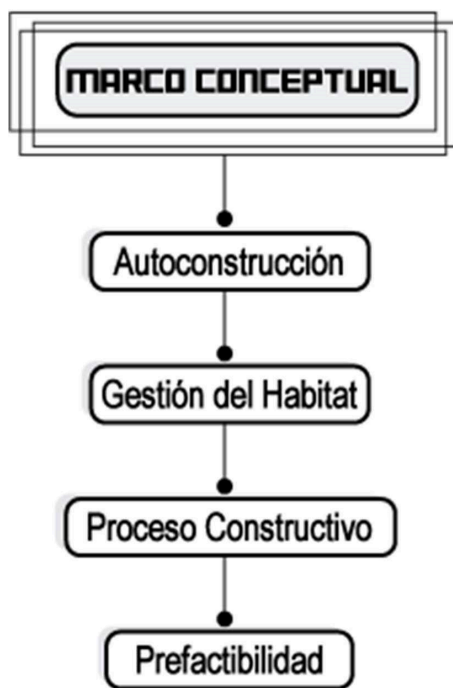


Uno de los grandes retos de la construcción rural es la falta de planificación económica. Muchas veces, la obra se inicia con presupuestos poco realistas, lo que lleva a retrasos, deudas o terminaciones inadecuadas. La prefactibilidad permite evaluar con antelación la viabilidad técnica, económica y operativa del proyecto, favoreciendo una distribución inteligente de los recursos.

Aplicar principios de prefactibilidad en la etapa de acabados puede ayudar a controlar los gastos, planificar las compras de materiales, organizar las tareas por etapas y minimizar el riesgo de abandono del proyecto. Esta planificación, combinada con una metodología clara, brinda mayor seguridad y calidad en el resultado final de la vivienda.

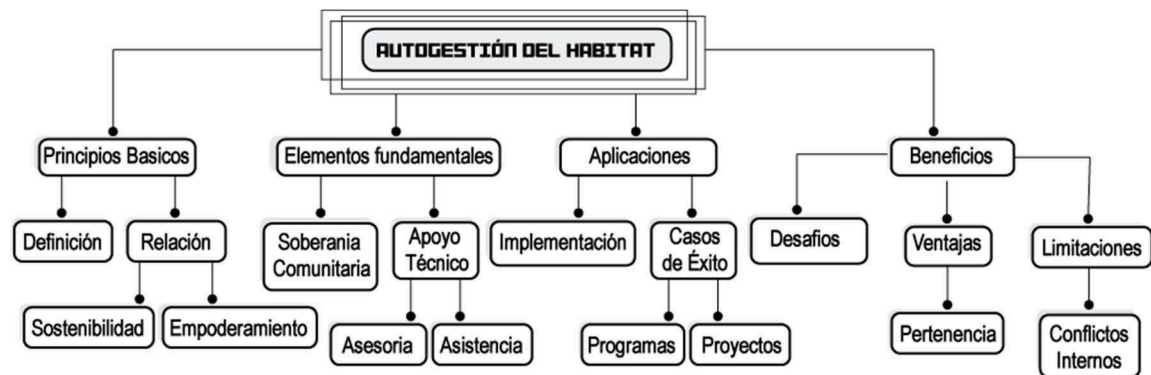
Marco Conceptual

La presente investigación se enmarca en la comprensión de procesos de producción social del hábitat, con especial énfasis en contextos de autoconstrucción y autogestión del hábitat, abordados desde una perspectiva arquitectónica crítica que reconoce el protagonismo de los habitantes en la consolidación de sus espacios de vida. Estos procesos se analizan particularmente durante el desarrollo del proyecto, factor determinante tanto en la habitabilidad como en la expresión de identidad de la vivienda, y que suele estar profundamente influida por las condiciones económicas, técnicas y culturales del entorno. Asimismo, se incorpora la prefactibilidad técnica como herramienta metodológica clave para evaluar y fortalecer la viabilidad de estos procesos en escenarios de alta vulnerabilidad.



MQ. Mapa Operativo 07(Fuente Propia)

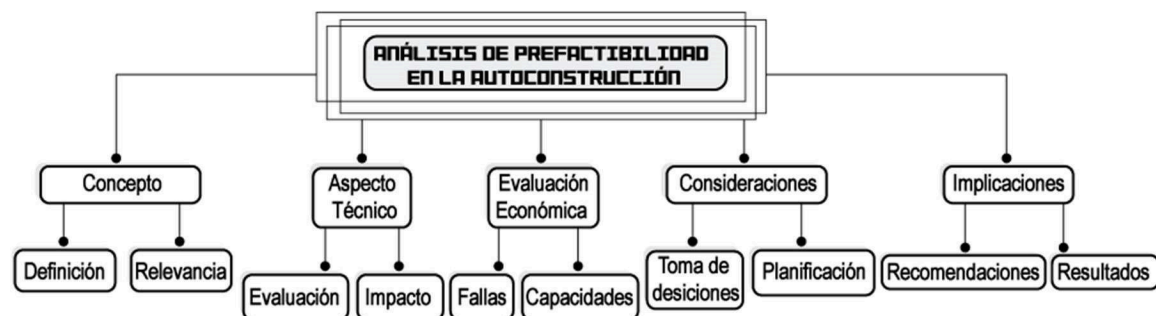
- Autogestión del Hábitat



MO, Mapa Operativo 09(Fuente Propia)

La autogestión del hábitat implica la capacidad de los habitantes para planear, organizar y ejecutar por sí mismos (o con asistencia externa mínima) las decisiones sobre su espacio de vida. Este concepto, promovido por experiencias como las de UN-Habitat (2011), se basa en la soberanía comunitaria y la articulación con apoyos técnicos, como estrategia de empoderamiento social y sostenibilidad.

- Prefactibilidad Técnica



MO, Mapa Operativo 11(Fuente Propia)

Es el análisis previo a la ejecución de una obra que permite evaluar si un proyecto es viable en términos técnicos, económicos y temporales. En el caso de la autoconstrucción, establecer criterios de prefactibilidad permite anticipar fallas presupuestales, desorganización y

retrasos, facilitando la toma de decisiones ajustadas a las capacidades reales de los usuarios (Rueda, 2018).

Así, este marco conceptual articula una mirada crítica y propositiva sobre los procesos de autoconstrucción en etapa de acabados, con el propósito de contribuir y mejorar las estrategias que reconozcan las capacidades locales, mejoren la calidad de las viviendas y potencien el rol activo de los habitantes en la construcción de ciudad.

Antecedentes

El presente estudio se inscribe en la intersección de tres campos del conocimiento: la gestión de la vivienda social rural en Colombia, la estandarización de procesos mediante la metodología BIM y el concepto emergente de "Gemelos Digitales" para la gestión de activos. El punto de partida es el "Documento Técnico de Parametrización del SFVR" (Ministerio de Vivienda, 2021), el cual establece los requisitos mínimos de habitabilidad, áreas y materiales para la vivienda rural en Colombia.

Históricamente, la vivienda rural en el Altiplano Cundiboyacense ha operado bajo modelos de autoconstrucción o proyectos estatales con alta dispersión de información técnica. La adopción de la Resolución 0410 de 2021 representa un hito al intentar estandarizar las tipologías (como la VRSA1 y VRSL1), sin embargo, este esfuerzo sigue siendo análogo. La presente tesis toma este documento no solo como referencia, sino como el set de datos primario para la digitalización.

A nivel internacional, el uso de BIM en vivienda de interés social ha demostrado una reducción de hasta el 20% en sobrecostos de obra. Estudios en Chile y España evidencian que la parametrización de viviendas modulares permite una coordinación técnica superior a nivel de referencia Global. En Colombia, el "Decreto 1431 de 2020 y la Estrategia Nacional BIM" han impulsado la adopción tecnológica en el sector público. No obstante, los antecedentes de aplicación en el ámbito rural son escasos, centrándose mayoritariamente en infraestructuras urbanas. Esta investigación llena ese vacío al aplicar estándares de alto nivel (ISO 19650) en contextos de dispersión territorial.

Los antecedentes en "BIM para el mantenimiento" (BIM 6D) demuestran que el 80% del

costo de una edificación ocurre durante su fase de operación. Investigaciones recientes sugieren que, en viviendas sociales rurales, la falta de un manual de mantenimiento claro acelera el deterioro estructural. Por tanto, integrar el modelo federado con un manual de mantenimiento digitalizado es la evolución lógica de los modelos As-Built.

La tesis se valida al demostrar que existe una brecha de implementación: mientras que el Gobierno Nacional ya parametrizó la vivienda en papel (Documento de Parametrización), la industria académica y profesional aún no ha proporcionado la metodología para que esa información sea dinámica, auditable y útil para el campesino a través del Gemelo Digital.

Marco contextual

En el contexto latinoamericano, la autoconstrucción ha sido una respuesta recurrente al déficit habitacional y a las limitaciones de acceso a vivienda formal. Tal como señala Turner (1960), “la vivienda gestionada por sus habitantes garantiza pertinencia y sostenibilidad en la medida en que responde a necesidades reales y recursos disponibles”. Esta idea ha sido clave para comprender por qué gran parte de la población en países de ingresos medios y bajos ha optado por construir sus viviendas de manera progresiva.

La vivienda de interés social rural en Colombia ha evolucionado como respuesta a las necesidades estructurales, sociales y productivas del campo. Desde los primeros programas de vivienda obrera y granjas familiares a inicios del siglo XX, la política habitacional ha transitado hacia modelos más integrales que reconocen la vivienda como un derecho fundamental (Constitución de 1991, Art. 51) y como un componente esencial del bienestar territorial. En este sentido, la vivienda rural no solo representa una unidad constructiva, sino un espacio sociocultural donde convergen las dinámicas familiares, las prácticas productivas y las identidades regionales.

De acuerdo con los antecedentes históricos expuestos por el Ministerio de Vivienda, la formulación de políticas para la Vivienda de Interés Social Rural (VISR) ha pasado de enfoques centrados en la cantidad de unidades construidas a estrategias que buscan calidad, sostenibilidad y participación comunitaria. Este tránsito se evidencia en la reglamentación contenida en el Decreto 1071 de 2015 y sus modificatorios, los cuales introducen la noción de vivienda rural progresiva y contextualizada, adaptada a las condiciones geográficas, climáticas y culturales de cada región.

En Colombia, al igual que en otros países de la región, el modelo incremental impulsado desde organismos como el Banco Interamericano de Desarrollo (1990) y sistematizado por autores como Greene y Rojas (2008) evidencia que las familias construyen sus viviendas en etapas, ajustándose a sus posibilidades económicas. Sin embargo, este modelo presenta limitaciones críticas en la fase de acabados, donde los sobre costos y la improvisación son frecuentes (Pérez, 2018; García & Rodríguez, 2020).

En el marco de esta evolución normativa y conceptual, el presente trabajo de grado se ubica en la fase de mejoramiento de la etapa constructiva de acabados arquitectónicos, una instancia clave en la consolidación del hábitat rural. Los acabados, entendidos como el cierre técnico, estético y funcional de la vivienda, constituyen el punto en que se materializan las decisiones constructivas y las identidades territoriales del usuario rural. Su adecuada gestión determina no solo la durabilidad y el desempeño físico de la vivienda, sino también la percepción de confort, dignidad y pertenencia de sus habitantes.

El documento técnico “Anexo C – Documento de Parametrización de Tipologías de Vivienda Rural” permitió identificar una serie de tipologías constructivas parametrizadas (VRSC2, VRSA1, VRSL1, VRSU1, VRST1), las cuales responden a criterios de adaptación territorial, funcionalidad y eficiencia estructural. Estas tipologías, concebidas bajo lineamientos de vivienda rural sostenible, ofrecen un marco operativo para la implementación de metodologías de mejoramiento que prioricen la optimización de materiales locales, la eficiencia energética y la participación comunitaria.

A partir de dichas tipologías, el trabajo propone incorporar la Metodología BIM (Building Information Modeling) como herramienta transversal de control, documentación y optimización en la etapa de acabados. El enfoque BIM permite modelar digitalmente cada componente

constructivo (muros, pisos, cubiertas, carpinterías, instalaciones), generando un entorno colaborativo que articula el diseño, la ejecución y la gestión del ciclo de vida de la vivienda. Esta integración facilita una trazabilidad técnica y económica, alineada con los principios de transparencia, eficiencia y sostenibilidad exigidos por la Política Pública de Vivienda Rural.

De este modo, el estudio busca vincular las tipologías parametrizadas con un modelo metodológico de autogestión constructiva digital, en el que la comunidad rural participe activamente en los procesos de diseño y mejoramiento, apoyada por herramientas tecnológicas que simplifiquen la toma de decisiones. El análisis de las fortalezas y oportunidades identificado en la matriz DOFA evidencia que la adopción de BIM no solo optimiza tiempos y recursos en la etapa de acabados, sino que también permite establecer una librería de componentes constructivos rurales basada en niveles de desarrollo (LOD) y estándares COBie, orientada a la gestión futura de mantenimiento y a la replicabilidad de modelos.

En este contexto, la vivienda rural se concibe como un sistema vivo y evolutivo, capaz de adaptarse a nuevas tecnologías sin perder su esencia cultural. La parametrización de tipologías constituye un paso decisivo hacia la normalización técnica del proceso constructivo rural, mientras que la integración de la metodología BIM representa una oportunidad estratégica para la profesionalización del oficio local, la reducción de desperdicios y el mejoramiento continuo de la calidad espacial y material en las viviendas rurales colombianas.

En síntesis, el marco contextual de este proyecto se fundamenta en la articulación entre la historia normativa y social de la vivienda rural en Colombia, la tecnificación del proceso constructivo mediante BIM, y la optimización del rendimiento material y funcional en la etapa de acabados. Este enfoque integra la tradición constructiva autogestionada con los nuevos paradigmas de construcción dirigida y gestión digital, contribuyendo a un modelo más equitativo, eficiente y sostenible de hábitat rural.

El presente proyecto se desarrolla en el marco de los procesos de autoconstrucción que realizan los grupos poblacionales en expansión ubicados en el altiplano cundiboyacense, una de las regiones de mayor dinamismo demográfico y territorial en Colombia. La población objetivo corresponde principalmente a familias de bajos y medianos ingresos que, ante el déficit de vivienda formal y el crecimiento acelerado de los centros urbanos, recurren a la autogestión constructiva como alternativa para acceder a una vivienda. Estas comunidades, en muchos casos conformadas por trabajadores agrícolas, migrantes internos y jóvenes familias en proceso de consolidación, evidencian la necesidad de soluciones metodológicas que acompañen la construcción de sus viviendas, especialmente en la etapa de acabados, que suele ser la más crítica en términos económicos y organizativos.

Marco Normativo

1. Introducción general

El presente marco normativo se fundamenta en la “Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 19650-1:2021”, titulada “Organización y digitalización de la información en edificaciones y obras de ingeniería civil, incluyendo el BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información usando el BIM.

Parte 1: Conceptos y principios”, la cual establece los lineamientos para la gestión de información durante todo el ciclo de vida de los activos construidos.

Esta norma se constituye en la base metodológica del trabajo de grado, al proporcionar las herramientas conceptuales para estructurar, organizar y coordinar la información derivada de los procesos de autogestión constructiva en la vivienda rural, especialmente en la etapa de acabados arquitectónicos.

El enfoque de la “NTC-ISO 19650” reconoce que el modelo de información (BIM) debe integrar todos los agentes del proceso constructivo —diseño, ejecución, operación y mantenimiento— mediante un flujo digital colaborativo que garantice la trazabilidad de la información, la reducción de errores y la optimización de recursos.

2. Campo de aplicación y principios normativos

De acuerdo con la sección 1 de la “NTC-ISO 19650-1”, la norma es aplicable a todas las fases del ciclo de vida de un activo construido:

planificación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y disposición final.

En el contexto del presente trabajo, esta aplicación se centra en la fase de entrega y finalización, específicamente la etapa de acabados arquitectónicos de la vivienda rural unifamiliar autogestionada.

Los principios rectores adoptados de la metodología Building Information Modeling Management BIM son:

- Gestión integral de la información: estructurar la información del proyecto en modelos digitales federados (PIM y AIM) que integren la geometría, los materiales y la documentación técnica.
- Colaboración efectiva: promover un entorno común de datos (CDE) que facilite la interacción entre comunidad, profesionales y entidades de apoyo técnico.
- Trazabilidad y control: mantener registros verificables de decisiones, versiones de modelo y entregables.
- Estandarización de procesos: definir formatos, nomenclaturas y niveles de desarrollo (LOD) que permitan la interoperabilidad entre herramientas digitales.

3. Requerimientos de información aplicables

Según el Capítulo 5 de la norma, la gestión de información debe estructurarse en niveles jerárquicos:

1. OIR (Organizational Information Requirements): Requerimientos de información de la organización.

En el contexto del proyecto, corresponden a los objetivos institucionales del programa de Vivienda de Interés Social Rural, orientados a garantizar habitabilidad, sostenibilidad y calidad en la ejecución.

2. AIR (Asset Information Requirements): Requerimientos de información del activo.

Aplican a cada vivienda rural y definen los parámetros técnicos de acabados, materiales, resistencia, mantenimiento y vida útil.

3. PIR (Project Information Requirements): Requerimientos de información del proyecto.

Corresponden al conjunto de entregables BIM necesarios para la etapa de acabados: modelos 3D, planillas LOD, fichas COBie y documentación de materiales.

4. EIR (Exchange Information Requirements): Requerimientos de intercambio de información.

Regulan la comunicación entre los actores de la autogestión, los profesionales técnicos y las plataformas BIM mediante un flujo controlado de versiones y aprobaciones.

Esta jerarquía permite que la autogestión rural evolucione hacia un proceso documentado y verificable, facilitando la implementación de metodologías BIM en entornos de baja complejidad técnica sin perder coherencia con las normas internacionales.

4. Ciclo de vida de la información

La sección 6 de la “NTC-ISO 19650-1” establece que la información debe generarse, validarse y transferirse de forma progresiva a lo largo del ciclo de vida del activo.

En este proyecto, dicha progresión se aplica a tres momentos claves:

- Inicio de la fase de entrega: recopilación de información previa sobre el estado de la vivienda y definición de los acabados proyectados.
- Desarrollo de modelos digitales: construcción del Modelo de Información del Proyecto (PIM), donde se documentan materiales, espesores, texturas y costos estimados.
- Cierre y transferencia: consolidación del Modelo de Información del Activo (AIM), con datos finales de ejecución, mantenimiento y rendimiento material.

Esta secuencia se alinea con el principio de mejora continua, permitiendo registrar lecciones aprendidas y reutilizar información en futuros procesos de vivienda rural.

5. Ambiente común de datos (CDE)

El numeral 12 de la norma establece el concepto de Common Data Environment, o Ambiente Común de Datos, entendido como el espacio digital donde se gestiona, revisa y aprueba la información del proyecto.

Para el caso del trabajo de grado, el CDE se plantea como una plataforma digital participativa, en la cual los actores de la autogestión (constructores, arquitectos y comunidad) pueden consultar planos, especificaciones y cronogramas. La adopción de un CDE contribuye a:

- Reducir la duplicidad y pérdida de información.

- Mantener versiones actualizadas del modelo.
- Permitir el seguimiento técnico remoto de la etapa de acabados.
- Asegurar la transparencia y el control de calidad de la información durante su ejecución.

6. Competencias y capacidades del equipo

La NTC-ISO 19650 enfatiza en los capítulos 7 y 8 que el éxito del proceso depende de las competencias técnicas y organizacionales del equipo de entregas.

En el marco del trabajo de grado, esta exigencia se traduce en la necesidad de capacitar a los actores locales en lectura de modelos BIM, uso de herramientas digitales y registro de información en plantillas LOIN, fortaleciendo así la autogestión con bases tecnológicas.

La aplicación de la “NTC-ISO 19650-1:2021” dentro del proceso de autogestión constructiva en la etapa de acabados arquitectónicos constituye un avance metodológico hacia la profesionalización del hábitat rural. El enfoque normativo introduce la gestión de información como pilar de la eficiencia constructiva, articulando la tradición empírica de la autogestión con la precisión y control que ofrecen las tecnologías BIM.

En conclusión:

- La norma ofrece un lenguaje común entre los actores rurales y técnicos, sustentado en criterios de calidad, trazabilidad y colaboración.
- Facilita la optimización del material y la reducción de desperdicio, alineando el proceso constructivo con metas de sostenibilidad.
- Permite la creación de una librería BIM rural, estandarizada mediante niveles de

desarrollo (LOD) y estructuras COBie, que respalde la planificación y mantenimiento de viviendas rurales en Colombia.

De esta forma, la NTC-ISO 19650-1 se convierte en la base regulatoria para el modelo metodológico de autogestión constructiva digital, integrando gestión de la información, participación comunitaria y mejoramiento continuo en la arquitectura rural colombiana.

Metodología

La presente investigación se estructura a través de un ciclo de implementación sistémico que busca alcanzar un nivel de vinculación paramétrica de entre el 95% y el 100% de los modelos estructurales con la metodología BIM, garantizando que cada componente de la vivienda social rural en el altiplano Cundiboyacense sea una réplica digital exacta de la política pública. Este proceso inicia con una fase de diagnóstico y descomposición donde los lineamientos del "Documento Técnico de Parametrización del SFVR" se transforman en una matriz de datos técnicos y normativos listos para su digitalización. Posteriormente, se ejecutan las estrategias de vinculación mediante un modelado federado que integra familias de objetos inteligentes enriquecidas con metadatos de materiales y costos, permitiendo una precisión absoluta en la cuantificación. La validación se consolida al someter estas tipologías (con especial énfasis en la VRSA1) a un análisis integral de su ciclo de vida, simulando desde la eficiencia en la construcción y el control de presupuestos, hasta la sostenibilidad operativa a largo plazo. Finalmente, la ruta converge en la creación de un Gemelo Digital funcional, cuyo resultado tangible es un Manual de Mantenimiento Digitalizado que faculta tanto a la entidad territorial como al beneficiario para gestionar la vivienda mediante datos técnicos en tiempo real, transformando así un requisito normativo en un activo digital vivo, auditable y sostenible.

Introducción

El presente análisis metodológico surge de la articulación entre el marco contextual centrado en la evolución de la vivienda rural y la autogestión constructiva y el marco normativo sustentado en la NTC-ISO 19650-1:2021, que establece los lineamientos para la organización y gestión digital de la información mediante la metodología Building Information Modeling (BIM) esta integración busca establecer una hoja de ruta operativa que permita mejorar la eficiencia, trazabilidad y calidad constructiva en la etapa de acabados arquitectónicos, optimizando los

recursos materiales y fortaleciendo la participación técnica-comunitaria en la vivienda rural.

Objetivo

Profundizar el diagnóstico DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas, Amenazas) de las cinco tipologías del Anexo MVCT (2020) enfatizando las Fortalezas compartidas y las Oportunidades y a partir de ellas proyectar la incorporación y uso de la metodología BIM como herramienta estratégica para optimizar la etapa de acabados y la gestión del proyecto en su conjunto.

Resumen

Se identifica la vivienda rural como un sistema sociocultural en constante transformación, donde los procesos autogestionados son el eje de la producción habitacional. La metodología BIM, al ser una herramienta digital de gestión integral, posibilita documentar, simular y coordinar de manera precisa cada etapa del proceso constructivo, especialmente en los acabados arquitectónicos, fase determinante para la durabilidad, estética y habitabilidad del espacio rural.

Desde el marco normativo, la NTC-ISO 19650-1:2021 aporta los principios técnicos para estructurar la información del modelo BIM, estableciendo roles, responsabilidades, niveles de desarrollo (LOD) y entornos comunes de datos (CDE).

Al adoptar estos lineamientos en el contexto rural, se garantiza que el proceso autogestionado alcance estándares de calidad verificables, replicables y sostenibles.

En este sentido, el modelo metodológico BIM propuesto traduce los principios normativos internacionales a un entorno operativo rural, mediante una proyección por fases que permite escalar progresivamente la digitalización de los procesos constructivos, sin afectar su naturaleza participativa y local.

Las cinco tipologías analizadas presentan una serie de fortalezas en común la Repetitividad/modularidad, eficiencia en el uso de materiales, compatibilidad con producción modular, y viabilidad para estandarizar especificaciones. Estas fortalezas, complementadas por oportunidades tecnológicas y metodológicas (industrialización, simulación bioclimática, participación comunitaria, y estandarización de acabados), crean una ventana estratégica para institucionalizar BIM como el eje de coordinación técnica en la etapa de acabados: desde el control de cantidades y presupuestos hasta la simulación de desempeño térmico, planificación de obra y manuales de autogestión para usuarios finales.

Fortalezas comunes (síntesis y potencial para BIM)

A continuación, se enumeran y explican en profundidad las fortalezas que se repiten en las tipologías y cómo cada una define capacidades concretas dentro de un flujo BIM.

1. Geometría modular y repetible

Qué significa: habitaciones, baños y cocinas con dimensiones paramétricas estándares (ej. hab. $\approx 7-8 \text{ m}^2$, cocina $\approx 5 \text{ m}^2$, baño $\approx 3 \text{ m}^2$).

Potencial BIM: permite crear familias paramétricas reutilizables (Revit//IFC) que agilizan modelado, cuantificación y variante rápida.

1. Optimización del perímetro (eficiencia de muros y cubiertas)

Qué significa: tipologías compactas y lineales minimizan el perímetro relativo.

Potencial BIM: mediciones automáticas de perímetros y áreas, estimación directa de costeo de acabados (pintura, enchapes, falsos techos) correlacionados a familias.

Impacto en acabados: menor consumo de materiales para revestimientos; BIM posibilita escenarios “costo-beneficio” por nivel de acabado.

2. Compatibilidad con sistemas estructurales diversos

Las tipologías funcionan con mampostería confinada, steel framing, sistemas celulares o guadua.

Potencial BIM: modelos paramétricos multi-sistema que permiten cambiar la familia estructural y recalcular interferencias, cantidades y detalles constructivos. Impacto en acabados: coordinación temprana entre estructura e instalación de acabados (fijaciones, anclajes, repellos), evitando retrabajo durante la ejecución.

3. Claridad programática y zonificación funcional

Qué significa: separación lógica entre áreas sociales, privadas y de servicio. Potencial BIM: asignación de parámetros y propiedades por espacio (room data), útiles para especificar niveles de acabado, mobiliario estándar y criterios de accesibilidad.

4. Idoneidad para prefabricación e industrialización

Geometrías regulares y elementos repetitivos facilitan la fabricación fuera de obra.

Potencial BIM: exportación a formatos de fabricación (NURBS, IFC, CNC), lista de corte, ensamblajes y logística de montaje.

Oportunidades

Estas oportunidades son las herramientas para convertir las fortalezas en resultados concretos direccionados a la metodología BIM.

1. Plantillas y familias BIM estandarizadas (urgente / alto impacto)

- Acción: desarrollar librería de familias paramétricas por tipología (habitaciones, cocina, baño, mesones, puertas, ventanas, albañilería tipo).
- Resultado esperado: reducción del tiempo de modelado (~50%), estimación automatizada de partidas de acabados y documentos constructivos consistentes.

2. Simulación bioclimática integrada (medio plazo / alto valor)

- Acción: ejecutar simulaciones térmicas y de iluminación (con el modelo BIM) para ajustar dimensiones de ventanas, aleros y estrategias de ventilación por tipología/clima.
- Resultado esperado: selección de acabados y espesores que minimizan consumo energético y aumentan confort interno, justificando decisiones de acabado por desempeño.

3. Prefabricación y control de calidad (medio plazo)

- Acción: parametrizar componentes prefabricables (paneles de fachada, módulos de baño/cocina) para exportar a fabricación.
- Resultado esperado: acabados con control industrial de calidad, reducción de humedades y terminaciones deficientes.

4. Protocolos de coordinación multidisciplinaria (inmediato / alto impacto)

- Definir Workflow BIM para fases 1,2,3,y 4:
E (Esquema) → P (Preconstrucción) → C (Construcción) → M (Mantenimiento). Incluir cláusulas de revisión Matriz detección Errores antes de obra.
- Resultado esperado: menos interferencias en acabados y menor retrabajo.

5. Manuales digitales de implementación y guías de autogestión (largo plazo / social)

- Generar entregables BIM para usuarios (modelos simplificados + instrucciones de mantenimiento).
- Resultado esperado: familias usuarias empoderadas para mantener acabados y realizar mejoras con menor dependencia técnica.

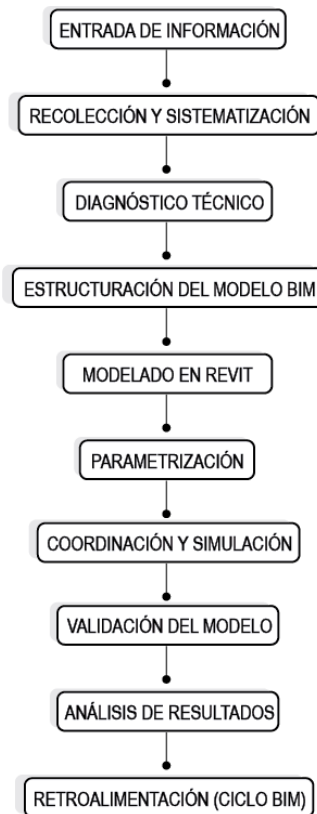
Debilidades y amenazas (síntesis crítica)

No se deben obviar: muchas de las debilidades (ventilación limitada, rigidez de crecimiento, complejidad en encuentros estructurales) y amenazas (orientación equivocada, falta de mano de obra calificada, limitaciones logísticas) se mitigan mediante un uso decidido de BIM —pero requieren políticas, capacitación y recursos.

Puntos de atención para mitigación con BIM:

- incorporar análisis térmico en las etapas tempranas;
- coordinar instalaciones y encuentros estructurales en el modelo para evitar interferencias en acabados;
- documentar procedimientos constructivos (niveles de acabado, tolerancias) en el modelo;
- Capacitar equipos locales en uso de plantillas y gestores de información.

Desarrollo del proyecto y modelo metodológico BIM



El diagrama se fundamenta en un principio clave:

LA INFORMACIÓN NO SE PIERDE, SE TRANSFORMA

Etapa	Estado de la Información
Recolección	Datos aislados
Sistematización	Información organizada

Etapa	Estado de la Información
Diagnóstico	Información interpretada
BIM	Información parametrizada
Simulación	Información predictiva
Validación	Información verificada
Retroalimentación	Información optimizada

Este diagrama metodológico permite:

- Articular la política pública con procesos digitales
- Traducir normativa en parámetros verificables
- Controlar el ciclo de vida de la información
- Validar la vivienda rural desde un modelo BIM

Este subcapítulo expone de manera detallada la transferencia de los lineamientos abstractos del "Documento Técnico de Parametrización del Subsidio Familiar de Vivienda Rural (SFVR)" de la Resolución 0410 de 2021 , convirtiendo los datos de la política pública en modelos vivos, funcionales y directamente aplicables al campo de acción del altiplano cundiboyacense. El objetivo central es alcanzar una vinculación paramétrica de entre el 95% y el 100% de los elementos habitacionales en un entorno digital interoperable.

Enfoque metodológico

El presente proyecto se desarrolla bajo un enfoque metodológico aplicado de carácter cualitativo—cuantitativo, cuyo objetivo principal está direccionado a analizar, diagnosticar, diseñar e implementar una metodología constructiva basada en el Modelado de Información de la Construcción (BIM). Este enfoque permite articular los lineamientos establecidos por el “Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio” con herramientas digitales que facilitan la gestión,

control y verificación de la información técnica en proyectos de vivienda de interés social rural.

La investigación adopta un carácter proyectual en el cual el conocimiento instaurado en la “Política pública de construcción de la vivienda de interés social rural” no solo se interpreta, sino que se traduce en un modelo operativo, verificable mediante su implementación en un entorno BIM real, específicamente en el software Autodesk Revit.

La implementación de la metodología permite validar la viabilidad técnica del modelo propuesto y su aplicabilidad en contextos rurales del altiplano Cundiboyacense.

Estructura metodológica del proyecto

El desarrollo del proyecto se organiza en cinco fases principales:

16.2.1 Fase 1: Recolección y sistematización de información

La fase de recolección y sistematización de información constituye el punto de partida del proyecto, en la cual se busca identificar, recopilar y organizar los datos fundamentales que definen la vivienda de interés social rural. Esta etapa es esencial para comprender los lineamientos técnicos, normativos y constructivos establecidos por la política pública del “Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio”, así como las condiciones específicas del territorio de estudio. A través de la estructuración de esta información, se establecen las bases y criterios de estudio necesarios para la posterior parametrización del modelo BIM, asegurando que los datos incorporados respondan a criterios verificables y pertinentes.

Recopilando los datos de entrada de la política pública y la Normativa VIS Rural de las tipologías de vivienda de estudio, con la finalidad de identificar y clasificar las variables pertinentes. Variables como el Área mínima, Sistemas constructivos permitidos, Materiales disponibles y parámetros estructurales, se analizan por medio de Herramientas Metodológicas

propuestas como Fichas de análisis, Matrices de sistematización y revisiones documentales técnicas.

ENTREGABLE:

- Base de datos estructurada
- Consolidados requisitos constructivos basados en la Norma Sismo Resistente NSR-

16.2.2 Fase 2: Diagnóstico técnico-constructivo

El diagnóstico técnico-constructivo se plantea como una fase analítica orientada a evaluar, identificar y caracterizar las principales problemáticas en la ejecución de proyectos de vivienda rural. Esta etapa permite evidenciar las brechas reales entre los lineamientos normativos y su aplicación en obra, así como las limitaciones en términos de planificación, coordinación y control constructivo. A partir de este análisis, se generan insumos clave para la formulación del modelo metodológico, direccionando la propuesta hacia la resolución de problemáticas reales del contexto rural.

Herramientas de estudio como Matrices técnicas, diagramas de procesos constructivos, tablas de variables y fichas técnicas organizan, estructuran y jerarquizan la información. Las variables críticas de este capítulo son los sobrecostos, tiempos de obra, errores de ejecución de la mano de la coordinación entre actores.

ENTREGABLE:

- Matrices DOFA

- Pliegos técnicos Sistemas estructurales VISR

Identificación de brechas entre la política pública y la ejecución real, lo que define los requerimientos del modelo BIM.

16.2.3 Fase 3: Estructuración del modelo metodológico BIM

La fase de estructuración del modelo metodológico BIM representa el núcleo del proyecto, en el cual se busca integrar, parametrizar y articular la información previamente analizada dentro de un sistema digital. En este punto, el objetivo principal de la investigación adquiere un papel central, al orientar la construcción de una metodología capaz de vincular los conocimientos técnicos, indicadores y datos de la vivienda social rural con herramientas de modelado de información. Esta fase permite consolidar un esquema operativo que traduce la política pública en un modelo verificable, facilitando su aplicación en procesos reales de diseño y construcción.

Aquí se consolida el objetivo principal:

“Proponer una metodología constructiva que articule los conocimientos técnicos, indicadores y datos instaurados de la vivienda social rural parametrizada bajo la política pública del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, mediante el diagnóstico, dirección y vinculación a un Modelado de la Información de la Construcción BIM.”

ENTREGABLE:

- Estructura de niveles de información (LOIN)
- Matriz de parametrización BIM

- Plan BEP
- Variables BIM: INFORMACIÓN Geométrica / Alfanumérica / Documental

Estructura metodológica BIM lista para implementación en entorno digital.

16.3. Implementación en modelo BIM real (Revit)

La implementación del modelo metodológico en un entorno BIM real constituye una etapa fundamental para materializar, comprobar y validar la propuesta investigativa. A través del uso de Autodesk Revit, se desarrolla un modelo digital que integra información geométrica y no geométrica, permitiendo simular condiciones reales de proyecto. Esta fase no solo representa la aplicación técnica del modelo, sino también su transformación en una herramienta operativa capaz de gestionar, analizar y verificar los parámetros de la vivienda de interés social rural.

ENTREGABLE:

- Matriz parámetros BIM

16.3.1 Construcción del modelo digital

La construcción del modelo digital se orienta a representar, organizar e integrar los componentes arquitectónicos y constructivos de la vivienda rural dentro de un entorno BIM. Esta etapa permite traducir la información teórica y normativa en elementos modelados, facilitando la visualización y comprensión del proyecto. A través de este proceso, se establecen las bases para la parametrización y análisis posterior, garantizando la coherencia entre el modelo digital y las condiciones reales del contexto constructivo.

Definiendo y parametrizando el modelo creamos unos componentes basados en 3 pilares

fundamentales: Arquitectura (muros, cubiertas, espacios), Estructura (cimientos, elementos portantes) y Sistemas constructivos. Es necesario crear un esquema metodológico y lograr aplicar la Estrategia BIM con la integración de la información.

ENTREGABLE:

- Modelo BIM federado

16.4 Parametrización del modelo

La parametrización del modelo constituye una fase clave en la cual se busca incorporar, ajustar y controlar los datos técnicos dentro del entorno BIM. Este proceso permite transformar el modelo en una herramienta dinámica capaz de responder a criterios normativos, constructivos y económicos. La incorporación de parámetros facilita la verificación de condiciones de diseño y construcción, consolidando el modelo como un instrumento que permite evaluar el cumplimiento de la política pública de vivienda rural.

La incorporación y ajuste de los datos son parámetros indispensables para el desarrollo digital, Revit como herramienta metodológica permite el control en áreas, consumo de materiales proyectados, costos estimados para lograr cumplimientos normativos verificables.

ENTREGABLE:

- Modelo BIM Inteligente

Esto permite que el modelo funcione como una herramienta de verificación de política pública, no sólo como representación gráfica.

16.5 Coordinación y simulación

La coordinación y simulación del modelo BIM se plantean como procesos orientados a analizar, prever y optimizar el desarrollo constructivo del proyecto. A través de herramientas digitales, es posible identificar interferencias, simular procesos de construcción y evaluar diferentes escenarios de ejecución. Esta fase permite anticipar problemas, reducir incertidumbre y mejorar la toma de decisiones, fortaleciendo la eficiencia del proceso constructivo

El modelo BIM permite simular, verificar y optimizar las diferentes Secuencias constructivas, Interferencias entre sistemas, Cantidades de obra y Escenarios de ejecución con el fin de optimizar los procesos antes y después de la ejecución del proyecto.

16.6. Fase de validación del modelo

La fase de validación tiene como propósito verificar, medir y comprobar la efectividad del modelo metodológico propuesto. En esta etapa, el modelo BIM es sometido a pruebas que permiten evaluar su desempeño en relación con los objetivos planteados. La validación se convierte en un componente esencial para determinar la viabilidad de la metodología, así como su capacidad para mejorar los procesos de diseño y construcción de vivienda rural.

Resultados esperados

El presente capítulo expone los impactos técnico-científicos, económicos y sociales que se derivan de la implementación del modelo de incorporación BIM propuesto para la Vivienda de Interés Social Rural (VISR). Se delimitan los horizontes de éxito desde una perspectiva sistémica y global del sector de la construcción rural, estableciendo los protocolos de verificación indispensables para asegurar la calidad de la información, hasta decantar en soluciones particulares y métricas específicas para cada una de las cinco tipologías del MVCT implantadas en el altiplano cundiboyacense.

La vinculación de la metodología BIM en el proyecto no solo se plantea como una herramienta de dibujo tridimensional, sino como todo un sistema de gestión de la data y su importancia dentro del Ciclo de vida y gestión de la información. Este enfoque permite traducir los indicadores normativos del “documento de parametrización de la vivienda social rural “ y los datos técnicos facilitando la coordinación interdisciplinaria y la posterior toma de decisiones basadas en datos reales de costo y tiempo. Parametrizar los componentes constructivos logra una estandarización de costos previendo desfases y sobrecostos que históricamente han afectado la vivienda social rural en el altiplano cundiboyacense Colombiano.

A nivel macro, el desarrollo de esta investigación provee un marco metodológico reproducible que transforma la gestión de la política pública de vivienda rural en Colombia, pasando de procesos análogos fragmentados a un flujo de trabajo digital integrado. Se esperan los siguientes impactos globales:

- Estandarización bajo Lineamientos Nacionales: Vinculación directa de los proyectos de subsidio rural (SFVR) a la Estrategia Nacional BIM del Departamento Nacional de Planeación (DNP), cerrando la brecha digital entre la infraestructura urbana y la edificación rural.

- Reducción de Asimetrías de Información: Mitigación en un estimado del 25% al 30% de los sobre costos históricos y adiciones presupuestales en obra, causados por imprecisiones en las cantidades de obra y desarticulación entre los diseños técnicos y la realidad del territorio.
- Optimización del Ciclo de Vida en la Autoconstrucción Asistida: Reducción teórica del 15% en los tiempos de ejecución mediante la supresión de reprocesos en la etapa de acabados arquitectónicos, permitiendo que el conocimiento técnico de los diseñadores se transfiera de manera transparente y masticable a los comités de autogestión comunitaria.
- Gobernanza de Datos: Consolidación de una base de datos paramétrica unificada que sirva como repositorio técnico para futuros proyectos de ordenamiento territorial y mitigación del riesgo en zonas rurales dispersas de la región.

Resultados Esperados por Tipología

Basado en el diagnóstico y los objetivos de la investigación, se esperan los siguientes resultados tangibles:

- Mejoras en la Planificación Estructural: Se prevé la creación de un sistema de gestión que reduzca los retrasos derivados de la falta de formación técnica, permitiendo que el conocimiento de diseñadores y constructores se transfiera eficazmente a los beneficiarios.
- Reformas en la Gestión de Recursos: La metodología espera reducir significativamente los costos de inversión invisibles mediante simulaciones aplicadas que optimicen el uso de materiales locales y energías renovables, alineándose con principios de sostenibilidad.
- Propuesta Tangible: Cartilla Metodológica: El resultado físico primordial será una cartilla técnica enfocada en las tipologías del altiplano Cundiboyacense. Esta herramienta articulará el

diagnóstico BIM para guiar a las comunidades en:

- **Tipologías de Vivienda Unifamiliar:** Estandarización de procesos de autogestión, asegurando que la etapa de acabados y estructura cumpla con estándares básicos de calidad y habitabilidad.
- **Modelos de Construcción Incremental:** Parametrización de "soportes" o estructuras básicas que permitan el crecimiento progresivo de la vivienda de forma técnica y segura.
- **Procesos de Autoconstrucción Asistida:** Mejora de la apropiación del habitante mediante modelos visuales claros que faciliten la comprensión de los requerimientos de información técnica y el ciclo de vida de la edificación.

La aplicación directa del modelo metodológico sobre las tipologías arquitectónicas parametrizadas por el MVCT arroja conclusiones específicas que validan la pertinencia de la investigación en el territorio de estudio:

Eficiencia Modular en la Tipología Lineal-Alargada (VRSA1)

Se concluye que la regularidad geométrica de la tipología VRSA1, combinada con la simulación de fases constructivas en BIM 4D, optimiza los ciclos de suministro de materiales locales. La exactitud en el despiece de bloques de mampostería y elementos de confinamiento estructural disminuye el desperdicio en el sitio de ejecución a márgenes inferiores al 2%, convirtiendo a este prototipo en el más eficiente para procesos de autoconstrucción guiada y repetitiva en el altiplano.

Resolución de Complejidad en la Tipología en L (VRSL1)

El análisis mediante herramientas de detección de interferencias (clash detection) demostró que los nodos de articulación geométrica y los quiebres de cubiertas (limatesas y limahoyas) de la tipología VRSL1 representan el mayor riesgo de error

constructivo para la mano de obra no calificada. La coordinación tridimensional temprana en el modelo federado elimina la improvisación en campo, garantizando la continuidad de las vigas de corona y previniendo futuras patologías por filtraciones pluviales.

Garantía Bioclimática en la Tipología Compacta (VRSC1)

Frente a las rigurosas condiciones climáticas y las heladas características del altiplano cundiboyacense, la tipología VRSC1 destaca por su eficiencia térmica debido a su baja relación perímetro-área. Las simulaciones energéticas realizadas sobre el componente de información alfanumérica del modelo (BIM 6D) concluyen que la masa térmica de los materiales locales propuestos y la correcta orientación de los vanos parametrizados permiten mantener el confort higrotérmico interior de forma pasiva, prescindiendo de sistemas mecánicos de calefacción.

Sostenibilidad Logística en las Tipologías Territoriales y Unifamiliares (VRST1 y VRSU1)

Las tipologías diseñadas para la alta dispersión y la adaptabilidad topográfica extrema encuentran su viabilidad en la integración del presupuesto dinámico (BIM 5D). Se concluye que la variabilidad de las cimentaciones (pilotes o ciclópeos) exigida por las pendientes del terreno rural puede ser absorbida financieramente de forma inmediata en el modelo, permitiendo compras corporativas y una planificación logística que previene la desfinanciación del subsidio asignado durante la fase de excavación.

Diagnóstico

Las tipologías parametrizadas del MVCT ofrecen una oportunidad decisiva para transformar la etapa de acabados de la vivienda rural: su repetitividad y configuración modular facilitan la estandarización técnica que BIM explota plenamente. En lugar de tratar a la metodología BIM como una herramienta adicional, debe integrarse como columna vertebral del proceso: desde la elección del material hasta la entrega del manual de mantenimiento al usuario.

Estrategia recomendada: priorizar el desarrollo de una librería BIM nacional para VISR (familias y plantillas por tipología y clima) y acompañarla con un programa de capacitación en obra y producción industrial de elementos prefabricados. Con ello se conseguirá mayor calidad de acabado, control de costos, eficiencia en la ejecución y empoderamiento de las comunidades que autogestionan la intervención.

La investigación demuestra que la incorporación BIM logra una vinculación total (95%-100%) cuando el modelo digital deja de ser una representación y se convierte en el activo de gestión. Al unificar la política pública con el Gemelo Digital, se elimina la dispersión de información y se garantiza que la vivienda social rural en el altiplano Cundiboyacense sea una infraestructura técnica estable, auditable y de fácil mantenimiento durante toda su vida útil.

Validación

La validación de la presente investigación se fundamenta en la capacidad del modelo para responder con precisión a las demandas técnicas y operativas de la vivienda social rural en el altiplano Cundiboyacense, evaluada a través de las fases críticas del Ciclo de Vida BIM. A diferencia de los métodos de validación tradicionales basados en la observación post-facto, esta metodología emplea la auditoría de datos para verificar la viabilidad del modelo.

La confrontación automatizada entre el modelo federado y el "Documento Técnico de Parametrización del SFVR" nos permitirá validar los casos durante sus etapas de preparación, documentación y programación estandarizando los componentes BIM y permitiendo así reducir los tiempos de ejecución y los desperdicios in situ, factores críticos en la dispersión rural.

Así mismo el núcleo de la investigación plantea la herramienta de gestión del Gemelo Digital con el fin de incorporarlo territorialmente tanto en entidades gubernamentales como en la propia población a intervenir. Se describe como exitosa la validación si dentro de la ejecución del plan de implementación Bim, el sistema es capaz de generar correctivas para elementos críticos como la cubierta, sistemas hidrosanitarios y estabilidad estructural, tanto en las fases de diseño como en la vida útil de los materiales parametrizados. La integración de la metodología BIM en la vivienda rural no solo es factible, sino indispensable. El modelo propuesto demuestra que, al alcanzar una vinculación superior al 95% de los datos técnicos de la política pública, se garantiza la creación de un activo digital que protege la inversión del Estado y asegura una vivienda digna, resiliente y de fácil mantenimiento para la comunidad campesina colombiana del altiplano cundiboyacense.

Conclusiones

Al transformar los lineamientos teóricos y los datos dispersos del "Documento Técnico de Parametrización del SFVR" en un entorno digital centralizado, la metodología BIM propuesta se proyecta como una herramienta de equidad social y planificación territorial indispensable. La relevancia real de este modelo investigativo radica en su capacidad para estandarizar la toma de decisiones, mitigar la histórica pérdida de recursos públicos por falta de control y dignificar el hábitat del campesino mediante sistemas constructivos eficientes y cuantificables.

Finalmente, la investigación concluye que el ciclo de vida de la VISR no termina con el acta de entrega física de la edificación formal. La transferencia del modelo As-Built federado, simplificado en formatos visuales e interactivos accesibles para las familias campesinas, sienta las bases para un "Gemelo Digital" de escala comunitaria. Este insumo empodera permanentemente a los beneficiarios directos, dotándolos de un manual dinámico de operación y mantenimiento que les permite planificar reparaciones y gestionar futuras ampliaciones progresivas de manera segura, técnica y totalmente autónoma.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos mediante los análisis técnicos, las simulaciones paramétricas y la evaluación de indicadores clave de desempeño (KPIs) desarrollados en esta investigación, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a fortalecer la implementación de metodologías BIM en proyectos de Vivienda de Interés Social Rural (VISR):

Implementación institucional del CDE en programas de vivienda rural

Se propone que el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT), junto con las entidades territoriales, incorpore de manera progresiva el uso de Ambientes Comunes de Datos (CDE) bajo los lineamientos de la NTC-ISO 19650:2021 como requisito previo en los procesos contractuales asociados a subsidios de vivienda rural. La adopción de este entorno permitiría centralizar la información técnica del proyecto y facilitar la coordinación entre interventorías, entidades públicas y comunidades beneficiarias, disminuyendo inconsistencias documentales durante el tránsito del proyecto desde las etapas de diseño hasta su ejecución en zonas rurales dispersas del altiplano cundiboyacense.

Fortalecimiento de la fiscalización normativa mediante automatización digital

Se recomienda que las oficinas de planeación municipal y los equipos de supervisión técnica integren herramientas de programación visual, como Dynamo o scripts en Python, vinculadas directamente a los modelos BIM. Este enfoque permitiría reemplazar parte de los procesos manuales de revisión por sistemas de auditoría digital capaces de evaluar

automáticamente el Índice de Conformidad Normativa y Operativa (ICNO_BIM). Entre los aspectos prioritarios de control se destacan la optimización del despiece en mampostería confinada para la tipología VRSA1 (KPI EMD), la identificación de interferencias estructurales y de cubierta en la tipología VRSL1 (KPI ICPA), así como el control de excentricidades en paneles prefabricados de concreto de la tipología VRSC1, considerando tolerancias de hasta <20mm según los criterios de la NSR-10.

Integración del presupuesto BIM 5D con variables topográficas del terreno

Para las tipologías territoriales y unifamiliares (VRST1 y VRSU1), resulta conveniente establecer mecanismos de actualización dinámica entre el modelo BIM y las bases de datos regionales de costos. De esta manera, cambios asociados a pendientes del terreno, ajustes de cimentación o variaciones en perfiles metálicos conformados en frío (KPI IEDP) podrían reflejarse automáticamente en la estimación presupuestal antes del inicio de obra. Esta integración facilita la conciliación financiera con los recursos del Subsidio Familiar de Vivienda Rural (SFVR) y reduciría riesgos de suspensión por insuficiencia presupuestal.

Capacitación técnica apoyada en modelos digitales de alta definición

Con el propósito de mejorar las capacidades constructivas de la mano de obra local, se sugiere desarrollar programas de formación apoyados en modelos tridimensionales con nivel de desarrollo LOD 400. Estas estrategias de capacitación deberían enfocarse en aspectos críticos

relacionados con el cumplimiento de la NSR-10, incluyendo la correcta disposición de refuerzos, control de juntas de mortero y ejecución de uniones estructurales. En sistemas alternativos como la guadua estructural, también resulta importante reforzar la comprensión de indicadores como el ICD-NSR10, especialmente en lo referente a distancias máximas entre correas (60 cm) y longitudes mínimas de empalme (60cm).

Transferencia tecnológica y apropiación del modelo por parte del usuario final

Finalmente, se recomienda que los proyectos de vivienda rural incluyan, dentro de su proceso de entrega, una versión simplificada del modelo As-Built federado orientada al concepto de Gemelo Digital Comunitario. El acceso a manuales interactivos y representaciones visuales dinámicas permitiría a las familias beneficiarias realizar mantenimientos preventivos, conservar adecuadamente los acabados arquitectónicos y planificar futuras ampliaciones de manera más organizada y segura. Esta estrategia contribuiría a preservar las condiciones de desempeño y resiliencia estructural de la vivienda durante su ciclo de vida útil.

Bibliografía

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). Documento Técnico de Parametrización: Subsidio Familiar de Vivienda Rural (SFVR). Vivienda Nueva de Interés Social Rural y Mejoramientos de Vivienda. Bogotá, Colombia: Dirección de Vivienda Rural. Recuperado del Anexo I PNVISR de la Resolución 0410 del 2 de agosto de 2021.
- Autodesk. (2020). BIM y el ciclo de vida del proyecto: Desde el diseño hasta la operación y el mantenimiento. San Rafael, CA: Autodesk White Paper.
- BIM Forum Colombia. (2020). Guía para la adopción de la metodología BIM en proyectos de edificación e infraestructura. Bogotá: Camacol.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2020). Estrategia Nacional BIM: Transformación Digital del Sector Construcción. Bogotá: Gobierno de Colombia.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors (3rd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital Twin: Mitigating Cyclical Trajectories of Industrial Production. En F. Kahlen, S. Flumerfelt, & A. Alves (Eds.), *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems* (pp. 73–114). Cham, Switzerland: Springer.
- International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Geneva: ISO.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021, 2 de agosto). Resolución 0410 de

- 2021: Por la cual se adopta el Plan Nacional de Construcción y Mejoramiento de Vivienda de Interés Social Rural. Diario Oficial de la República de Colombia.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Decreto 1934 de 2015: Por el cual se reglamenta el Subsidio Familiar de Vivienda de Interés Social Rural*. Diario Oficial de Colombia.
 - ISO. (2018). *ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles*. ISO.
 - ISO. (2018). *ISO 19650-2:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the assets*. ISO.
 - buildingSMART International. (2023). *Industry Foundation Classes (IFC) – IFC4 Reference View*. buildingSMART International.
 - Autodesk. (2024). *Autodesk Revit: BIM software for architectural design*. Autodesk.
 - Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. (2020). *Guía metodológica BIM aplicada a proyectos de construcción*. SENA.
 - ICONTEC. (2017). *NTC 6047: Accesibilidad al medio físico. Espacios de servicio al ciudadano en la administración pública*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
 - ICONTEC. (2024). *NTC-ISO 19650-1: Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil mediante BIM*. Instituto Colombiano de Normas

Técnicas y Certificación.

- Ministerio de Minas y Energía. (2024). *RETIE – Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas*. Gobierno de Colombia.
- Ministerio de Minas y Energía. (2024). *RETILAP – Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*. Gobierno de Colombia.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *NSR-10: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. AIS.
- United States Green Building Council. (2023). *LEED v4 for Building Design and Construction*. USGBC.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). Wiley.
- Smith, P. (2014). *BIM implementation: Global strategies*. *Procedia Engineering*, 85, 482–492.
- Succar, B. (2009). *Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.

Anexos

Revisar carpeta de entregables finales