

**Contribución del BIM para potenciar la sostenibilidad de proyectos de infraestructura en
el marco de los ODS 9 y 12 en la empresa CONCREARMADO SAS**

Elaborado por:

Xiomara Andrea Delgadillo Ortega

Yuri Katherine Duarte Pedraza

Cristian David Dimas Caro

Fernando Amar Garzón

Universidad EAN

Especialización en Gerencia de Proyectos

Escuela de Formación en Investigación

Seminario de Investigación de Pregrado

Bogotá

18/12/2025

Tabla de Contenido

Resumen	5
Problema de Investigación	6
Objetivos	8
Objetivo general.	8
Objetivos específicos.....	8
Justificación	8
Marco Teórico.....	10
Objetivos de desarrollo sostenible	10
Objetivo de desarrollo sostenible No.9 Industria, Innovación e infraestructura	12
Objetivo de desarrollo sostenible No.12 Producción y Consumo Responsables	13
Implementación de los objetivos de desarrollo sostenible en Colombia	15
Building Information Modeling - BIM	20
Introducción a la metodología BIM.....	20
Dimensiones del BIM (3D-7D)	21
Funcionalidades clave del BIM	23
Beneficios con impacto en sostenibilidad.....	23
BIM y sostenibilidad en proyectos de infraestructura	24
Metodología	25
Primer nivel.....	27
Enfoque de la investigación	27
Definición de Variables	29
Población y Muestra	30
Marco Muestral.....	30
Muestra.....	31
Segundo nivel.....	31
Selección de métodos o instrumentos para recolección de información	31
Técnicas de análisis de datos	32
Análisis y discusión de resultados.....	34
Resultados de encuesta	35
Análisis con indicadores estadísticos:	49
Conclusiones	52
Conclusiones resultados de encuesta	52
Conclusiones Análisis con indicadores estadísticos	54
Trabajo futuro específico – Relación 3 (Modelado energético 6D y huella de carbono – ODS 12.2).....	55
Referencias.....	58
Anexo.....	60

Lista de Tablas

Tabla 1 Dimensiones del BIM (3D – 7D).....	23
Tabla 2 Funcionalidades BIM y su Impacto en la Sostenibilidad	24
Tabla 3 Definición de Variables	25
Tabla 4 Definición de variables - Mapeo de BIM-ODS	29
Tabla 5. Análisis Con Indicadores Estadísticos	50
Tabla 6. Validación de hipótesis o relaciones (1–6)	54
Tabla 7 Trabajo futuro para la relación 3	55
Tabla 8 Resultados esperados trabajo futuro relación 3	56

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1 Alineación por misiones estratégicas con los ODS.....	17
Ilustración 2 Representación BIM	21
Ilustración 3 interpretación de resultados de correlación	34
Ilustración 4 Resultados preguntas datos encuestados	35
Ilustración 5 Resultados preguntas relación No.1 – Modelo energético 6D y ODS 9.4	37
Ilustración 6 Resultados preguntas relación No.2 – Mantenimiento predictivo 7D y ODS 12.2.....	39
Ilustración 7 Resultados preguntas relación No.3 – Mantenimiento predictivo 6D y ODS 12.....	42
Ilustración 8 Resultados preguntas relación No.4 – Gestión de Interferencias entre áreas de diseño 3D y ODS 12.5.....	44
Ilustración 9 Resultados preguntas relación No.5 – Planificación de línea base en costos y tiempos 4D/5D y ODS 12.2	46
Ilustración 10 Resultados preguntas relación No.6 – Modelado energético 6D y ODS 9.4	48
Ilustración 11 Resultados estadísticos relaciones ODS-BIM.....	49
Ilustración 12 Diagrama Gantt	50

Resumen

En este estudio se analiza la contribución de la metodología *Building Information Model* (BIM) al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 9 y 12 en proyectos de infraestructura, mediante un enfoque mixto (Cualitativo y Cuantitativo) – descriptivo. La investigación se fundamenta en una revisión de literatura y en un mapeo BIM–ODS, con el fin de identificar características, funcionalidades (3D–7D) y mecanismos de impacto sobre dichos objetivos.

A partir de este mapeo, se aplicará una encuesta en la empresa CONCREARMADO S.A.S, dedicada al desarrollo de proyectos de infraestructura en Colombia, con el propósito de validar las relaciones establecidas en el marco teórico. Este proceso se sustenta en el aporte de la empresa, que permitirá incorporar la perspectiva, los criterios y la experiencia real del sector, particularmente en las fases de diseño, construcción y cierre.

La medición de variables se apoyará en indicadores de desempeño y sostenibilidad, tales como: reducción de residuos (kg/m^2), disminución de retrabajos y órdenes de cambio, eficiencia en programación y costos, y huella de carbono (kgCO_2e).

En síntesis, a partir de las seis relaciones BIM–ODS evaluadas con juicio de expertos, se valida que el uso de BIM en mantenimiento predictivo y planificación logística —integrando tiempos y costos— genera mejoras operativas y ambientales en el desarrollo de proyectos. Asimismo, BIM se configura como una herramienta de soporte a la decisión que orienta la gestión y acelera la adopción de prácticas sostenibles en infraestructura.

Palabras clave: Modelado de información de la construcción (BIM); Sostenibilidad; Infraestructura; Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS); Gestión de proyectos; Emisiones de gases de efecto invernadero

Problema de Investigación

El sector de la construcción se concentra una parte importante del consumo energético y de las emisiones globales de Gases de efecto invernadero (GEI), lo que exige transformar la forma en que se planifican y ejecutan los proyectos de infraestructura (IEA, 2023). La digitalización mediante BIM permite integrar datos multidimensionales para simular desempeño energético, optimizar materiales y apoyar decisiones tempranas con evidencia cuantitativa, incluyendo dimensiones 6D–7D orientadas a sostenibilidad y gestión del ciclo de vida (Nafees et al., 2025; ITA-AITES, 2025). A la par, los ODS 9 y 12 demandan infraestructura más eficiente y producción/consumos responsables, con metas como 9.4 (eficiencia de recursos y tecnologías limpias) y 12.5 (reducción de residuos) (Moran, 2015; WGBC, 2021).

Aunque la literatura reporta artículos con reducciones relevantes —por ejemplo, disminuciones de GEI en pavimentos gestionados con BIM a escala de ciclo de vida (Yunus et al., 2023) y mejoras en logística y cadenas de suministro (Zhao et al., 2024)—, la evidencia suele presentarse de forma aislada, sin un marco consolidado que cualifique y relacione sistemáticamente funcionalidades BIM con metas/indicadores específicos de los ODS 9 y 12.

En la práctica organizacional o de proyectos, BIM se aplica con énfasis en coordinación y control de interferencias, pero rara vez se mapea su contribución a indicadores de desempeño sostenible (p. ej., tCO₂e evitadas, % de residuos desviados, intensidad material o energética), especialmente en fases críticas de planificación y construcción, donde se fijan la mayoría de los impactos de largo plazo (WGBC, 2021; IEA, 2023). En Colombia, aun con avances de la Estrategia Nacional BIM —mejoras en costos, plazos y productividad—, la alineación explícita con metas ODS permanece poco documentada (NLA/JFSC/LOF, 2024; Ayala Monje et al., 2024).

De persistir la ausencia de un marco de correspondencia BIM-ODS, las organizaciones seguirán reportando beneficios operativos sin trazabilidad a objetivos de sostenibilidad, con

riesgo de *greenwashing* y pérdida de oportunidades para reducir 20–30 % de desperdicios y mejorar sustancialmente la eficiencia de recursos y emisiones (WGBC, 2021; IEA, 2023). Esto limitará la capacidad de cumplir con exigencias de compras públicas y estándares ESG (*Environmental, Social & Governance*), y dificultará priorizar inversiones en funcionalidades BIM que efectivamente aceleren la descarbonización y la economía circular en infraestructura (Zhao et al., 2024).

Se propone entonces, una investigación aplicada, de alcance descriptivo–correlacional, que construya y valide un mapeo entre funcionalidades/beneficios de BIM (3D–7D) y las metas 9.4 y 12.5 de los ODS, operadas mediante indicadores verificables (p. ej., tCO₂e por unidad funcional, % residuos reducidos/desviados, variación de consumo energético, intensidad material, retrabajos evitados), generando así, evidencia demostrable y transferible a contextos empresariales, de modo que se potencie la aplicación de la metodología BIM en la industria, gracias a su enfoque en sostenibilidad.

La estrategia metodológica combinará una revisión sistemática de literatura con la validación empírica de hipótesis mediante una encuesta aplicada a una empresa colombiana del sector de infraestructura, lo que permitirá contrastar teoría y práctica en un entorno real. Con base en lo anterior el presente documento responderá la pregunta:

¿Cómo influye la metodología BIM en la implementación de proyectos de infraestructura y al cumplimiento de las metas de los ODS 9 (industria, innovación e infraestructura) y 12 (producción y consumo responsables) optimizando las fases de diseño, construcción y cierre?

Objetivos

Objetivo general.

Analizar cómo la metodología BIM contribuye al logro de las metas de los ODS 9 y 12 en proyectos de infraestructura, identificando y evaluando funcionalidades, beneficios y mecanismos de impacto durante las fases de diseño, construcción y cierre, con base en la experiencia de la empresa CONCREARMADO SAS.

Objetivos específicos

1. Identificar las metas e indicadores clave de los ODS nueve (9) y doce (12) aplicables a proyectos de infraestructura.
2. Caracterizar la metodología BIM y sus dimensiones (3D–7D), identificando funcionalidades y beneficios con potencial impacto en sostenibilidad de proyectos de infraestructura.
3. Mapear la relación entre las funcionalidades y beneficios de BIM y las metas de los ODS 9 y 12, identificando los mecanismos de contribución y el grado de alineación de los proyectos con dichos objetivos.
4. Aplicar una encuesta a directores y residentes de obra de CONCREARMADO S.A.S. para contrastar estadísticamente las hipótesis sobre el aporte de las dimensiones BIM a metas específicas de los ODS 9 (p. ej., 9.4) y 12 (p. ej., 12.2, 12.5); y, con base en el marco teórico y en la evidencia empírica ($p < 0,05$; α de Cronbach $\geq 0,70$; acuerdo ≥ 70 %), formular intervenciones priorizadas y medibles para su implementación en las fases de diseño, construcción y cierre.

Justificación

La conveniencia de este estudio radica en que aborda una brecha concreta entre los beneficios reportados de BIM y su alineación medible con metas específicas de sostenibilidad,

particularmente ODS 9 (infraestructura e innovación) y ODS 12 (producción y consumo responsables). En un sector que concentra cerca del 37 % de las emisiones globales de CO₂ y gran parte del consumo energético, cualquier avance metodológico que permita cuantificar reducciones y eficiencias es oportuno y pertinente (IEA, 2023).

Su relevancia social es directa, pues mejorar la planificación y construcción de infraestructura con criterios verificables de sostenibilidad reduce desperdicios, emisiones y retrabajos, contribuye a servicios más resilientes y de mejor calidad para la ciudadanía, y apoya la transición hacia patrones de consumo y producción responsables (WGBC, 2021). Al vincular BIM con metas como 9.4 (eficiencia de recursos y tecnologías limpias) y 12.5 (reducción de residuos), el trabajo se alinea con la Agenda 2030 y con exigencias crecientes de contratación pública y reportes ESG.

Las implicaciones prácticas son altas para gerentes de proyectos, áreas técnicas y de compras: el estudio propone indicadores operativos (p. ej., tCO₂e evitadas, % de residuos desviados, intensidad material/energética, retrabajos evitados) y demuestra, mediante la aplicación de una encuesta en una empresa relacionada, cómo BIM mediante sus fases de programación, costos y logística, impacta temas ambientales y económicos relacionados con la sostenibilidad (Yunus et al., 2023; Zhao et al., 2024). Esta trazabilidad facilita priorizar inversiones digitales y orientar planes de mejora continua hace el uso BIM.

El valor teórico reside en describir de una manera sintetizada y eficiente los beneficios de la metodología BIM dentro de un marco de correspondencia entre funcionalidades/dimensiones de BIM (3D–7D) y metas/indicadores ODS, explicitando mecanismos causales y criterios de evaluación comparables. Así, el estudio contribuye a clarificar “cómo” y “en qué medida” BIM aporta a la sostenibilidad, superando narrativas genéricas.

Finalmente, la utilidad metodológica del estudio se materializa en una matriz BIM–ODS replicable, acompañada de un soporte teórico-práctico derivado de la encuesta aplicada a los

gerentes de proyecto, directores y residentes de obra de la empresa CONCREARMADO SAS. Esta combinación permitirá evidenciar las variables clave que pueden ser utilizadas por la industria de la construcción para respaldar el uso de BIM en diferentes contextos empresariales y en diversas tipologías de proyectos.

Marco Teórico

En el marco de la Agenda 2030, la adopción de metodologías innovadoras en la gestión y desarrollo de proyectos resulta fundamental para avanzar hacia un modelo de construcción sostenible y responsable. En este contexto, la metodología Building Information Modeling (BIM) se consolida como una herramienta estratégica que integra tecnología, colaboración y gestión eficiente de recursos durante todo el ciclo de vida de una obra. Su aplicación no solo optimiza procesos y costos, sino que también impulsa prácticas sostenibles alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), al contribuir a la eficiencia energética, la reducción de residuos, la planificación urbana inteligente y la innovación en el sector de la construcción. De esta manera, BIM se convierte en un catalizador para el cumplimiento de diversas metas de la Agenda 2030, favoreciendo un equilibrio entre el desarrollo económico, el bienestar social y la protección ambiental.

Objetivos de desarrollo sostenible

Tras décadas de crecimiento económico acelerado y avances significativos en tecnología, salud y educación, el mundo comenzó a evidenciar también profundas crisis sociales, ambientales y económicas que se agudizaron a finales del siglo XX. En este contexto, la comunidad internacional impulsó los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) en el año 2000, un conjunto de ocho metas centradas en reducir la pobreza extrema, mejorar la salud y la educación, y promover la igualdad de género.

Aunque estos objetivos lograron avances importantes, especialmente en la reducción de la pobreza y la expansión del acceso a la educación básica, también presentaron limitaciones significativas. Entre ellas se destacan la falta de un enfoque integral sobre la sostenibilidad ambiental, la ausencia de metas aplicables a todos los países —ya que estaban dirigidas únicamente a los denominados "en desarrollo"— y la escasa integración transversal de los sectores productivos y privados (United Nations, 2015).

Como respuesta a estas limitaciones, en el año 2015, los Estados miembros de las Naciones Unidas adoptaron por consenso la agenda 2030 para el desarrollo sostenible, que dio origen a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). A diferencia de los ODM, los ODS son universales, aplicables tanto a países desarrollados como en vía de desarrollo. Estas metas reconocen que los desafíos del siglo XXI —como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la pobreza persistente, las desigualdades estructurales y los conflictos— están interconectados y requieren soluciones integradas. Los ODS proporcionan un marco común para orientar las políticas públicas, las estrategias empresariales y las acciones sociales hacia un futuro más justo, resiliente y sostenible para todos los habitantes del planeta (Sachs, 2015; United Nations, 2015).

En ese contexto, los ODS se plantean como una hoja de ruta global para transformar el mundo hacia el año 2030, buscando erradicar la pobreza en todas sus formas, proteger el planeta y asegurar que todas las personas disfruten de paz y prosperidad. Esta agenda reconoce que el desarrollo sostenible no puede alcanzarse sin abordar simultáneamente la esfera social, económica y ambiental. Además, promueve una nueva lógica de corresponsabilidad: los gobiernos, las empresas, la academia y la ciudadanía deben ser protagonistas en la implementación de los ODS. En este sentido, los proyectos —como unidades de acción concreta al interior de organizaciones y comunidades— se convierten en vehículos estratégicos para lograr cambios tangibles que contribuyan al cumplimiento de las

metas globales. Gestionar proyectos alineados con los ODS implica ampliar la mirada más allá de los indicadores tradicionales de éxito (tiempo, costo y alcance), integrando criterios de impacto social, ambiental, ético y económico en cada fase del ciclo de vida del proyecto (Leal Filho et al., 2019).

De acuerdo con lo anterior, a continuación, realizamos la caracterización de los objetivos de desarrollo sostenibles a los que aportaría de manera positiva la metodología BIM:

Objetivo de desarrollo sostenible No.9 Industria, Innovación e infraestructura

Este objetivo busca construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva, sostenible, y fomentar la innovación. Este objetivo parte de la idea de que el desarrollo económico y social sostenible requiere de infraestructura moderna, tecnología, investigación y un sector industrial sólido, que además sea bajo en emisiones y respetuoso con el ambiente. Sus enfoques principales son:

1. Infraestructura resiliente
 - Acceso equitativo a carreteras, transporte, energía, agua y TIC.
 - Resiliencia ante el cambio climático y desastres.
2. Industrialización inclusiva y sostenible
 - Incrementar la participación de la industria en el empleo y el PIB.
 - Transición hacia tecnologías limpias y procesos sostenibles.
 - Mayor inclusión de países en desarrollo en cadenas de valor globales.
3. Fomento de la innovación
 - Impulso a la investigación científica y tecnológica.
 - Incremento de la inversión en investigación y desarrollo.

A continuación, se mencionan algunos ejemplos de sus 8 metas y 12 indicadores:

- Desarrollar infraestructuras de calidad, sostenibles, resilientes y accesibles (meta 9.1).
- Promover la industrialización inclusiva y sostenible, aumentando la participación de la industria en la economía (meta 9.2).
- Aumentar el acceso de las pequeñas industrias y empresas a servicios financieros y tecnológicos (meta 9.3).
- Modernizar infraestructuras y reconvertir industrias para que sean sostenibles y eficientes en el uso de recursos (meta 9.4).
- Fomentar la investigación científica, incrementar el número de investigadores y el gasto en investigación y desarrollo (meta 9.5).
- Facilitar el acceso universal y asequible a Internet en países menos desarrollados para 2030 (meta 9.c).

Objetivo de desarrollo sostenible No.12 Producción y Consumo Responsables

Este objetivo busca romper la relación entre crecimiento económico y degradación ambiental, promoviendo el uso eficiente de los recursos, la reducción de residuos, el reciclaje y la adopción de patrones de consumo responsables por parte de gobiernos, empresas y ciudadanos.

Este objetivo se fundamenta en lo siguiente:

- El modelo actual de producción y consumo genera presiones insostenibles sobre los ecosistemas.
- El uso intensivo de recursos naturales y la contaminación están ligados al cambio climático y la pérdida de biodiversidad.
- Adoptar patrones sostenibles significa hacer más con menos y garantizar bienestar a largo plazo.

El objetivo de desarrollo sostenible doce (12), tiene once (11) metas y trece (13) indicadores, entre los más relevantes:

1. Gestión sostenible de recursos naturales (12.2).
Uso eficiente de materiales, agua, energía y suelos.
2. Reducción de desperdicios de alimentos (12.3).
Reducir a la mitad el desperdicio per cápita de alimentos a nivel minorista y consumidor.
3. Gestión ambiental de químicos y desechos (12.4).
Manejo seguro de químicos y reducción de su liberación al aire, agua y suelo.
4. Reducción de generación de residuos (12.5).
Reducir, reciclar y reutilizar.
5. Prácticas sostenibles en empresas (12.6).
Promover reportes de sostenibilidad en grandes compañías.
6. Compras públicas sostenibles (12.7).
Incluir criterios ambientales y sociales en la contratación pública.
7. Información y estilos de vida sostenibles (12.8).
Asegurar que las personas tengan acceso a información para tomar decisiones responsables.
8. Apoyo a países en desarrollo (12.a y 12.b).
Fortalecer capacidades científicas y tecnológicas para patrones sostenibles.
Desarrollar herramientas de seguimiento del turismo sostenible.
9. Subsidios a combustibles fósiles (12.c).
Racionalizar incentivos que fomenten el consumo ineficiente de energía.

En síntesis, el objetivo de desarrollo sostenible doce (12) promueve una transición hacia economías circulares y estilos de vida sostenibles.

Implementación de los objetivos de desarrollo sostenible en Colombia

Colombia ha mantenido un compromiso sostenido con la Agenda 2030. El Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 orienta una transformación estructural del modelo de desarrollo, articulando cinco ejes estratégicos con los ODS. En 2024 se lograron avances clave en ordenamiento territorial, inclusión social, transición energética y equidad regional. Se formalizaron 986.848 hectáreas rurales, 251.000 personas superaron la pobreza multidimensional, la cobertura en educación superior llegó al 55,38 %, y se sumaron 1.871 MW en fuentes renovables. Además, se intervinieron 62.000 km de red vial, fortaleciendo la conectividad y reduciendo brechas territoriales (DNP, 2025).

Asimismo, se ha venido fortaleciendo la plataforma multiactor en el país para potenciar la acción colaborativa a través de la movilización de esfuerzos del Estado, el sector privado, la academia, los gobiernos territoriales y la sociedad civil. Esta plataforma, liderada por un Comité Ejecutivo representativo de seis grupos de actores, busca impulsar acciones concretas de localización territorial, asesoría técnica y movilización de recursos, y facilita la participación efectiva a través de grupos de trabajo temáticos y mecanismos de transparencia, seguimiento y rendición de cuentas.

Entre 2015 y 2025, Colombia ha demostrado un compromiso sostenido y en evolución con la implementación de los ODS, transitando de una fase inicial de apropiación institucional hacia una etapa más madura de ejecución estratégica. Este proceso ha estado marcado por tres hitos clave: la temprana incorporación de los ODS en los planes de desarrollo nacional, la adopción del CONPES 3918 de 2018 como hoja de ruta de política pública para alcanzar la Agenda 2030, y su integración programática en los planes de desarrollo territoriales, articulada con transformaciones estructurales como la seguridad alimentaria, la acción climática y la justicia social (DNP, 2024a). A ello se suma el fortalecimiento de herramientas técnicas y

operativas que han permitido facilitar la planeación territorial, orientar la inversión pública y hacer seguimiento del gasto con enfoque ODS.

La implementación de los ODS en Colombia ha estado profundamente articulada con las cinco transformaciones estructurales definidas en el PND 2022–2026. Esta alineación no solo se refleja en la formulación de políticas públicas, sino también en los resultados concretos medidos a través de los indicadores priorizados en el Balance de Resultados del PND 2024. A continuación, se presentan las principales correspondencias entre transformaciones, ODS 7,8,9,12 y 12 y logros alcanzados.

Transformación productiva, internacionalización y acción climática

Esta transformación se alinea con los ODS 7, 8, 9, 12 y 17, al impulsar la diversificación económica, la internacionalización y la transición energética. En 2024, se conectaron 59.412 nuevos usuarios al servicio eléctrico y 5.565 a fuentes renovables, alcanzando una capacidad instalada de 1.574 megavatios (MW). En empleo, se gestionaron más de 1,1 millones de colocaciones y se formalizaron 21.000 empleos públicos. Además, 1.329 empresas fueron beneficiadas por programas de economía digital y las exportaciones no minero-energéticas sumaron 21.999 millones de dólares estadounidenses. Se fortaleció la infraestructura con nuevas instalaciones portuarias fluviales y se capacitó a más de 46.000 personas en comercio exterior, promoviendo la participación empresarial en eventos internacionales (DNP, 2025).

El informe Anual de avance en la Implementación de los ODS Colombia 2025, propone una nueva manera de analizar el avance de los ODS, organizándolos en torno a misiones estratégicas que se articulan con las prioridades del PND 2022–2026. Esta aproximación integra múltiples marcos analíticos, entre ellos el enfoque misional planteado por Mariana Mazzucato en *Mission Economy: A Moonshot Guide to Changing Capitalism* (2021), quien sostiene que los grandes desafíos del siglo XXI deben abordarse mediante misiones transformadoras que alineen la innovación, la inversión pública y la colaboración multiactor.

Las misiones propuestas en este informe no solo permiten articular esfuerzos intersectoriales y multiescalares, sino que están mediadas por una gestión orientada a resultados, con mecanismos claros de trazabilidad, rendición de cuentas y medición de impactos. Este enfoque reconoce que, a diez años de la adopción de la Agenda 2030, los ODS deben abordarse como retos sistémicos —como la erradicación del hambre, la construcción de paz o la transición energética justa— que exigen políticas integradas, adaptables a contextos territoriales y poblacionales diversos. A su vez, esta estructura permite observar críticamente las tensiones estructurales y brechas persistentes, reafirmando la Agenda 2030 como una plataforma viva para reorganizar las prioridades del desarrollo con base en la justicia social, la equidad, la sostenibilidad y la eficacia pública.

El siguiente gráfico ilustra la alineación entre las seis misiones estratégicas propuestas y los ODS que orientan su implementación (). Cada misión articula un conjunto específico de ODS que comparten desafíos comunes y requieren respuestas integrales, interrelacionadas y orientadas por resultados. Esta representación visual facilita la comprensión de cómo se agrupan los esfuerzos nacionales en torno a prioridades transformadoras, permitiendo una lectura sistémica de la Agenda 2030 y destacando los puntos de convergencia que pueden acelerar el avance hacia sus metas.

Ilustración 1
Alineación por misiones estratégicas con los ODS.



Fuente: Elaboración DSEPP-DNP, 2025

Misión Economía Productiva y Sostenible (ODS 8, 9, 12)

El empleo decente, la industrialización sostenible y la producción y el consumo responsables, con un avance respectivo de 68.4%, 62.2% y 89.7%, se reconocen como pilares fundamentales de una economía resiliente; no obstante, la evidencia empírica revela que sus interacciones están lejos de ser plenamente sinérgicas. De hecho, análisis sistémicos muestran que el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables) figura como uno de los objetivos con mayores conflictos (trade-offs) frente a metas de crecimiento económico y empleo, debido a que modelos productivos tradicionales intensifican el uso de recursos y las emisiones (Pradhan et al., 2017; Raman et al., 2024). En este marco, el ODS 8 (Trabajo Decente y Crecimiento Económico) mantiene vínculos estructurales con patrones de consumo intensivo y huellas materiales crecientes, lo que históricamente ha reproducido tensiones con los límites planetarios (Pradhan et al., 2017).

Estas dinámicas implican que la articulación efectiva entre ODS 8 y ODS 12 no se logra de forma automática, sino que depende críticamente de adoptar enfoques de economía circular, digitalización de procesos e innovación tecnológica que permitan desacoplar el crecimiento del consumo de recursos (Ribeiro-Duthie, 2019; Valverde & Avile s-Palacios, 2021).

En este contexto, la infraestructura y la innovación (ODS 9) cumplen un rol habilitador para reconvertir cadenas de valor, optimizar la eficiencia material y cerrar ciclos de residuos, convirtiéndose en la bisagra para transformar conflictos históricos en sinergias funcionales (Huaccho-Huatuco & Ball, 2019; Osmani et al., 2020). Así, la literatura coincide en que maximizar los beneficios entre estos objetivos exige reformas estructurales, coherencia de políticas y una gobernanza multisectorial capaz de superar la fragmentación institucional y territorial (Pradhan et al., 2017; Raman et al., 2024; OECD, 2025).

En conjunto, esto sugiere que la economía circular y la simbiosis industrial no solo son conceptos teóricos, sino estrategias viables para reconciliar productividad y sostenibilidad (Del Granado et al., 2019). Sin embargo, replicar estas prácticas a gran escala exige superar barreras estructurales como la baja articulación entre empresas, la escasa inversión en infraestructura de reciclaje y la limitada capacitación técnica de la fuerza laboral (Valverde & Avile s-Palacios,2021). En el contexto colombiano, consolidar esta transición implica fortalecer marcos regulatorios claros, fomentar incentivos fiscales y financieros para la adopción de tecnologías limpias y garantizar la coordinación efectiva entre actores públicos y privados. De este modo, será posible transformar los actuales conflictos entre crecimiento económico y sostenibilidad en verdaderas sinergias que impulsen una economía productiva, innovadora y responsable, alineando el ODS 8 con los objetivos de industrialización resiliente (ODS 9) y producción y consumo sostenibles (ODS 12).

Avances y desafíos en la articulación de la economía productiva y sostenible

En cuanto al ODS 9, el valor agregado de la industria manufacturera en 2023 alcanzó los 148,8 billones de pesos, superando con holgura la meta establecida para 2030 de 103,5 billones de pesos, lo que refleja un desempeño positivo en términos de producción industrial (DANE, 2025d). Sin embargo, la inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) permanece estancada en torno al 30% del objetivo trazado, subrayando la urgencia de fortalecer los mecanismos de transferencia tecnológica y escalamiento de la innovación (DANE, 2025b). Aunque la intensidad de emisiones de CO₂ en la industria muestra un cumplimiento del 100% gracias a mejoras en eficiencia, la tasa de solicitudes de patentes nacionales por cada millo n de habitantes continúa rezagada, con un avance de apenas 27,3 %, lo que evidencia limitaciones estructurales en capacidades de investigación aplicada (DANE, 2025b).

El ODS 12 presenta avances notables y retos persistentes. Entre 2015 y 2023, los residuos peligrosos aprovechados y tratados crecieron de 210.133 toneladas a más de 3,1

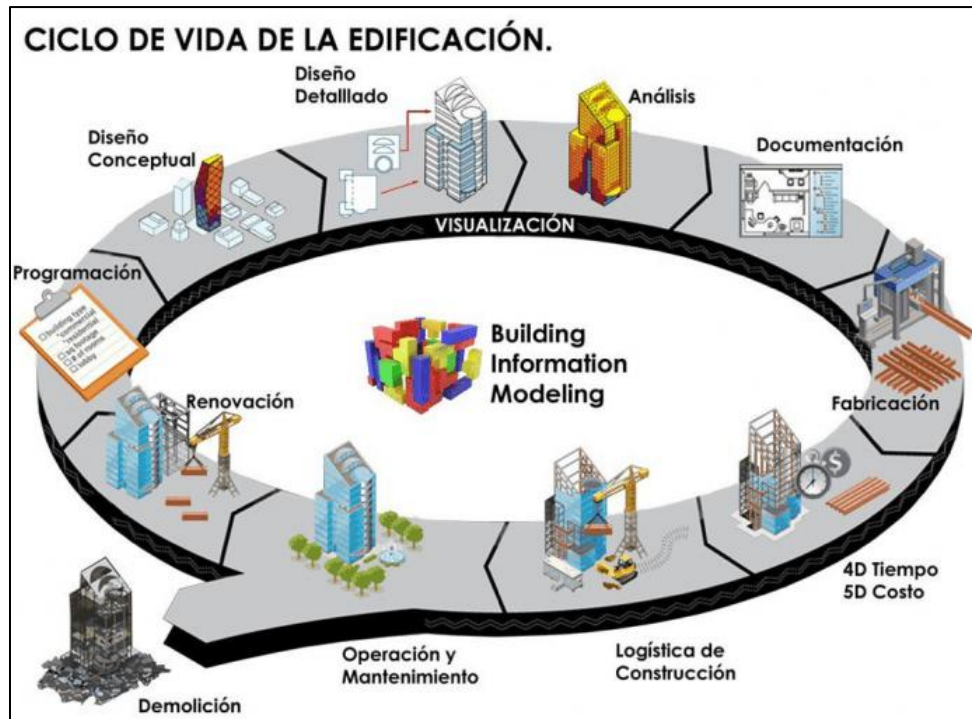
millones, superando la meta 2030 (DANE, 2025b). De igual forma, la gestión de bombillas con mercurio alcanzo 8.706 toneladas, rebasando la meta de 7.768 toneladas. Los desechos de policlorobifenilos (PCB) también superaron la meta con un avance acumulado del 193,4%, aunque aún requieren eliminación total y disposición segura (DANE, 2025b). En contraste, el reciclaje y la reutilización de residuos sólidos muestran un progreso más lento, cercano al 66% de la meta final, mientras los negocios verdes verificables mantienen un cumplimiento del 100% (DANE, 2025b). Estos resultados reflejan que, pese a la mejora en infraestructura y capacidades técnicas, consolidar una economía circular integral demanda reforzar la regulación, ampliar la tecnología disponible y transformar los hábitos de consumo de la ciudadanía.

Building Information Modeling - BIM

Introducción a la metodología BIM

El ***Building Information Modeling (BIM)*** se define como un enfoque metodológico y tecnológico que permite generar, gestionar y compartir representaciones digitales de un activo de construcción a lo largo de todo su ciclo de vida (diseño, construcción, operación y demolición –Ilustración 2).

Ilustración 2
Representación BIM



Fuente: <https://ip21ingenieria.com/blog/quienes-necesitan-bim-y-que-ventajas-les-aportan/>

A diferencia del diseño asistido por computadora tradicional (CAD), BIM no solo ofrece geometría tridimensional, sino que integra información paramétrica y relacional que facilita la toma de decisiones basadas en datos (ITA-AITES, 2025; Ayala Monje et al., 2024)

BIM se sustenta en la colaboración entre actores y disciplinas, promoviendo la interoperabilidad a través de plataformas digitales. Esta característica lo convierte en un habilitador de la sostenibilidad, al integrar datos sobre consumo energético, materiales, costos y cronogramas, lo que contribuye a reducir errores, optimizar recursos y minimizar impactos ambientales (WGBC, 2021; Yunus et al., 2023)

Dimensiones del BIM (3D–7D)

La evolución de BIM se representa en “dimensiones” que amplían el nivel de información y su utilidad práctica:

- **3D – Modelado geométrico y coordinación espacial**

Permite representar el diseño físico en tres dimensiones, facilitando la coordinación interdisciplinaria, la detección de interferencias y la visualización del proyecto antes de su construcción. Esta dimensión reduce retrabajos y desperdicios materiales.

- **4D – Programación y planificación**

Incorpora la variable tiempo, vinculando el modelo 3D con cronogramas de obra. Aporta al control de fases constructivas, minimiza retrasos y permite simular escenarios alternativos que optimizan la eficiencia temporal (Nafees et al., 2025).

- **5D – Estimación de costos**

Integra información económica en el modelo, permitiendo calcular presupuestos en tiempo real. Esta dimensión mejora la transparencia financiera, la trazabilidad de decisiones y favorece el control de costos durante todo el ciclo de vida del proyecto.

- **6D – Sostenibilidad y eficiencia energética**

Introduce parámetros ambientales como consumo energético, huella de carbono y eficiencia en el uso de recursos. Aporta indicadores clave de desempeño ambiental y permite evaluar alternativas constructivas en función de criterios de sostenibilidad (Yunus et al., 2023; Zhao et al., 2024).

- **7D – Gestión del ciclo de vida y operación**

Se orienta a la fase de operación y mantenimiento, proporcionando datos para la gestión eficiente de activos. Esta dimensión potencia la economía circular al facilitar el seguimiento de materiales, su reutilización y la toma de decisiones sobre mantenimiento predictivo o fin de vida útil (ITA-AITES, 2025).

En resumen, en la Tabla 1 se pueden observar para cada enfoque de las dimensiones del BIM, los beneficios y ejemplos que podrían aplicar.

Tabla 1
Dimensiones del BIM (3D – 7D)

Dimensión	Enfoque	Beneficio principal	Ejemplo gráfico
3D	Geometría	Visualización, coordinación espacial	Modelo 3D con capas
4D	Tiempo	Planificación, control de fases	Cronograma enlazado
5D	Costos	Presupuestos en tiempo real	Barras costos/fases
6D	Sostenibilidad	Huella de carbono, energía	Radar ambiental
7D	Ciclo de vida	Gestión de activos, circularidad	Esquema circular

Fuente: construcción propia

Funcionalidades clave del BIM

Entre las funcionalidades más destacadas, se encuentran:

- **Detección de interferencias (clash detection)** que disminuye errores de diseño y costos asociados a correcciones.
- **Simulación energética y ambiental** que facilita decisiones tempranas para reducir emisiones y consumo de energía.
- **Gestión colaborativa** que mejora la comunicación entre actores y promueve la transparencia en el proyecto.
- **Integración con estándares internacionales de sostenibilidad** (p. ej., Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (LEED), Excelencia en Diseño para Mayores Eficiencias (EDGE), Método de Evaluación de la Sostenibilidad del Edificio (BREEAM)), lo que contribuye a certificar y validar el desempeño ambiental del proyecto.

Beneficios con impacto en sostenibilidad

Diversos estudios muestran que BIM puede reducir hasta en un 30 % los desperdicios en obra y mejorar la eficiencia de recursos en proporciones similares (NLA/JFSC/LOF, 2024; WGBC, 2021)

. Entre los beneficios más relevantes se destacan:

- **Ambientales:** reducción de residuos, disminución de huella de carbono, eficiencia energética y gestión de materiales.
- **Sociales:** mayor seguridad en obra al prever riesgos, mejor comunicación entre partes interesadas y fortalecimiento de la confianza entre actores.
- **Económicos:** ahorro en costos, optimización de tiempos y reducción de incertidumbre en inversiones.

A continuación, se presenta en la **Tabla 2** el resumen de las funcionalidades BIM con su descripción e impacto en los temas de sostenibilidad:

Tabla 2
Funcionalidades BIM y su Impacto en la Sostenibilidad

Funcionalidad BIM	Descripción	Impacto en sostenibilidad
Detección de interferencias (Clash detection)	Identifica choques entre disciplinas (arquitectura, estructuras, instalaciones, etc.) antes de la construcción.	Reduce errores de diseño y costos asociados a correcciones y retrabajos.
Simulación energética y ambiental	Modela el desempeño energético y ambiental del proyecto desde fases tempranas.	Permite tomar decisiones para disminuir emisiones y consumo de energía.
Gestión colaborativa	Facilita la comunicación y coordinación entre actores del proyecto mediante plataformas digitales compartidas.	Mejora la transparencia, eficiencia y reduce tiempos de ejecución.
Integración con estándares internacionales de sostenibilidad (LEED, EDGE, BREEAM, etc.)	Alinea el proyecto con certificaciones globales en construcción sostenible.	Contribuye a la reducción de impactos ambientales y mejora el valor reputacional del proyecto.

Fuente: construcción propia

BIM y sostenibilidad en proyectos de infraestructura

El vínculo entre BIM y sostenibilidad se refuerza con las dimensiones **6D** y **7D**, al permitir integrar métricas ambientales y sociales en fases tempranas y en la operación de los activos. Esto se traduce en un mayor alineamiento con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el **ODS 9 (infraestructura resiliente e innovación)** y el **ODS 12**

(producción y consumo responsables) (Nafees et al., 2025; ITA-AITES, 2025; WGBC, 2021).

La evidencia demuestra que BIM no solo impacta la eficiencia constructiva, sino que también facilita la **descarbonización del sector** y fortalece cadenas de suministro sostenibles (Zhao et al., 2024). De esta manera, BIM se posiciona como un instrumento estratégico para la transformación sostenible de la infraestructura en Colombia y en el contexto global.

Metodología

Con el objetivo de identificar las relaciones que se generan al comparar los beneficios de la metodología BIM para el desarrollo de proyectos y las definiciones e indicadores de los ODS antes descritos se propone la siguiente metodología:

Tabla 3
Definición de Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones / Indicadores
Uso de la metodología BIM (3D–7D)	BIM es un enfoque metodológico y tecnológico que permite generar, gestionar y compartir representaciones digitales de un proyecto de construcción, integrando dimensiones como geometría (3D), tiempo (4D), costos (5D),	Se medirá mediante la aplicación de una encuesta estructurada a gerentes de proyecto, directores y residentes de obra CONCREARMADO S.A.S., en la que se preguntará por el nivel de implementación y frecuencia de uso de	- 3D: coordinación y visualización. - 4D: control de tiempos. - 5D: costos. - 6D: sostenibilidad (energía, residuos, huella de carbono). - 7D: ciclo de vida.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones / Indicadores
	sostenibilidad (6D) y ciclo de vida (7D) (ITA-AITES, 2025).	cada dimensión del BIM en proyectos recientes.	
ODS 9 – Industria, innovación e infraestructura	Busca construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación, con metas como la eficiencia en el uso de recursos y la adopción de tecnologías limpias (ONU, 2015).	Se medirá a través de indicadores asociados al desempeño de los proyectos en innovación, modernización de procesos y eficiencia en el uso de recursos, obtenidos de la percepción de los encuestados.	- Meta 9.4: eficiencia de recursos. - % proyectos con innovación tecnológica. - % reducción de retrabajos.
ODS 12 – Producción y consumo responsables	Pretende garantizar patrones sostenibles de producción y consumo, incluyendo la reducción de residuos, la gestión eficiente de recursos y la economía circular (WGBC, 2021).	Se medirá con base en indicadores de reducción de desperdicios, gestión de materiales y huella de carbono, a partir de las respuestas de los gerentes de proyecto,	- Meta 12.5: reducción de residuos. - kg/m ² de residuos reducidos. - Huella de carbono (kgCO ₂ e).

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones / Indicadores
		directores y residentes de obra y la literatura revisada.	
Beneficios de sostenibilidad asociados a BIM	Se refiere a los impactos positivos ambientales, económicos y sociales derivados de la aplicación de BIM, como menor huella de carbono, reducción de retrabajos, eficiencia de recursos y mejoras en costos y tiempos (Yunus et al., 2023; Zhao et al., 2024).	Se medirá mediante indicadores de desempeño (residuos, emisiones, eficiencia de programación y costos), contrastados con la percepción de los actores de la empresa y la evidencia en la literatura.	- % reducción de desperdicios. - % ahorro en costos. - % eficiencia en tiempos. - Percepción de sostenibilidad.

Primer nivel

Enfoque de la investigación

El estudio se desarrolla bajo un enfoque mixto con predominio cualitativo–descriptivo. Se parte de una revisión sistemática de literatura y del análisis conceptual de la metodología BIM y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 9 y 12, lo que permite construir un marco teórico y un mapeo inicial de correspondencias. Posteriormente, se incorpora un componente cuantitativo al aplicar una encuesta estructurada a gerentes de proyecto, directores y

residentes de obra, de la empresa **CONCREARMADO S.A.S.**, con el fin de validar empíricamente las hipótesis y contrastar la teoría con la práctica organizacional.

Alcance de la investigación

El alcance del estudio es descriptivo–correlacional.

- **Descriptivo**, porque caracteriza las funcionalidades del BIM (dimensiones 3D–7D) y los indicadores asociados a los ODS 9 y 12, generando un panorama claro de cómo se concibe y aplica la metodología en el sector de infraestructura.
- **Correlacional**, porque busca establecer vínculos entre la implementación de funcionalidades BIM y los indicadores de sostenibilidad, tales como reducción de residuos, eficiencia energética, huella de carbono y optimización de recursos. Adicionalmente, el estudio tiene un matiz aplicado, al proponer un modelo de correspondencia BIM–ODS que puede ser utilizado como herramienta de gestión y toma de decisiones en proyectos de infraestructura en Colombia.

Diseño de la investigación

El diseño metodológico es no experimental y transversal:

- **No experimental**, ya que no existe manipulación de variables, sino observación y análisis de fenómenos en su contexto natural.
- **Transversal**, porque la recolección de información se realiza en un único momento, tanto en la revisión documental como en la aplicación de la encuesta.

En síntesis, el diseño es no experimental, transversal, descriptivo–correlacional y aplicado, lo que permite integrar evidencia teórica y práctica en torno al aporte del BIM a la sostenibilidad en proyectos de infraestructura.

Definición de Variables

En esta sección se definen las variables que permiten definir los atributos que se medirán en la investigación, los elementos clave de la intervención en la empresa CONCREARMADO SAS.

En la Tabla 4 se presentan las relaciones identificadas (mapeo) entre los ODS y las características de BIM, estableciendo así las variables que estarán bajo estudio en la encuesta a diseñar

Tabla 4
Definición de variables - Mapeo de BIM-ODS

# Relación	Beneficio BIM	Definición Conceptual	Definición Operacional: Indicador(es) de sostenibilidad sugerido(s)	ODS y meta vinculada
1	Modelado energético 6D:	Simulaciones de iluminación/desempeño térmico para eficiencia operacional	EUI (Energy Use Intensity) kWh/m ² ·año; % reducción de consumo vs. Línea base. (Nafees, et al. 2025)	ODS 9.4 - modernizar y hacer eficientes los recursos.
2	Mantenimiento predictivo 7D (gemelo digital)	Generación y consulta de Información referente a los equipos para la gestión del ciclo de vida.	% fallas evitadas; razón mantenimiento preventivo/correctivo; años de vida útil extendida; kWh/m ² en operación. (Nafees, et al. 2025)	ODS 12.2 - uso eficiente de recursos a lo largo del ciclo de vida
3	Modelado energético 6D:	Cuantificación de impactos ambientales como huella de carbono incorporado en los materiales.	kgCO ₂ e/m ² , tCO ₂ e por unidad funcional; % reducción de carbono incorporado vs. opción base. (Nafees, et al. 2025)	ODS 12.2 - gestión eficiente de recursos
4	Gestión de Interferencias	Desde fases tempranas como la de planificación se	% residuos desviados (reducir/reutilizar/reciclar); kg de residuo/m ² ; %	ODS 12.5 - reducir

# Relación	Beneficio BIM	Definición Conceptual	Definición Operacional: Indicador(es) de sostenibilidad sugerido(s)	ODS y meta vinculada
	entre áreas de diseño 3D:	detectan interferencias de diseños que logran minimizar reproceso y residuos en fases construcción.	retrabajos evitados (ITA-AITES, 2025)	generación de residuos
5	Planificación de línea base en costos y tiempos 4D/5D:	Gestión y evaluación de la planificación, secuenciación y trazabilidad para la logística y cadena de suministro de los materiales necesarios	km de transporte evitados; % entregas a tiempo; combustible consumido; tCO ₂ e (Zhao et al., 2024)	ODS 12.2 - eficiencia de recursos en la cadena de valor
6	Modelado energético 6D:	Modelación de métodos constructivos y tecnologías para cuantificar CO ₂ /energía generados durante la fase de construcción.	kgCO ₂ /m excavado; kWh/tonelada movida; % reducción vs. diseño convencional. (ITA-AITES, 2025)	ODS 9.4 (modernización con tecnologías limpias)

Fuente: Elaboración propia

Población y Muestra

CONCREARMADO SAS, es una empresa de construcción de obras de infraestructura que existe en el mercado colombiano desde hace más de 20 años. La población de estudio está conformada por todos los directores de proyecto y residentes de obra que actualmente laboran en CONCREARMADO S.A.S. y que han tenido responsabilidad directa en la ejecución de proyectos de infraestructura durante los últimos tres (3) años.

Marco Muestral

El marco muestral corresponde a la lista actualizada de personal suministrada por el área de Recursos Humanos de la empresa, en la cual se incluyen los nombres, cargos y datos de

contacto. Según dicha información, CONCREARMADO S.A.S. cuenta con un total de 100 empleados, de los cuales doce (12) conforman el total de los directores de proyecto y residentes de obra (Muestra).

Muestra

Del listado proporcionado por el área de Recursos Humanos (12) se identificaron tres (3) directores de obra y nueve (9) residentes de obra, quienes cumplen con los criterios definidos para el estudio.

Debido a que la investigación se centró en una sola organización y la selección de participantes dependió de la accesibilidad y disponibilidad de los profesionales, se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia. De acuerdo con Sampieri, Fernández y Baptista (2022), este tipo de muestreo se utiliza cuando el investigador selecciona los casos a los que tiene acceso y que cumplen con las características relevantes para los objetivos del estudio.

Por tanto, la muestra quedó conformada por los doce (12) participantes disponibles de CONCREARMADO S.A.S., lo cual permite obtener información valiosa y contextualizada sobre la gestión de proyectos de infraestructura en dicha empresa. Si bien los resultados no son generalizables a todo el sector, sí ofrecen una visión exploratoria y aplicada, útil para comprender el fenómeno dentro del contexto organizacional analizado.

Segundo nivel

Selección de métodos o instrumentos para recolección de información

Como la investigación busca validar la relación entre BIM y el cumplimiento del ODS 9 y el ODS 12, se selecciona un cuestionario estructurado de 37 preguntas aplicado mediante encuesta en línea, cuyo formato de aplicación será la plataforma digital Microsoft Forms y los elementos claves serán:

1. Datos Generales: nombre, cargo, años de experiencia, tipo de proyectos y familiaridad con BIM (3D Y 7D).
2. Uso de BIM en fases del proyecto y ODS.
3. Beneficios percibidos de BIM.

Las preguntas se diseñaron para que los participantes expertos evaluaran situaciones y contextos concretos que reflejan las relaciones teóricas derivadas del marco conceptual elaborado. Mediante una encuesta tipo Likert, se buscó cuantificar dichas percepciones y así sustentar, deducir o refutar la veracidad de esas relaciones en el ámbito real de su práctica profesional.

Técnicas de análisis de datos

Este apartado describe, sustenta y justifica cómo se analizarán los datos de la encuesta tipo Likert (1–5) aplicada con muestreo por conveniencia, compuesta por 37 preguntas agrupadas en 6 relaciones ODS–BIM (Tabla 4). El propósito es evaluar los resultados para estimar la dirección, fuerza y coherencia de las percepciones capturadas por la misma. la consistencia de las preguntas dentro de cada relación y la asociación entre relaciones, para aceptar o rechazar la evidencia a favor de los vínculos ODS–BIM. El enfoque y los indicadores se apoyan en la ruta estándar de análisis cuantitativo (estadística descriptiva, confiabilidad y correlaciones) recomendada en textos metodológicos (Sampieri et al. 2014).

En análisis cuantitativos, Sampieri recomienda empezar por indicadores descriptivos (tendencia central y variabilidad), luego evaluar confiabilidad del instrumento y finalmente probar asociaciones (p. ej., Pearson), como parte del proceso estándar de análisis de datos provenientes de cuestionarios y escalas tipo Likert (Sampieri et al. 2014, caps. 9–10).

A continuación se describen los pasos utilizados y sus características principales:

1. Preparación y codificación

- Se verifica que todas las respuestas estén codificadas en el rango 1–5 (5 = “afirma la relación”, 1 = “la rechaza”).
- Se tratan los valores faltantes imputando con la mediana de la pregunta (Sampieri et al. 2014).

2. Estadística descriptiva (Preguntas y Relaciones)

Para cada pregunta se asigna un tipo de relación (1-6) y para cada relación se calcula:

- Media: tendencia central usada de forma habitual con escalas Likert cuando se agregan preguntas. (Sampieri et al. 2014)
- Mediana (MEDIANA): robusta a valores extremos (Sampieri et al. 2014).
- Medidas de variabilidad (varianza, desviación estándar)
- IQR = P75 – P25: métricas que nos permite resumir tendencia y consenso, medias/medianas altas con IQR bajo sugieren apoyo a la relación; IQR alto muestra heterogeneidad de percepciones (Sampieri et al. 2014).

3. Confiabilidad interna (Cronbach's α) por relación.

- Se calcula α en cada relación ODS–BIM (con todas sus preguntas).
- Se utiliza el criterio práctico: ≥ 0.90 excelente, 0.80 – 0.89 buena, 0.70 – 0.79 aceptable, 0.60 – 0.69 cuestionable, < 0.60 débil (Sampieri et al. 2014).

4. Correlaciones entre Relaciones (matriz 6×6)

- Se aplica correlación de Pearson entre las relaciones
- Se utiliza la siguiente interpretación:
 - **Relación 2 y Relación 5 ($r = 0.9$):** correlación muy fuerte y positiva y es posible que ambas midan aspectos similares o dependan de un mismo factor.

- **Relación 1 y Relación 6 ($r = -0.7$):** correlación fuerte y negativa; cuando aumenta la relación 1, tiende a disminuir la 6 y representan variables opuestas o que se excluyen.
- **Relación 3 y Relación 4 ($r = 0.7$):** correlación fuerte y positiva, indicando asociación importante entre ambas.

Ilustración 3 interpretación de resultados de correlación

-0.90 = Correlación negativa muy fuerte.
-0.75 = Correlación negativa considerable.
-0.50 = Correlación negativa media.
-0.25 = Correlación negativa débil.
-0.10 = Correlación negativa muy débil.
0.00 = No existe correlación alguna entre las variables.
+0.10 = Correlación positiva muy débil.
+0.25 = Correlación positiva débil.
+0.50 = Correlación positiva media.
+0.75 = Correlación positiva considerable.
+0.90 = Correlación positiva muy fuerte.
+1.00 = *Correlación positiva perfecta* ("A mayor X , mayor Y " o "a menor X , menor Y ", de manera proporcional. Cada vez que X aumenta, Y aumenta siempre una cantidad constante).

Fuente: Tomado de (Sampieri et al. 2014)

Análisis y discusión de resultados

El análisis de los resultados obtenidos en la encuesta permite identificar la percepción general de los encuestados respecto al impacto del uso de la metodología BIM en la gestión de proyectos y su contribución a los objetivos de desarrollo sostenible. A través de diferentes dimensiones —como la planificación 4D/5D, la trazabilidad de materiales, la eficiencia en el uso de recursos, la reducción de emisiones y la toma de decisiones sostenibles— se observa una tendencia positiva hacia el reconocimiento del BIM como una herramienta que optimiza los procesos, mejora la coordinación y promueve prácticas responsables a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Los resultados reflejan una valoración mayoritariamente favorable, lo que evidencia una alineación entre la adopción de BIM y los objetivos de desarrollo sostenible vinculados a la eficiencia, la innovación y la sostenibilidad ambiental.

Resultados de encuesta

Resultados datos de los encuestados:

Los resultados de la encuesta muestran que el 100% de los participantes son mayores de edad. En cuanto a la distribución por edad, el 50% de los encuestados se encuentra en el rango de 40 a 49 años. El 83% pertenece al género masculino, reflejando una predominancia de hombres en la muestra. Asimismo, el 75% de los participantes ocupa el cargo de residente de obra en CONCREARMADO S.A.S. En relación con la experiencia en el sector de la construcción, entre el 33% y el 66% de los encuestados cuentan con una trayectoria que oscila entre 11 y más de 20 años. Finalmente, el 42% lleva más de seis años desempeñándose en su cargo actual, lo que evidencia una alta permanencia laboral en la empresa. A continuación, las gráficas de resultados de las preguntas No.1 a la No.6:

Ilustración 4
Resultados preguntas datos encuestados



Fuente: Elaboración propia

A partir de la pregunta No.7 a la No.17, se indagó a los encuestados sobre el tema de investigación: metodología BIM y objetivos de desarrollo sostenible. A continuación, el análisis de los resultados de las preguntas, según las relaciones propuestas en la tabla No.4.

Resultados preguntas relación No.1 – Modelo energético 6D y ODS 9.4

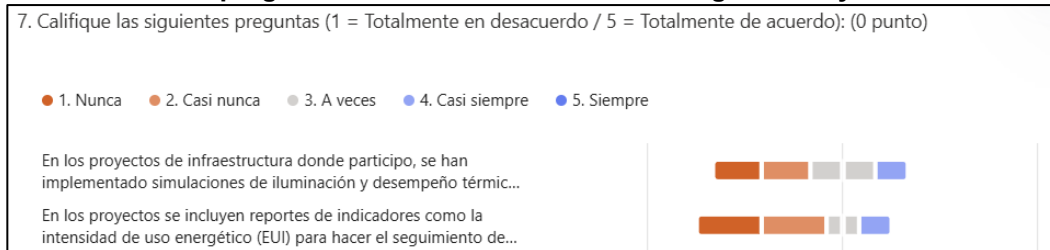
En términos generales, los resultados evidencian que la implementación de estrategias relacionadas con la eficiencia energética en los proyectos de infraestructura aún es limitada. En la primera pregunta, aunque una parte de los encuestados (aproximadamente un 23%) afirma que casi siempre se realizan simulaciones de iluminación y desempeño térmico, la mayoría se distribuye entre respuestas intermedias (“a veces” y “casi nunca”), lo que refleja una aplicación irregular de estas prácticas.

En el caso de la segunda pregunta, los resultados son más críticos: la mayor parte de los participantes señala que nunca o casi nunca se incluyen reportes de indicadores de uso energético (EUI), mostrando una baja adopción de mecanismos de seguimiento cuantitativo del desempeño energético.

En conjunto, estos resultados sugieren que, aunque existe cierta conciencia sobre la eficiencia energética en los proyectos, su integración sistemática y el uso de herramientas de medición aún no son prácticas consolidadas dentro de la empresa. Esto podría representar una oportunidad de mejora para fortalecer la gestión sostenible y el control del desempeño energético en las obras de infraestructura.

Ilustración 5

Resultados preguntas relación No.1 – Modelo energético 6D y ODS 9.4



Fuente: Elaboración propia

Resultados preguntas relación No.2 – Mantenimiento predictivo 7D (gemelo digital) y ODS 12.2 uso eficiente de recursos a lo largo del ciclo de vida.

Los resultados obtenidos evidencian una percepción ampliamente positiva respecto a la relevancia de la información técnica sobre el ciclo de vida de los equipos y materiales en los proyectos de infraestructura. La mayoría de los encuestados manifestó estar de acuerdo o totalmente de acuerdo con que disponer de datos detallados sobre la puesta en operación, los planes de mantenimiento y los registros históricos de desempeño permite reducir el porcentaje de fallas, extender la vida útil de los equipos y optimizar la gestión operativa. Estas respuestas reflejan una comprensión generalizada de la importancia de la trazabilidad de la información y del mantenimiento preventivo y predictivo como herramientas clave en la gestión de activos.

De manera particular, las preguntas asociadas con la aplicación de los planes de mantenimiento recomendados por los fabricantes y la disponibilidad de información histórica de mantenimiento obtuvieron los niveles más altos de acuerdo, lo que sugiere una valoración técnica y estratégica de la gestión de la información a lo largo del ciclo de vida de los activos. Asimismo, los encuestados reconocen que disponer de datos sobre el consumo energético y las horas de servicio contribuye a una gestión más eficiente de los recursos, en coherencia con los principios de sostenibilidad y eficiencia energética en la construcción.

Estos hallazgos se alinean con la dimensión 7D del Building Information Modeling (BIM), correspondiente al mantenimiento y la operación de los activos, donde el modelo

digital se convierte en una fuente dinámica de información para la planificación predictiva. A través del BIM 7D, las organizaciones pueden integrar la información técnica de diseño, construcción y operación, facilitando la toma de decisiones basada en datos reales del comportamiento de los equipos. Este enfoque no solo optimiza el rendimiento de los activos, sino que también reduce el desperdicio de materiales, energía y tiempo, fortaleciendo las prácticas de mantenimiento inteligente.

En el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los resultados muestran una clara conexión con la meta 12.2 del ODS 12, que promueve el uso eficiente de los recursos naturales a lo largo del ciclo de vida de los productos y servicios. La adopción de metodologías BIM orientadas al mantenimiento predictivo contribuye a alcanzar esta meta, al permitir una gestión más racional del consumo energético y de los materiales en la fase operativa de las infraestructuras. De igual manera, se establece un vínculo directo con el ODS 9, que impulsa la innovación y el desarrollo de infraestructuras sostenibles mediante la incorporación de tecnologías digitales y procesos más eficientes.

En síntesis, los resultados reflejan que los profesionales encuestados reconocen el valor del BIM como herramienta habilitadora de sostenibilidad, especialmente en su dimensión 7D, donde la información técnica y el análisis predictivo se convierten en factores determinantes para garantizar el uso eficiente de los recursos, la prolongación de la vida útil de los activos y la reducción del impacto ambiental. Esto sugiere que el fortalecimiento de la cultura BIM en las etapas de operación y mantenimiento puede ser una estrategia clave para potenciar la contribución del sector de la construcción a los ODS 9 y 12.

Ilustración 6 Resultados preguntas relación No.2 – Mantenimiento predictivo 7D y ODS 12.2



Fuente: Elaboración propia

Resultados preguntas relación No.3 –Modelado energético 6D y ODS 12.2 gestión eficiente de recursos

Los resultados obtenidos evidencian una tendencia favorable hacia el reconocimiento de la relevancia de la cuantificación del carbono incorporado y el uso de herramientas BIM 6D en los proyectos de infraestructura. Sin embargo, también se observan diferencias en el nivel de implementación práctica de estas estrategias dentro de los procesos constructivos.

En los primeros ítems, referentes a la cuantificación de la huella de carbono y la comparación de alternativas constructivas considerando emisiones de CO₂, los encuestados se ubicaron principalmente entre las opciones a veces y nunca, lo que sugiere que estas prácticas aún no se aplican de manera sistemática en los proyectos. No obstante, al indagar sobre la percepción de importancia de la cuantificación del carbono incorporado para la toma de decisiones de diseño y selección de materiales, la mayoría de los participantes se mostró de acuerdo o totalmente de acuerdo, evidenciando que, aunque la práctica no esté plenamente implementada, existe conciencia técnica sobre su valor para la sostenibilidad del ciclo de vida de las obras.

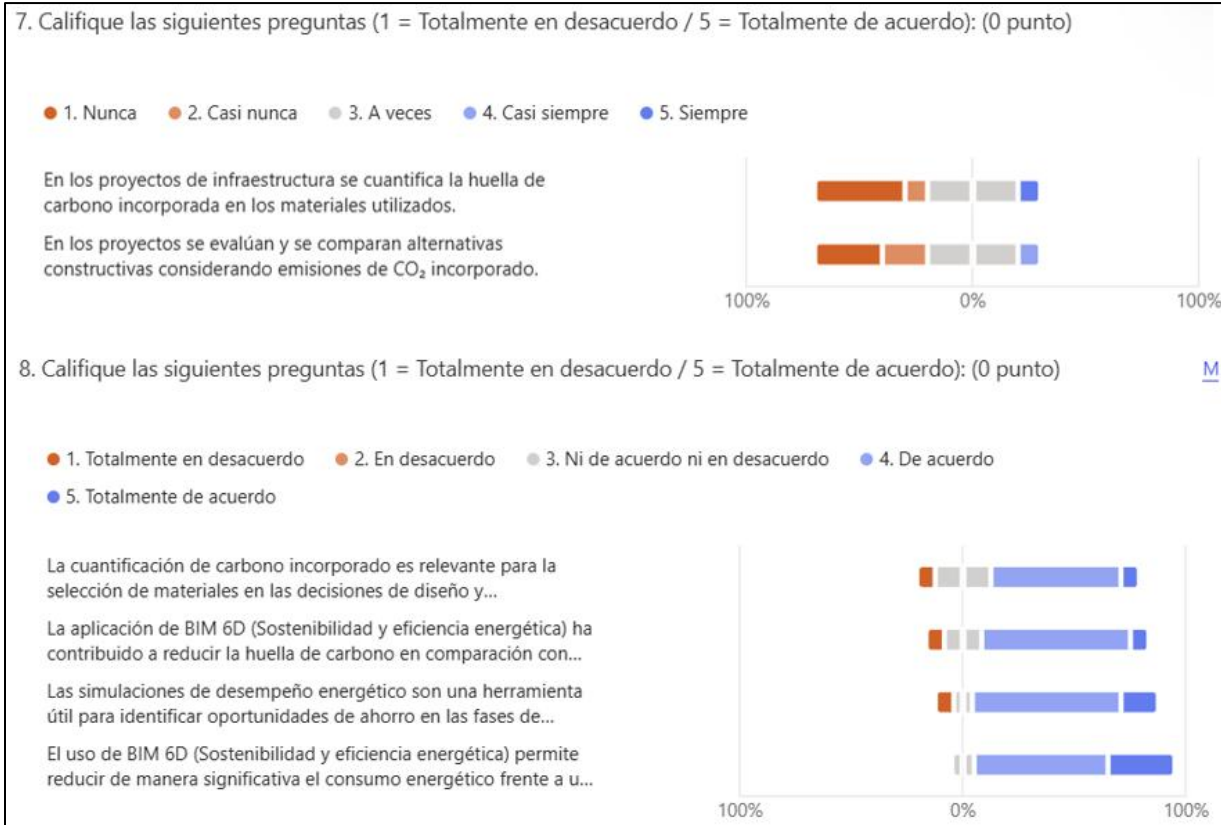
En cuanto a la aplicación de BIM 6D (sostenibilidad y eficiencia energética), la mayoría de los encuestados manifestó estar de acuerdo o totalmente de acuerdo con su contribución a la reducción de la huella de carbono frente a métodos constructivos tradicionales. Esta tendencia indica una percepción positiva sobre el potencial del BIM 6D como herramienta de optimización ambiental, especialmente al integrar datos de materiales, energía y procesos constructivos en un entorno digital colaborativo. De igual forma, las preguntas relacionadas con las simulaciones de desempeño energético reflejan altos niveles de acuerdo, lo que demuestra que los profesionales reconocen su utilidad para identificar oportunidades de ahorro energético y optimizar el diseño arquitectónico y constructivo.

Los hallazgos permiten establecer una conexión directa con el modelo BIM 6D, en el cual la dimensión de sostenibilidad posibilita analizar y predecir el impacto ambiental de las decisiones de diseño y construcción. El uso de simulaciones energéticas y la cuantificación del carbono incorporado se consolidan, así como componentes esenciales de una metodología de diseño basada en datos, que favorece la toma de decisiones informadas y la gestión integral de la sostenibilidad durante el ciclo de vida del proyecto.

Asimismo, los resultados guardan una estrecha relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables). En especial, se evidencia coherencia con la meta 12.2, que promueve el uso eficiente de los recursos naturales a lo largo del ciclo de vida de los productos y servicios. La implementación del BIM 6D contribuye directamente a esta meta, al proporcionar información precisa para reducir el consumo energético, optimizar materiales y minimizar las emisiones de carbono durante la fase de diseño, construcción y operación.

En síntesis, el análisis refleja que los encuestados reconocen el valor del BIM 6D como instrumento clave para avanzar hacia una infraestructura más sostenible, aunque su aplicación práctica aún se encuentra en etapas de desarrollo. Este hallazgo resalta la necesidad de fortalecer la capacitación técnica y la adopción de metodologías BIM, de modo que los proyectos de infraestructura no solo mejoren su desempeño ambiental, sino que también consoliden su aporte al cumplimiento de los ODS 9 y 12, impulsando una transición hacia prácticas constructivas más responsables y eficientes.

Ilustración 7 Resultados preguntas relación No.3 – Mantenimiento predictivo 6D y ODS 12.



Fuente: Elaboración propia

Resultados preguntas relación No.4 – Gestión de Interferencias entre áreas de diseño 3D y ODS 12.5 - reducir generación de residuos.

En términos generales, los resultados reflejan un uso moderado del BIM entre los profesionales encuestados, con percepciones positivas respecto a su aporte en la reducción de reprocesos y mejora de la sostenibilidad, aunque con baja institucionalización de indicadores formales en las organizaciones.

La mayoría de los participantes manifiesta utilizar herramientas BIM para detectar interferencias con una frecuencia de “a veces” o “casi siempre”. Esto sugiere que el uso de BIM está presente, pero no completamente consolidado ni sistemático en todos los proyectos.

Las respuestas sobre la reducción de reprocesos y la disminución de residuos gracias a BIM tienden hacia la frecuencia media-alta (“a veces” y “casi siempre”). Se evidencia una percepción positiva del impacto de BIM en la eficiencia constructiva, aunque no todos los encuestados lo experimentan de forma constante.

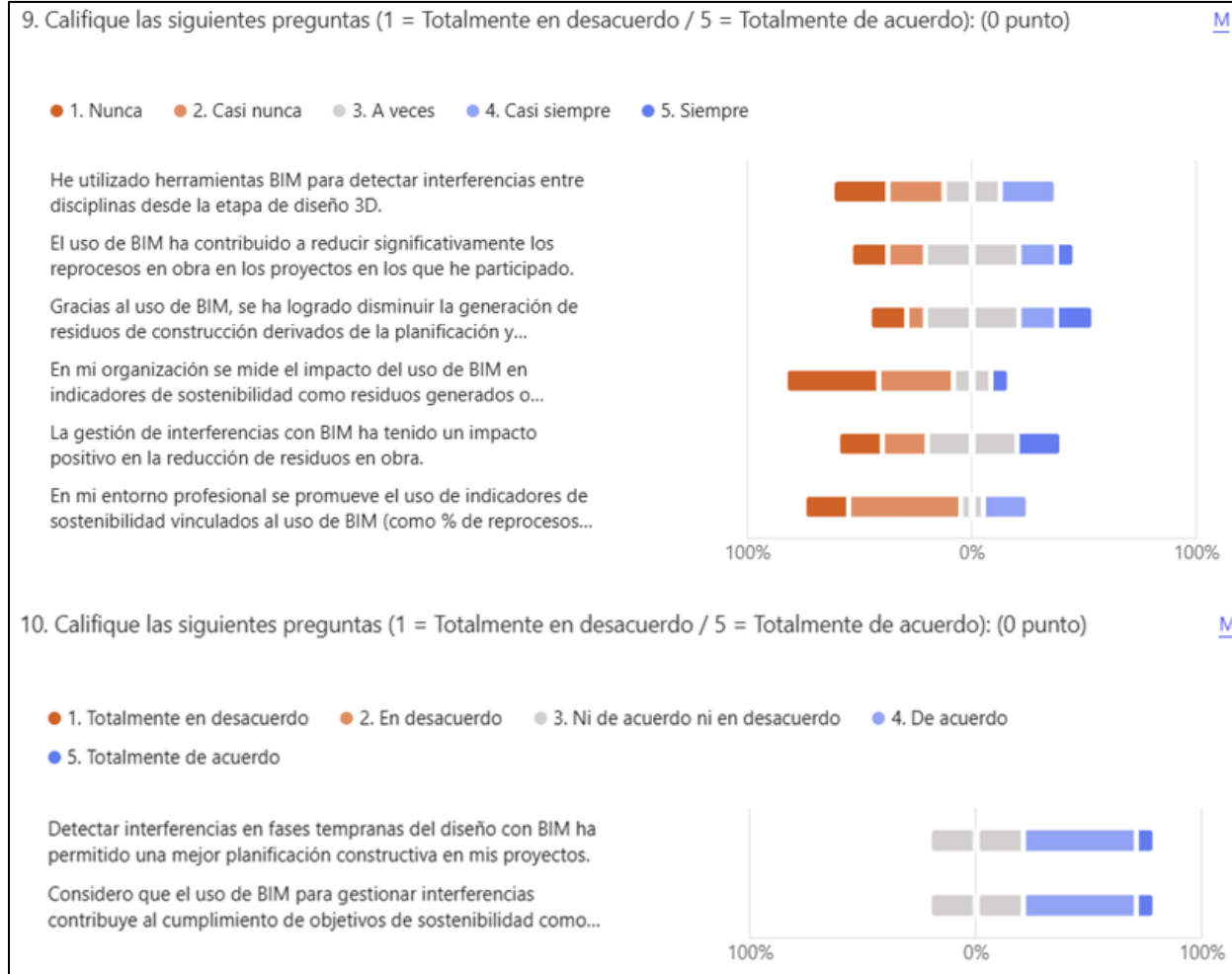
Las preguntas relacionadas con la medición de indicadores de sostenibilidad (como residuos generados o reprocesos evitados) reciben valores bajos (“nunca” o “casi nunca”). Esto refleja una debilidad institucional: pocas empresas realizan un seguimiento formal del impacto de BIM en la sostenibilidad.

El entorno profesional muestra una promoción limitada del uso de indicadores de sostenibilidad asociados al BIM, con respuestas concentradas entre “casi nunca” y “a veces”. Esto sugiere que el enfoque sostenible aún no es un estándar ampliamente difundido en el sector.

Las afirmaciones sobre si BIM contribuye a los objetivos del ODS 12 obtienen una tendencia positiva, con la mayoría de las respuestas en “de acuerdo” y “totalmente de acuerdo”. A pesar de la falta de medición sistemática, los participantes reconocen el potencial del BIM como herramienta para una producción y consumo más responsables.

En síntesis, el análisis muestra que los profesionales reconocen los beneficios del BIM en la gestión de interferencias y sostenibilidad, especialmente en la planificación y reducción de reprocesos. Sin embargo, la aplicación institucional y el seguimiento mediante indicadores son aún incipientes. Esto indica una oportunidad de mejora en la implementación estratégica del BIM, integrando métricas de sostenibilidad que fortalezcan su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en especial el ODS 12.

Ilustración 8 Resultados preguntas relación No.4 – Gestión de Interferencias entre áreas de diseño 3D y ODS 12.5



Fuente: Elaboración propia

Resultados preguntas relación No.5 – Planificación de línea base en costos y tiempos 4D/5D y ODS 12.2 eficiencia de recursos en la cadena de valor.

Los resultados evidencian una tendencia mayoritaria hacia respuestas de nivel medio-alto, concentradas entre “A veces”, “Casi siempre” y “Siempre”. Esto indica que los participantes reconocen en el uso de BIM 4D (programación) y BIM 5D (estimación de costos) un impacto positivo en la planificación temporal y económica de los proyectos de infraestructura, aunque con distintos grados de madurez organizacional.

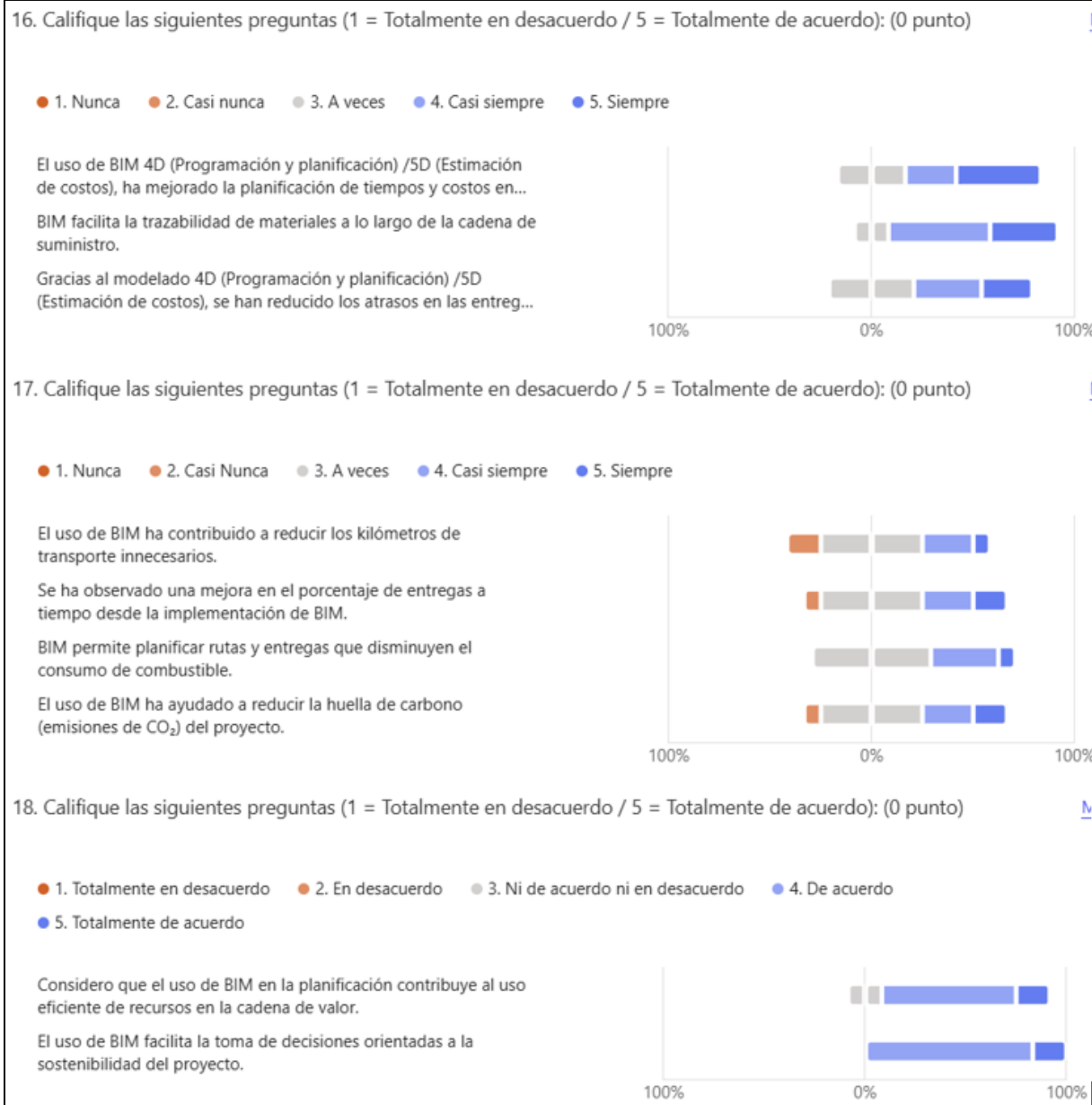
En particular, la mayoría de los encuestados coincide en que el uso de BIM facilita la trazabilidad de materiales y mejora la programación de actividades y entregas, lo que contribuye a reducir reprocesos, desperdicios y emisiones indirectas asociadas al transporte y consumo energético. Esto sugiere una integración progresiva del enfoque de ciclo de vida dentro de los procesos constructivos, alineado con la meta 12.2 del ODS 12, orientada al uso eficiente y sostenible de los recursos naturales.

Sin embargo, algunas respuestas ubicadas en niveles de “A veces” o “Casi nunca” en ítems como la reducción de kilómetros de transporte o huella de carbono, evidencian que la cuantificación de impactos ambientales aún no es un proceso sistemático, sino que depende del tipo de proyecto y del nivel de adopción BIM en la organización.

Asimismo, la mayoría de los participantes está de acuerdo o totalmente de acuerdo en que el uso de BIM en la planificación favorece la toma de decisiones sostenibles, lo cual refuerza la percepción de BIM como herramienta de apoyo a la gestión integral de la sostenibilidad (dimensiones económica, ambiental y social) en el sector de infraestructura.

Desde una perspectiva de madurez digital y sostenibilidad, los hallazgos reflejan una etapa intermedia de adopción, donde BIM no solo se aplica al modelado tridimensional, sino que empieza a extenderse a dimensiones avanzadas (4D, 5D e incluso 7D) para el mantenimiento predictivo. Esto último es relevante porque la integración de datos de operación y mantenimiento con información energética y de costos permite optimizar la vida útil de los activos, anticipar fallos y minimizar el uso de recursos en la etapa operativa, lo que profundiza el cumplimiento de la meta 12.2 del ODS 12

Ilustración 9 Resultados preguntas relación No.5 – Planificación de línea base en costos y tiempos 4D/5D y ODS 12.2



Fuente: Elaboración propia

Resultados preguntas relación No.6 – Modelado energético 6D y ODS 9.4 modernización con tecnologías limpias.

Los resultados muestran una tendencia general hacia la implementación frecuente de estudios de eficiencia energética dentro de los proyectos de infraestructura, reflejada en las respuestas “Casi siempre” y “Siempre” en la mayoría de los ítems. Los participantes indican

que se realizan con regularidad análisis de iluminación, estudios de consumo energético anual y evaluaciones de eficiencia en los diseños, aunque el nivel de importancia asignado por los clientes aún varía según las condiciones del proyecto. Este aspecto evidencia que, si bien existe conciencia sobre la sostenibilidad energética, su adopción plena depende del grado de madurez organizacional y de las exigencias contractuales.

El uso de metodologías BIM, especialmente en sus dimensiones 6D (sostenibilidad y eficiencia energética), representa un recurso fundamental para integrar los estudios de eficiencia energética en el ciclo de vida del proyecto. Estas dimensiones permiten simular el comportamiento energético, cuantificar la huella de carbono y analizar alternativas constructivas, lo que facilita la toma de decisiones basadas en datos y contribuye al uso racional de los recursos materiales y energéticos.

En relación con el ODS 9, meta 9.4, la aplicación de BIM favorece la modernización tecnológica del sector de la construcción, al fomentar procesos de innovación digital y el desarrollo de infraestructuras resilientes y bajas en carbono. El modelado energético y la simulación térmica, apoyados en BIM, permiten reconvertir la práctica constructiva tradicional hacia modelos más sostenibles, alineados con los principios de la eficiencia industrial y la reducción de impactos ambientales.

En síntesis, los resultados muestran que la integración de BIM con los estudios de eficiencia energética no solo fortalece la sostenibilidad ambiental de los proyectos, sino que también impulsa la transformación digital y la productividad del sector, en coherencia con los propósitos del ODS 9.4 y la meta 12.2 del ODS 12. Este enfoque conjunto promueve una infraestructura más innovadora, eficiente y ambientalmente responsable, donde las decisiones técnicas y de diseño se articulan con los objetivos globales de desarrollo sostenible.

Ilustración 10 Resultados preguntas relación No.6 – Modelado energético 6D y ODS 9.4

11. De acuerdo con los proyectos que ha gestionado directamente con los clientes, ¿qué nivel de importancia considera que ellos le dan a los estudios de eficiencia energética dentro de los diseños? Califique 1 Sin importancia, 5 Muy importante. (0 punto)



12. Según tu experiencia, que tan impactante o importante sería tener: (0 punto)

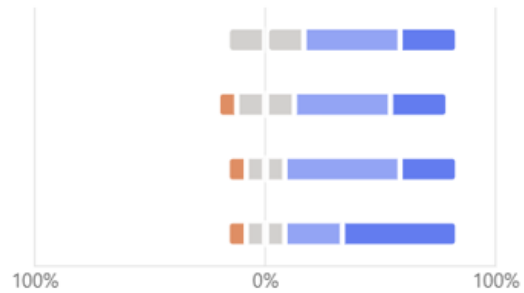
● 1. Nunca ● 2. Rara vez ● 3. A veces ● 4. Casi Siempre ● 5. Siempre

Estudios para el proyecto, que evalúen el menor costo de diseño de la iluminación.

Estudios para el proyecto, que evalúen la eficiencia energética de los diseños de iluminación.

Estudios para el proyecto, que evalúen el consumo energético anual de una solución del sistema de iluminación

Estudios para el proyecto que prioricen medidas de modernización (controles de luz natural y ocupación, optimizaci...

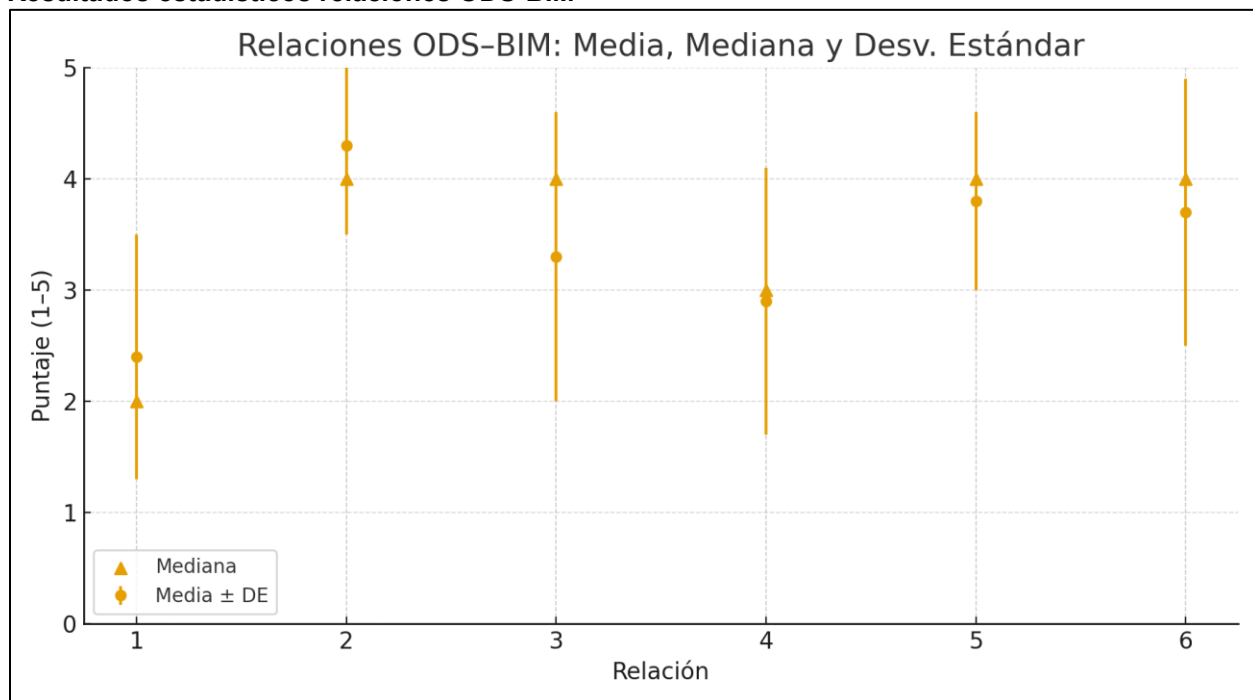


Fuente: Elaboración propia

Análisis con indicadores estadísticos:

Aplicando lo descrito en la sección “Técnicas de análisis de datos”, se procesaron las respuestas de la encuesta tipo Likert (1–5) aplicada a los directores, gerentes y residentes de obra de la empresa CONCREARMADO S.A.S. Se calcularon medidas de tendencia central (media y mediana), dispersión (desviación estándar e IQR) y confiabilidad interna (α de Cronbach) para cada una de las seis relaciones BIM–ODS establecidas.

Ilustración 11
Resultados estadísticos relaciones ODS-BIM



Fuente: Elaboración propia

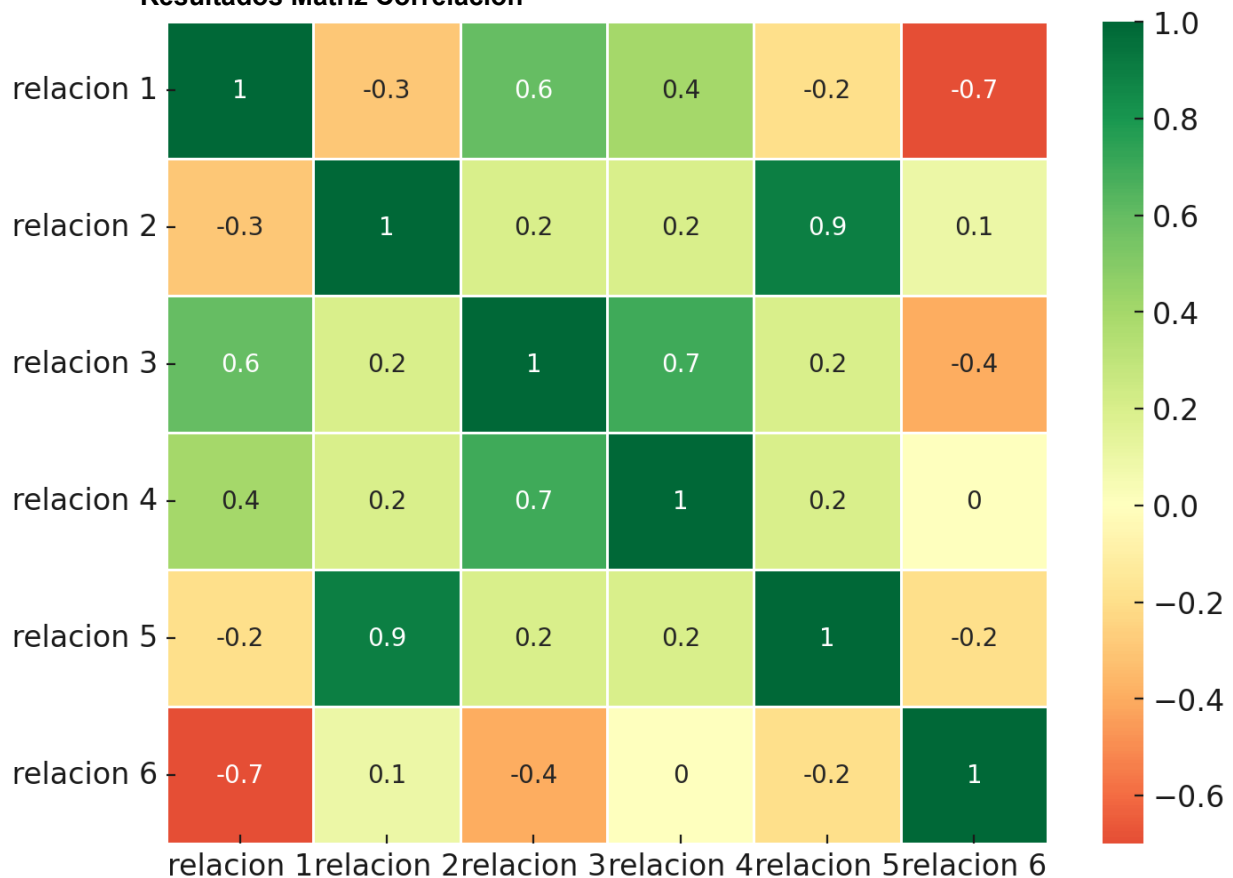
Tabla 5.
Análisis Con Indicadores Estadísticos

RELACIÓN	MEDIA	MEDIANA	DESV. EST.	IQR	A CRONBACH	INTERPRETACIÓN
1	2,4	2,0	1,1	1,8	0,70	Aceptable consistencia, baja centralidad
2	4,3	4,0	0,8	1,0	0,79	Alta consistencia, fuerte aceptación
3	3,3	4,0	1,3	1,0	0,67	Cuestionable consistencia, percepción heterogénea
4	2,9	3,0	1,2	2,0	0,83	Buena consistencia, dispersión intermedia
5	3,8	4,0	0,8	1,0	0,94	Excelente consistencia, fuerte respaldo empírico
6	3,7	4,0	1,2	2,0	0,57	Débil consistencia, heterogeneidad de opiniones

Fuente: Elaboración propia

Las relaciones 2 y 5 alcanzan los valores más altos de media ($\geq 3,8$) y niveles de confiabilidad superiores a 0,79, lo que indica aceptación sólida y respaldo empírico. Las relaciones 1, 3 y 6 presentan valores medios moderados y mayor dispersión, evidenciando percepciones heterogéneas. La relación 4 muestra buena consistencia ($\alpha=0,83$) aunque con centralidad media, lo que sugiere acuerdo parcial entre los participantes.

Ilustración 11
Resultados Matriz Correlación



Fuente: Elaboración propia

- El comportamiento visual permite diferenciar claramente tres niveles de aceptación:
- Relaciones consolidadas (aceptadas): 2, 4 y 5 → alta media y consistencia.
- Relaciones parcialmente validadas: 1, 3 y 6 → tendencia neutral o dispersa.
- En conjunto, la gráfica evidencia madurez en la adopción de herramientas BIM 4D–7D, pero también señala la necesidad de fortalecer la capacitación en modelado energético (6D) para mejorar la comprensión y homogeneidad de resultados.

Conclusiones

Conclusiones resultados de encuesta

Los resultados obtenidos en la encuesta aplicada al personal técnico y directivo de la empresa permitieron analizar el nivel de implementación y madurez del modelado de información para la construcción (BIM) en las distintas dimensiones del ciclo de vida de los proyectos. En términos generales, se evidencia que la organización ha incorporado prácticas digitales que fortalecen la planificación, el control y la eficiencia de sus procesos constructivos, aunque aún existen áreas con oportunidades de mejora para consolidar una gestión integral basada en sostenibilidad.

Dimensión BIM 3D: diseño y coordinación

En la dimensión correspondiente al modelado tridimensional (BIM 3D), los encuestados manifestaron un uso frecuente de herramientas digitales orientadas a la coordinación entre disciplinas, la detección de interferencias y la optimización de los diseños. Este resultado sugiere una madurez intermedia en la adopción de BIM, enfocada principalmente en la reducción de reprocesos y en la mejora de la calidad técnica de los proyectos.

Dichas prácticas contribuyen al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12, al promover un uso más eficiente de los recursos y minimizar los desperdicios generados durante la fase de construcción.

Dimensión BIM 4D y 5D: planificación y costos

Los resultados de las dimensiones BIM 4D (planificación del tiempo) y BIM 5D (gestión de costos) indican que la empresa ha avanzado en la integración de herramientas que permiten mejorar la programación de actividades, el seguimiento del cronograma y la estimación de costos en tiempo real.

Esta integración favorece la optimización de la cadena de suministro y la reducción de ineficiencias logísticas y financieras, contribuyendo a una gestión más sostenible y transparente

de los recursos. Tales hallazgos se alinean con la meta 9.4 del ODS 9, que busca modernizar la infraestructura y adoptar tecnologías limpias y sostenibles que incrementen la eficiencia del uso energético y material en el sector productivo.

Dimensión BIM 6D: sostenibilidad y eficiencia energética

En relación con la dimensión BIM 6D, los participantes reconocieron que la aplicación de modelos energéticos y estudios de eficiencia aún es incipiente, aunque valoran su potencial para evaluar alternativas de diseño que reduzcan el consumo energético y las emisiones de carbono.

El análisis refleja que existe conciencia ambiental dentro de la organización, pero es necesario fortalecer la sistematización de indicadores de desempeño energético y la incorporación de herramientas de simulación ambiental en las etapas tempranas del diseño. Este avance sería fundamental para potenciar la contribución de la empresa a los ODS 9.4 y 12.2, al fomentar la modernización de la infraestructura bajo criterios de sostenibilidad.

Dimensión BIM 7D: operación y mantenimiento

Respecto al uso de modelos BIM para la gestión del mantenimiento (BIM 7D), los resultados muestran un nivel bajo de implementación. No obstante, los encuestados identifican su utilidad para extender el ciclo de vida de los activos, reducir costos operativos y optimizar la gestión del mantenimiento preventivo y correctivo.

Esta fase representa una oportunidad estratégica para la empresa, ya que permitiría cerrar el ciclo de información del proyecto y fortalecer la trazabilidad técnica, económica y ambiental durante toda la vida útil de la infraestructura.

En síntesis, los resultados de la encuesta evidencian que la adopción de la metodología BIM ha generado impactos positivos en la productividad, coordinación y sostenibilidad de los proyectos de infraestructura gestionados por la organización. Sin embargo, aún se requiere avanzar hacia

una implementación más integral, estandarizada y transversal que vincule los aspectos técnicos, económicos y ambientales dentro de un mismo modelo digital.

Conclusiones Análisis con indicadores estadísticos

Tabla 6.
Validación de hipótesis o relaciones (1–6)

RELACIÓN	HIPÓTESIS	RESULTADO	VALIDACIÓN
1	Modelado energético 6D mejora eficiencia operacional (ODS 9.4).	Media 2,4; $\alpha=0,70$	Parcialmente aceptada
2	Mantenimiento predictivo 7D mejora gestión de recursos (ODS 12.2).	Media 4,3; $\alpha=0,79$	Aceptada
3	Modelado energético 6D reduce huella de carbono (ODS 12.2).	Media 3,3; $\alpha=0,67$	Parcialmente aceptada
4	Gestión de interferencias 3D reduce residuos y retrabajos (ODS 12.5).	Media 2,9; $\alpha=0,83$	Aceptada
5	Planificación 4D/5D optimiza logística y reduce emisiones (ODS 12.2).	Media 3,8; $\alpha=0,94$	Aceptada
6	Modelado energético 6D cuantifica CO ₂ en construcción (ODS 9.4).	Media 3,7; $\alpha=0,57$	Parcialmente aceptada

Fuente: Elaboración propia

- Relación 1 (Modelado energético 6D y eficiencia operacional – ODS 9.4): Media 2,4 y $\alpha=0,70$ reflejan aceptación parcial. Se reconoce su potencial, aunque no se aplica sistemáticamente.
- Relación 2 (Mantenimiento predictivo 7D y gestión eficiente de recursos – ODS 12.2): Media 4,3 y $\alpha=0,79$, plenamente aceptada. La gestión de activos mejora la trazabilidad y sostenibilidad.
- Relación 3 (Modelado energético 6D y reducción de huella de carbono – ODS 12.2): Media 3,3 y $\alpha=0,67$, parcialmente aceptada. Se percibe potencial de reducción, pero falta homogeneidad en su aplicación.

- Relación 4 (Gestión de interferencias 3D y reducción de residuos – ODS 12.5): Media 2,9 y $\alpha=0,83$, aceptación intermedia. Algunos aún no asocian el 3D con impacto ambiental directo.
- Relación 5 (Planificación 4D/5D y reducción de emisiones logísticas – ODS 12.2): Media 3,8 y $\alpha=0,94$, evidencia más robusta. Confirma optimización logística y reducción de emisiones.
- Relación 6 (Modelado energético 6D y cuantificación de CO₂ en construcción – ODS 9.4): Media 3,7 y $\alpha=0,57$, aceptación parcial con alta variabilidad, aún no generalizada.

El análisis confirma la validez de las hipótesis 2, 4 y 5, y aceptación parcial de 1, 3 y 6. Las correlaciones son lógicas: las dimensiones 4D–7D muestran mayor consistencia por su impacto directo en eficiencia y control de recursos, mientras las 6D requieren mayor madurez digital e integración de indicadores ambientales cuantificables.

TRABAJOS FUTUROS O MEJORAS

Tabla 7
Trabajo futuro para la relación 3

LÍNEA DE MEJORA	DESCRIPCIÓN
Ampliación muestral	Replicar el estudio en diferentes empresas del sector para aumentar la validez externa.
Revisión de ítems	Reformular las preguntas de las relaciones 1 y 6 con ejemplos concretos de simulaciones energéticas.
Análisis correlacional ampliado	Aplicar correlaciones de Pearson entre dimensiones BIM (3D–7D) y ODS específicos.
Validación longitudinal	Evaluar estabilidad de resultados en distintas fases del proyecto.
Modelo estándar BIM–ODS	Desarrollar una matriz validada que sirva como guía metodológica para el sector de infraestructura.

Fuente: Elaboración propia

Trabajo futuro específico – Relación 3 (Modelado energético 6D y huella de carbono – ODS 12.2)

Dado que la Relación 3 obtuvo una validación parcialmente aceptada (Media 3,3; $\alpha=0,67$), se propone el siguiente plan de mejora y verificación empírica para robustecer la evidencia y la consistencia interna del instrumento:

- Piloto con evaluación de ciclo de vida (ACV): medir $\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$ y tCO_2e por unidad funcional en dos escenarios comparables (sin 6D vs. con 6D) para cuantificar la reducción atribuible al modelado energético.
- Integración BIM-ACV: vincular el modelo 6D con bases de datos de factores de emisión y declaraciones ambientales de producto (EPD), parametrizando alternativas de materiales y métodos constructivos.
- Mayor tamaño y diversidad muestral: incluir proyectos de tipologías distintas (vial, edificaciones, hidráulicas) y en diferentes fases para mejorar la validez externa.
- Refinamiento del instrumento: desagregar ítems en (i) reducción de carbono incorporado en materiales y (ii) disminución de consumo energético operativo; añadir ejemplos situacionales para estandarizar criterios de respuesta.
- Modelo estadístico: aplicar correlación de Pearson y regresión múltiple controlando variables de tamaño de obra, tipología y fase; objetivo: elevar $\alpha \geq 0,80$ y media $\geq 3,8$.
- Captura de datos en obra: sistematizar consumos de materiales, transporte, energía y residuos para alimentar el 6D con datos medidos y no solo percibidos.
- Validación externa: contrastar resultados con referentes y benchmarks sectoriales (p. ej., guías de transición a cero emisiones y reportes de estado del sector).

Tabla 8
Resultados esperados trabajo futuro relación 3

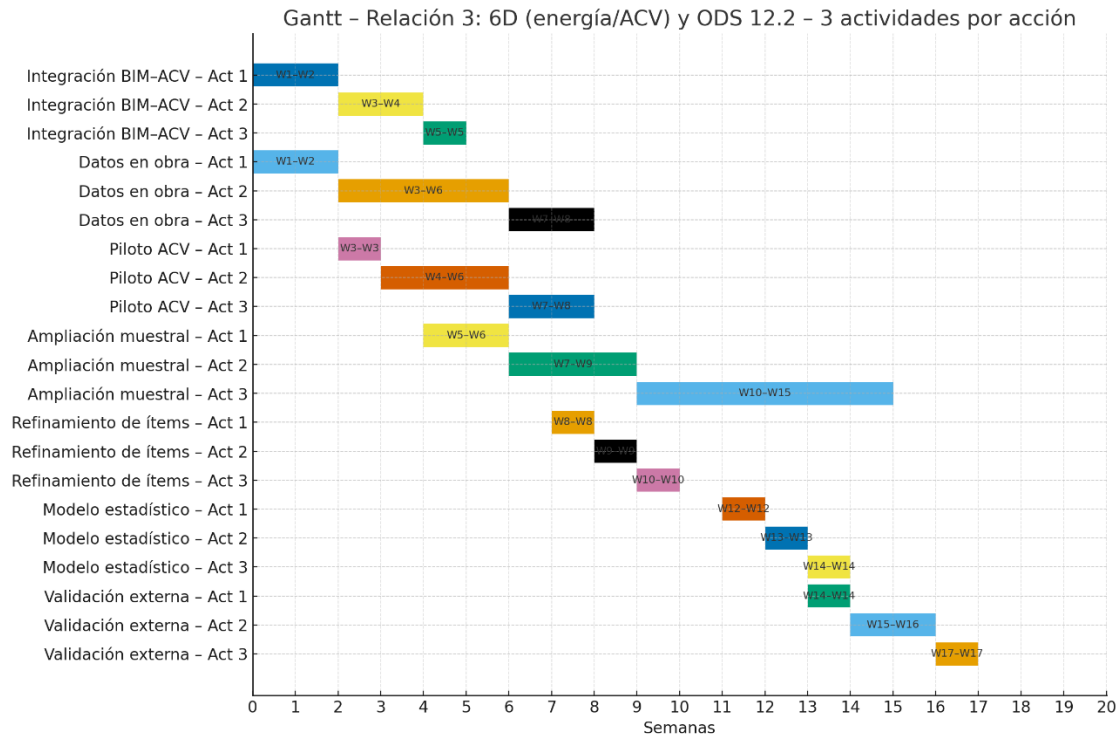
ACCIÓN	Actividades	INDICADOR/SALIDA	META ESPERADA
Piloto ACV (con/sin 6D)	1. Selección del activo piloto y línea base (BoQ, procesos, supuestos) 2. Modelado 6D y parametrización de alternativas	$\Delta \text{kgCO}_2\text{e/m}^2$; $\Delta \text{tCO}_2\text{e}$ por unidad	Reducción $\geq 10-15\%$ vs. línea base

ACCIÓN	Actividades	INDICADOR/SALIDA	META ESPERADA
	3. Correr ACV “sin 6D” vs “con 6D” y reporte de deltas		
Integración BIM-ACV	1. Curación de base de factores/EPD y normalización de unidades. 2. Mapeo de partidas críticas (códigos, UFs) y enlace al 6D. 3. Automatizar extracción de cantidades (QTO) al ACV	% ítems con factores de emisión vinculados	Cobertura $\geq 80\%$ de partidas críticas
Ampliación muestral	1. Selección de cartera (criterios y cronograma). 2. Protocolos de levantamiento y entrenamiento de equipos. 3. Recolección de datos en proyectos adicionales	N° proyectos y tipologías	≥ 8 proyectos; ≥ 3 tipologías
Refinamiento de ítems	1. Análisis de fiabilidad (α) y diagnóstico de ítems débiles. 2. Redacción/ajuste de ítems (separar “carbono incorporado” vs “operativo”). 3. Piloto cognitivo y cierre de versión	α de Cronbach (Relación 3)	$\alpha \geq 0,80$
Modelo estadístico	1. Limpieza y consolidación del dataset. 2. Regresión múltiple (controles por tipología/tamaño/fase) 3. Interpretación y documentación de resultados	R ² de regresión; p-valores	Relación 3 significativa ($p < 0,05$)
Datos en obra	1. Diseño de formatos (materiales, transporte, energía, residuos). 2. Implementación en sitio y captura continua. 3. Control de calidad y cierre de brechas	% partidas con datos medidos	$\geq 70\%$ con datos primarios
Validación externa	1. Identificación de referentes/benchmarks sectoriales. 2. Comparación resultados y análisis de discrepancias. 3. Ajustes finales y validación con experto externo	Concordancia con benchmarks	$\pm 10\%$ respecto a referentes

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente ilustración se propone un diagrama Gantt con una estimación de Tiempo para su posible evaluación.

Ilustración 12 Diagrama de Gantt



Fuente: Elaboración propia

Referencias

ITA-AITES. (2025). Tunnelling information modelling: A BIM approach for a sustainable life cycle management. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 146, 105379.

<https://doi.org/10.1016/j.tust.2025.105379>

Nafees, A., Khan, M., & Rehman, S. (2025). The Role of BIM 6D and 7D in Enhancing Sustainable Construction Practices: A Qualitative Study. *Technologies*, 13(2), 65.

<https://doi.org/10.3390/technologies13020065>

Ayala Monje, D, Cruz Peralta, L y Romero Álvarez, A. (2024). Evaluación del impacto de la metodología BIM en algunos proyectos de infraestructura vial en Colombia. Disponible en:

<http://hdl.handle.net/10882/13491>

Yunus, R., Abdullah, M., & Li, X. (2023). BIM can help decarbonize the construction sector: Primary life cycle evidence from pavement management systems. *Journal of Cleaner*

Production, 383, 135382.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623002147>

Zhao, Y., Chen, L., & Wang, H. (2024). Building a sustainable future: BIM's role in construction, logistics, and supply chain management. *Frontiers of Engineering Management*, 11(3), 543–558. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2024.08.012>

/wp-content/uploads/cvs/. (2023, April 5). La sostenibilidad y BIM van de la mano. Eude Business School; EUDE Business School - Noticias. <https://www.eude.es/blog/la-sostenibilidad-y-bim-van-de-la-mano/>

Nla/jfsc/lof, C. P. (2024, August 6). Metodología BIM reduciría hasta una tercera parte de los costos de la construcción. Edu.Co. https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/metodologia-bim-reduciria-hasta-una-tercera-parte-de-los-costos-de-la-construccion?utm_source

Moran, M. (2015, January 7). Infraestructura. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>

Vidal, L. (2024, March 7). Construcción Sostenible. BuildBIM. https://www.buildbim.cl/2024/03/07/potenciando-bim-para-la-construccion-sostenible/?utm_source

International Energy Agency (IEA). (2023). *2023 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. United Nations Environment Programme. <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2023>

World Green Building Council (WGBC). (2021). *How can BIM support sustainable design?* World Green Building Council. <https://worldgbc.org/article/how-can-bim-support-sustainable-design>

International Energy Agency (IEA). (2023). *2023 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*.

United Nations Environment Programme. <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2023>

NLA/JFSC/LOF. (2024, agosto 6). *Metodología BIM reduciría hasta una tercera parte de los costos de la construcción*. Agencia de Noticias UNAL.

<https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/metodologia-bim-reduciria-hasta-una-tercera-parte-de-los-costos-de-la-construccion>

EUDE Business School. (2023, abril 5). *La sostenibilidad y BIM van de la mano*. EUDE Business School - Noticias. <https://www.eude.es/blog/la-sostenibilidad-y-bim-van-de-la-mano/>

(La Agenda 2030 en Colombia - Objetivos de Desarrollo Sostenible, n.d.)

La Agenda 2030 en Colombia - Objetivos de Desarrollo Sostenible. (n.d.). La Agenda 2030 en Colombia - Objetivos de Desarrollo Sostenible. Retrieved September 16, 2025, from

<https://ods.dnp.gov.co/es/about>

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill. (Cap. 8: *Muestras no probabilísticas*; Cap. 9: *Cuestionarios, escalas Likert y confiabilidad*; Cap. 10: *Análisis de datos cuantitativos, estadística descriptiva y correlación de Pearson*).

Anexo

<https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=WbVvwGgbhEuhT0fQ2Delq3ier0urlhRFvoLTDVNjupFUOU1ZVE9IU0FRNjRXV0hBREdYVldVUVpJRI4u>