

Articulo de Investigacion_Juan Carlos Reyes Vera_Formato Revista 1

 Universidad Señor de Sipán

Document Details

Submission ID

trn:oid:::26396:501493311

Submission Date

Sep 21, 2025, 1:55 PM GMT-5

Download Date

Sep 21, 2025, 1:57 PM GMT-5

File Name

Articulo de Investigacion_Juan Carlos Reyes Vera_Formato Revista 1

File Size

37.5 KB

16 Pages

5,536 Words

31,953 Characters

17% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 10%  Internet sources
- 3%  Publications
- 13%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 10% Internet sources
- 3% Publications
- 13% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	hdl.handle.net	2%
2	Publication	Zambrano, Adriana Marcela Benavides Guacaneme, Carlos Alfonso Gómez. "Pro...	<1%
3	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
4	Submitted works	Universidad Católica Boliviana "San Pablo" on 2024-11-04	<1%
5	Submitted works	Universidad San Ignacio de Loyola on 2023-04-03	<1%
6	Internet	www.coursehero.com	<1%
7	Submitted works	Universidad Católica San Pablo on 2024-10-09	<1%
8	Submitted works	Universidad Cesar Vallejo on 2024-02-15	<1%
9	Submitted works	Universidad Católica San Pablo on 2025-07-14	<1%
10	Submitted works	Universitat Politècnica de València on 2025-09-02	<1%
11	Submitted works	Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD on 2023-12-06	<1%

12	Submitted works	uncedu on 2024-09-29	<1%
13	Submitted works	Universitat Politècnica de València on 2025-09-05	<1%
14	Submitted works	uncedu on 2025-01-06	<1%
15	Internet	catalogo.escuelaing.edu.co	<1%
16	Submitted works	Escuela Superior de Administración Pública ESAP on 2025-02-09	<1%
17	Submitted works	ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey on 2025-03-20	<1%
18	Submitted works	Universidad de Cantabria on 2023-11-24	<1%
19	Internet	miro.com	<1%
20	Internet	pt.slideshare.net	<1%
21	Submitted works	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2024-07-10	<1%
22	Submitted works	udep on 2025-06-25	<1%
23	Submitted works	Universidad de Cantabria on 2023-11-24	<1%
24	Internet	cdn.www.gob.pe	<1%
25	Internet	innovandoenlaconstruccion.com	<1%

26	Internet	worldwidescience.org	<1%
27	Internet	issuu.com	<1%
28	Internet	prezi.com	<1%
29	Internet	www.pronatta.gov.co	<1%
30	Internet	www.researchgate.net	<1%
31	Submitted works	Universidad Cesar Vallejo on 2024-01-08	<1%
32	Internet	medbox.org	<1%
33	Internet	poendorf.parmerasa.eu	<1%
34	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
35	Internet	unaids-test.unaids.org	<1%
36	Submitted works	uncedu on 2024-12-01	<1%
37	Internet	www.logistica360.pe	<1%
38	Submitted works	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA IBEROAMERICANA on 2025-07-09	<1%
39	Submitted works	Universidad Cesar Vallejo on 2018-07-19	<1%

40	Submitted works	Universidad Europea de Madrid on 2025-09-10	<1%
41	Submitted works	Universidad Pontificia Bolivariana on 2020-09-14	<1%
42	Submitted works	Universidad Tecnologica del Peru on 2025-09-09	<1%
43	Submitted works	Webster University on 2022-11-17	<1%
44	Internet	pesquisa.bvsalud.org	<1%
45	Internet	riunet.upv.es	<1%
46	Internet	sci-article.ru	<1%
47	Submitted works	uncedu on 2024-12-13	<1%
48	Internet	www.slideshare.net	<1%
49	Internet	managebim.wixsite.com	<1%
50	Submitted works	Universidad Privada del Norte on 2024-11-16	<1%
51	Submitted works	Universidad San Ignacio de Loyola on 2025-09-01	<1%
52	Submitted works	Universitat Politècnica de València on 2020-09-13	<1%

23 Análisis de la efectividad de la metodología BIM en la gestión de interferencias e incompatibilidades en el proyecto del centro de salud de Ocobamba - Chincheros

34 Analysis of the effectiveness of the BIM methodology in the management of interferences and incompatibilities in the Ocobamba - Chincheros health center project.

Juan Carlos Reyes Vera [ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8264-3615> Universidad Peruana Unión. Lima (Perú). juanreyes@upeu.edu.pe (autor de contacto)

Armin Quintana Sanchez Universidad Peruana Unión. Lima (Perú).

RESUMEN

1 Este artículo evalúa la efectividad de la metodología BIM en la gestión de interferencias e incompatibilidades en la fase de ejecución del proyecto "Mejoramiento de los servicios de salud del Centro de Salud Ocobamba, Chincheros, Apurímac". Se desarrollaron modelos tridimensionales de las diferentes especialidades usando el software Revit 2023, integrándolos en un modelo federado para identificar y resolver dichas interferencias e incompatibilidades. La metodología se fundamentó en principios del PMBOK y utilizó indicadores de eficacia, eficiencia y efectividad. Los resultados mostraron una eficacia del 100 %, una eficiencia del 96.3 % y una efectividad de 96.3 %, indicando que BIM es altamente eficaz, pero con eficiencia media. Se concluye que la aplicación de BIM en etapa de ejecución permite optimizar la detección de conflictos técnicos, reducir riesgos constructivos y prevenir sobre costos y ampliaciones de plazo, evidenciando su relevancia para proyectos públicos complejos.

Palabras clave: efectividad; Building Information Modeling (BIM); interferencia; incompatibilidad.

ABSTRACT

18 This article evaluates the effectiveness of the BIM methodology in managing interferences and incompatibilities during the execution phase of the project "Improvement of healthcare services at the Ocobamba Health Center, Chincheros, Apurímac." Three-dimensional models of the various specialties were developed using Revit 2023 software and integrated into a federated model to identify and resolve such conflicts. The methodology was based on PMBOK principles and employed indicators of efficacy, efficiency, and effectiveness. The results showed an efficacy of 100%, an efficiency of 96.3%, and an overall effectiveness of 96.3%, indicating that BIM is highly effective but with moderate efficiency. It is concluded that the application of BIM during the execution phase helps optimize the detection of technical conflicts, reduce construction risks, and prevent cost overruns and schedule delays, highlighting its relevance for complex public projects.

Keywords: effectiveness; Building Information Modeling (BIM); interference; incompatibility.

1. INTRODUCCIÓN

Durante la fase de ejecución en el sector construcción, uno de los mayores desafíos es lograr una buena gestión de interferencias e incompatibilidades entre las distintas disciplinas técnicas involucradas, sobre todo en obras complejas como los centros de salud (5,6). En este tipo de proyectos, es fundamental que las especialidades de Estructuras, Arquitectura y MEP (instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas y de telecomunicaciones) trabajen de forma integrada para garantizar que los ambientes construidos cumplan con los requisitos de seguridad, funcionalidad y calidad (26). En ese sentido, la metodología BIM (Building Information Modeling) se ha convertido en un apoyo clave, ya que permite desarrollar modelos 3D integrados que ayudan a identificar y solucionar interferencias e incompatibilidades antes de que se conviertan en problemas en obra (14).

En el desarrollo del presente artículo del Centro de Salud de Ocobamba - Chincheros, se ha optado por aplicar la metodología BIM como herramienta principal para gestionar las interferencias e incompatibilidades surgidas durante la fase de ejecución (17). La implementación de BIM en un contexto real como este permite cumplir con la evaluación, desde una perspectiva práctica, y que tan efectiva resulta esta metodología para anticipar y resolver conflictos entre especialidades (5,6). Este artículo se enfoca en examinar el grado de efectividad de BIM en la gestión de interferencias e incompatibilidades de las disciplinas técnicas involucradas en el proyecto, aportando evidencia sobre su influencia en la mejora de la eficacia y eficiencia en la ejecución de obra (15).

El análisis de la experiencia desarrollada en este artículo demuestra que la metodología BIM puede integrarse de manera efectiva incluso en etapas avanzadas del ciclo de un proyecto, como la fase de ejecución, aun cuando la etapa de diseño ya ha sido definida previamente con metodologías tradicionales. Si bien es común asociar la implementación de BIM a la fase de diseño, este caso evidencia que su adopción posterior también puede generar beneficios, particularmente en la identificación y resolución anticipada de interferencias e incompatibilidades entre especialidades (26). La incorporación de esta metodología durante la fase de ejecución ha permitido a los equipos de obra contar con un modelo digital vinculados, que facilita la coordinación interdisciplinaria y mejora la toma de decisiones técnicas en campo (17).

Los resultados de esta investigación apuntan a que la adopción de BIM en proyectos complejos de infraestructura de salud es efectiva para la gestión de interferencias e incompatibilidades (17). Con el respaldo de estos hallazgos, se fomenta una mayor implementación de BIM como estándar en el desarrollo de infraestructuras que requieren la integración de múltiples especialidades (10).

1.1. Interferencias e Incompatibilidades en Proyectos de Construcción

En un proyecto, las interferencias ocurren cuando dos o más elementos ocupan el mismo espacio físico, mientras que las incompatibilidades surgen por errores en las especificaciones o incompatibilidad funcional entre especialidades. Ambos problemas son comunes en mega proyectos, debido a su complejidad (17). La gestión tradicional basada en planos bidimensionales no siempre permite detectar estos problemas con suficiente anticipación, lo que aumenta los riesgos durante la ejecución (5,6).

Figura 1. Impacto comparativo de interferencias e incompatibilidades en Tiempo, Costo y Calidad.

Fuente: Elaboración propia en base a Montoya y Llave (2022), Arrunátegui y Miranda (2021), Yopla y Zavaleta (2021), Paredes y Egusquiza (2023) y Crisóstomo (2022).

Este gráfico ilustra cómo las interferencias tienden a generar mayores impactos en tiempo y costo, debido a la necesidad de rediseños, demoliciones o retrabajos en obra (5,17). En cambio, las incompatibilidades afectan más la calidad, al comprometer el funcionamiento adecuado de las especialidades o al no cumplir con las normas técnicas (26,18).

1.2. Fundamento Metodológico desde el PMBOK

La Guía del PMBOK (Project Management Institute, 2021), en su séptima edición, introduce un enfoque basado en principios y dominios de desempeño, en lugar de centrarse exclusivamente en procesos (21). Esta transformación permite mayor flexibilidad y adaptación a distintos tipos de proyectos, como los de infraestructura pública bajo entornos colaborativos como BIM (Building Information Modeling) (20).

Uno de los principios clave establecidos es el de "Enfocarse en el valor", el cual resalta la importancia de que un proyecto genere resultados útiles y sostenibles para las partes interesadas (21). En el contexto de esta investigación, la aplicación de la metodología BIM aporta valor al reducir interferencias e incompatibilidades, optimizar el uso de recursos y mejorar la calidad técnica, lo cual se alinea directamente con dicho principio (21).

Además, el PMBOK destaca la importancia de utilizar indicadores clave de desempeño (KPI's) como herramienta para evaluar cómo se está gestionando un proyecto (21). Si bien no propone fórmulas rígidas, sí alienta a que estos indicadores reflejen aspectos fundamentales como el cumplimiento de los objetivos (eficacia) y el buen uso de los recursos disponibles (eficiencia) (21). En este estudio, se definieron e implementaron KPI's cuantitativos que permitieron medir con claridad qué tan efectiva fue la aplicación de la metodología BIM en el caso de estudio (26).

Estos indicadores permiten medir de forma clara y objetiva el rendimiento del proyecto durante la fase de ejecución, en coherencia con las buenas prácticas internacionales sugeridas por el PMBOK (8, 18).

Finalmente, esta investigación también se relaciona con varios dominios de desempeño del proyecto descritos en la guía (21), entre ellos:

22 Tabla 1. Dominio de desempeño del proyecto

Dominio del PMBOK

Aplicación práctica con BIM

Desempeño del trabajo

Evaluación del resultado de los modelos BIM y detección de conflictos

Planificación

Modelado anticipado como estrategia de prevención

Entregables

Modelos federados y coordinados como productos tangibles

Medición del desempeño

Uso de KPI's basados en eficacia y eficiencia

1.2.1. Eficacia

11 El PMBOOK en su séptima edición se refiere a la eficacia como la capacidad de cumplir con los objetivos de un proyecto y generar los resultados esperados. Según Bourne, la eficacia esta relacionada con la capacidad de alcanzar los resultados deseados (8,21).

Este indicador permite evaluar cuántos de los conflictos técnicos identificados en el modelado BIM fueron efectivamente resueltos durante la fase de ejecución del proyecto (21). Una eficacia cercana al 1 indica un control adecuado del proceso y cumplimiento de los objetivos del modelado colaborativo (8).

1.2.2. Eficiencia

52 La eficiencia se refiere al uso optimo de los recursos disponibles para alcanzar los objetivos del proyecto. Esto implica minimizar costos, tiempo y esfuerzo sin comprometer la calidad de los resultados. Así mismo está relacionada con la forma en que los equipos gestionan el trabajo y los recursos del proyecto para lograr los entregables planificados de la forma más económica y ágil posible (8,21).

11 1.2.3. Efectividad

La efectividad combina los conceptos de eficacia y eficiencia. Se refiere a la capacidad de un proyecto para lograr sus objetivos (eficacia) utilizando los recursos asignados de manera adecuada (eficiencia) (21).

1.2.4. Key Performance Indicators (KPI's)

3 Los KPI's son métricas utilizadas para medir el rendimiento de un proyecto en relación con sus objetivos. Según el PMBOK (séptima edición) (21), estos indicadores deben ser específicos, medibles, alcanzables, 6 relevantes y con un marco temporal definido. En el contexto de la gestión 20 de proyectos con BIM, los KPI's te permiten evaluar si la metodología mejora aspectos críticos como la detección de interferencias, la 48 optimización de recursos y el cumplimiento de plazos (8).

10 1.3. La metodología BIM

La metodología Building Information Modeling (BIM) ha revolucionado la industria de la construcción al implementar modelos que se pueden

gestionar de forma digital y que reflejan las propiedades físicas y funcionales de un proyecto (1,7,18). Sus comienzos datan de la década de 1970, pero no fue hasta los años 2000 cuando el concepto "BIM" se hizo más conocido y su uso se difundió a nivel mundial (14,27). BIM facilita una cooperación más efectiva entre las diferentes disciplinas participantes en un proyecto, aumentando la exactitud y disminuyendo errores en las etapas de diseño y construcción (26).

Con el aumento de la adopción de BIM, apareció la necesidad de normalizar la gestión de la información y los procesos (11). En respuesta, la Organización Internacional de Normalización (ISO) creó la serie de normativas ISO 19650 (20), fundamentadas en estándares británicos anteriores como el PAS 1192. Lanzada en enero de 2019, la ISO 19650 proporciona una estructura para la coordinación de la información en proyectos de edificación (11,20).

1.3.1. Implementación de BIM en el Contexto Peruano

Reconociendo las ventajas de BIM, el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) de Perú presentó el Plan BIM Perú, una estrategia nacional para la implementación gradual de BIM en proyectos de inversión pública (8,15). Este plan tiene como objetivo optimizar la efectividad, mejorar la transparencia y calidad en la ejecución de proyectos de infraestructura en el país (20).

A continuación, se presenta una línea de tiempo que ilustra los hitos clave en la implementación del Plan BIM Perú (20):

Figura 2. Hitos del Plan Nacional de Competitividad y Productividad. Fuente: Elaboración propia en base a Plan BIM Perú, MEF (2021).

En los últimos años, Perú ha estado promoviendo una evolución en la gestión de sus proyectos de construcción, siendo fundamental en este cambio el Plan BIM Perú (11,23). Este plan tiene como objetivo integrar estándares internacionales, como la norma ISO 19650, para mejorar la colaboración entre los diversos participantes del proyecto y optimizar los procedimientos en cada fase (20). Al implementar estas buenas prácticas, el país no solo se coloca al nivel de los modelos globales, sino que igualmente mejora la efectividad y la transparencia en proyectos públicos (20,23).

1.3.2. Usos BIM

En el contexto de la metodología BIM, los Usos BIM se entienden como las formas específicas en que se aplica la tecnología BIM a lo largo del ciclo de vida de un proyecto. Cada uso BIM representa una función o proceso que puede implementarse con el apoyo de modelos digitales para lograr objetivos concretos, ya sea en la fase de diseño, ejecución, operación o mantenimiento (7,14,27).

De acuerdo al Plan BIM Perú, los Usos BIM se describen como formas de aplicar BIM que están dirigidas a distintos objetivos dentro de una inversión pública (20), y que se pueden ubicar y relacionar con

diferentes fases del proyecto (23). Por ejemplo, algunos usos están pensados para la etapa inicial (como el "levantamiento de condiciones existentes"), mientras que otros se aplican en fases más avanzadas (como el "modelo As-Built" o la "gestión de activos") (11).

En el caso de este estudio, se priorizó el uso "Detección de interferencias e incompatibilidades", ya que es uno de los más críticos para garantizar la correcta integración entre especialidades técnicas durante la fase de ejecución (23).

1.3.3. Nivel de Información Necesaria - LOIN

En el entorno BIM, no solo importa modelar en 3D, sino también definir la calidad, precisión y tipo de información que debe tener cada elemento del modelo según la fase del proyecto y sus objetivos (20). A esto se le conoce como LOIN, siglas en inglés de Level of Information Need, traducido como Nivel de Información Necesaria (11).

El LOIN es un concepto clave que establece qué información se requiere en cada intercambio, es decir, qué datos necesita una entidad para diseñar, ejecutar, supervisar u operar una infraestructura pública (11,20,23).

Según el Plan BIM Perú, el LOIN se compone de dos grandes componentes (20):

LOD (Level of Detail) o Nivel de Detalle: Define el nivel gráfico o geométrico del elemento. Por ejemplo, si una viga está representada solo como una línea, como un volumen genérico, o como un elemento estructural completo con armaduras (11,20,23).

LOI (Level of Information) o Nivel de Información: Define los atributos no gráficos o alfanuméricos de un objeto, como su nombre, código, tipo de material, resistencia, costo, fabricante, etc (11,20,23).

Ambos componentes son igual de importantes. Tener un modelo muy detallado visualmente (alto LOD) pero sin datos técnicos (bajo LOI), o viceversa, genera modelos desequilibrados e incompletos (14). Por eso, el LOIN permite planificar con claridad el contenido informativo de los modelos según el uso BIM que se aplicará (27).

1.3.4. Entorno Común de Datos (CDE)

El Entorno Común de Datos (CDE) es una plataforma digital que facilita la centralización de toda la información vinculada a un proyecto realizado con metodología BIM (1,7). Este entorno permite que los diversos profesionales implicados colaboren de forma coordinada, actualizando y compartiendo información en un solo lugar (13). Esto previene errores, duplicaciones y confusiones, dado que todos tienen acceso a la misma fuente de datos. El CDE es particularmente valioso a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, desde la planificación hasta la ejecución, puesto que permite la toma de decisiones fundamentadas en datos organizados y al día. Para establecer este entorno, se emplean herramientas como Autodesk BIM 360, Autodesk Construction Cloud, Dropbox, Trimble Connect, Bentley ProjectWise, Oracle Aconex, SharePoint, Allplan

Bimplus, entre otras. Estos programas facilitan la administración de modelos, documentos y comunicaciones de manera segura, regulando versiones, accesos y permisos conforme al rol de cada miembro del equipo (16).

Figura 3. Softwares comúnmente utilizados.
Fuente: Elaboración propia.

2. METODOLOGÍA

Como se desea evaluar la efectividad de la metodología BIM en la detección, análisis y resolución de interferencias e incompatibilidades en la fase de ejecución del caso de estudio se obtendrá midiendo tanto su eficacia como su eficiencia (15,21).

La eficacia se determina por la capacidad de BIM para identificar y resolver las interferencias e incompatibilidades. La eficiencia, por otro lado, se evalúa observando el uso de recursos planificados frente a los realmente utilizados en estas resoluciones (5,6).

Estas evaluaciones nos permitirán establecer cuan efectiva es la metodología BIM en la gestión de interferencias e incompatibilidades, aportando un análisis integral que combina la capacidad de alcanzar resultados esperados con el uso optimo de los recursos. Se utilizarán los principios descritos en el PMBOK y Bourne para estructurar y justificar la metodología de análisis (8,21,17,26).

Se aplicará estos conceptos de la siguiente manera:

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{Interferencias} + \text{incompatibilidades resueltas}}{\text{Interferencias} + \text{incompatibilidades detectadas}}$$

Si la proporción de interferencias e incompatibilidades resueltas sobre las detectadas es cercana o igual a 1, esto indica una alta eficacia.

$$\text{Eficiencia (días)} = \frac{\text{días planificadas}}{\text{días utilizadas}}$$

$$\text{Eficiencia (costos)} = \frac{\text{costos planificados}}{\text{costos utilizados}}$$

$$\text{Eficiencia total} = \frac{\text{Eficiencia (días)} + \text{Eficiencia (costos)}}{2}$$

La efectividad se calculará como el producto de la eficacia y eficiencia.

Una efectividad mayor a 1 indica que no solo se cumplieron los objetivos, sino que se hizo con una utilización optima de los recursos.

3. CASO DE ESTUDIO

3.1. Procedimiento de Trabajo

La secuencia estructurada que conforman el procedimiento metodológico para evaluar la efectividad de la metodología BIM del centro de salud Ocobamba - Chincheros durante la fase de ejecución inicia con la autorización del uso de la información de su expediente técnico, seguido

por la revisión y organización de la documentación, posteriormente se procede al modelado de las especialidades involucradas (8,3).

Una vez desarrollados los modelos individuales, se vinculan en un modelo federado, permitiendo realizar en análisis de interferencias entre disciplinas (6,26). A partir de ello se realiza la identificación, documentación y resolución de las interferencias e incompatibilidades utilizando formatos de propios elaborados en Excel (5,17).

Finalmente se realiza el análisis de la efectividad de la metodología BIM, a través de los indicadores definidos como la eficacia, la eficiencia (8,15,21).

Figura 4. Procedimiento metodológico.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Revisión

Se accedió bajo autorización de la municipalidad distrital de Ocobamba, al expediente técnico aprobado, recopilando los planos de todas las especialidades involucradas (arquitectura, estructuras, instalaciones eléctricas, sanitarias, mecánicas y telecomunicaciones).

El proyecto consta de un área de terreno de 5240 m², con un área construida de 4277.95 m², que se dividen en tres módulos principales A, B y C que cuentan con dos niveles. El módulo de almacén - lavandería, módulo de residencia, módulo de TBC, módulo de servicios generales, módulo de gases medicinales, módulo de taller de mantenimiento, módulo de cuarto de máquinas y obras exteriores, cuentan con un solo nivel. El proyecto consta con un plazo de ejecución contractual de 540 días calendarios, el periodo de intervención para la construcción digital en 3D fue en los meses de junio y julio del 2023, donde se realizó el modelado y las detecciones de interferencias e incompatibilidades, que fueron resueltas en la ejecución del proyecto (13,16).

3.3. Organización Estructurada

Los archivos del proyecto del Centro de Salud Ocobamba se organizaron en un árbol de carpetas jerárquico en el software Dropbox, permitiendo agrupar y clasificar la información de acuerdo a las diferentes disciplinas o especialidades involucradas. En la parte superior de la estructura, se ubican los Datos Previos, donde se almacena el Expediente Técnico Aprobado y los planos CAD necesarios para futuras importaciones. A continuación, la carpeta Modelo reúne las subcarpetas de cada especialidad (Arquitectura, Estructuras, Instalaciones Sanitarias, Eléctricas, de Telecomunicaciones y Mecánicas), conteniendo tanto los modelos BIM nativos como los archivos de coordinación (por ejemplo, en formato Navisworks). Finalmente, se incluye el Modelo Federado, que integra y consolida toda la información disciplinaria en un único modelo para su revisión y análisis. Esta organización jerárquica facilita el acceso rápido a los archivos, optimiza el intercambio de información

15 entre equipos y mejora la trazabilidad de modificaciones a lo largo del análisis del proyecto en estudio (13,16) (Figura 5).

1 Figura 5. Organización estructurada del entorno común de datos.
Fuente: Elaboración propia.

3.4. Modelo 3D

8 Se realizó el modelado 3D de las especialidades de estructura, arquitectura, instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas y telecomunicaciones, utilizando el software Revit 2023 con un nivel de detalle LOD 2 (13). En principio se realizó la importación de los planos en formato DWG previamente organizados, utilizándolos como referencia (16).

3.4.1. Modelo Estructural

50 El modelo tridimensional de la estructura comenzó con la definición de los elementos principales como zapatas, vigas de cimentación, columnas, vigas y losas, cada elemento fue representado con un elemento de detalle LOD 2 (Figura 6).

Figura 6. Modelo digital de la especialidad de estructuras.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Modelo Arquitectónico

El modelo tridimensional de la especialidad de arquitectura fue desarrollado con base en los planos del expediente técnico, incorporando elementos constructivos y funcionales con un Nivel de Detalle LOD 2. Este nivel permitió representar la volumetría y ubicación precisa de los elementos arquitectónicos sin entrar a un detalle constructivo complejo. Se modelaron componentes como: Muros, puertas, ventanas, pisos, cubiertas y cielo rasos (Figura 7).

9 Figura 7. Modelo digital de la especialidad de arquitectura.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Modelo de Instalaciones Sanitarias

1 El modelo tridimensional de la especialidad de instalaciones sanitarias comenzó con la definición de las tuberías, las uniones y los accesorios como el nombre y las dimensiones, para agua fría, agua caliente, desagüe y tuberías de ventilación. A partir de ese punto se comenzaron a trazar las redes exteriores y por cada bloque del centro de Salud, respetando las pendientes y las alturas de las excavaciones. Finalmente se colocó las cajas de registro, en los puntos indicados de los planos sanitarios (Figura 8).

1 Figura 8. Modelo digital de la especialidad de instalaciones sanitarias.
Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Modelo de Instalaciones Eléctricas

8 El modelado de la especialidad de instalaciones eléctricas se inició con la vinculación de los modelos de estructuras y arquitectura, lo que permitió asegurar una adecuada referencia espacial y facilitar la coordinación multidisciplinaria. Posteriormente, se procedió a la definición de los sistemas principales, comenzando con la ubicación de tuberías eléctricas, buzones y tableros de distribución (Figura 9).

Dado que las redes eléctricas, particularmente las redes alimentarias, tienen un alto potencial de generar interferencias e incompatibilidades con otras especialidades si no son correctamente previstas, se decidió enfocar el modelado exclusivamente en estas redes críticas (17). Esta decisión responde al hecho de que, en un proceso constructivo, cualquier error en el trazado de las redes de alimentación puede derivar en conflictos estructurales o funcionales de difícil corrección (Figura 9).

9 Figura 9. Modelo digital de la especialidad de instalaciones eléctricas.
Fuente: Elaboración propia

3.4.5. Modelo de Instalaciones de Telecomunicaciones

El Modelo 3D de la especialidad de instalaciones de telecomunicaciones se llevo a cabo considerando las tuberías para la red de internet, para comenzar se vinculo las especialidades de estructuras y arquitectura, para luego proceder con el colocado de las cajas de salida del puerto de internet y finalmente el trazado de tuberías, uniones y accesorios, para unirlos con dichas cajas (Figura 10).

9 Figura 10. Modelo digital de la especialidad de instalaciones de telecomunicaciones.
Fuente: Elaboración propia

3.4.6. Modelo de Instalaciones Mecánicas

8 El Modelo 3D de la especialidad de mecánicas comenzó con la vinculación de las especialidades de estructuras y arquitectura para tener una adecuada referencia de los ductos. Luego se procedió a trazar los ductos de ventilación, para los ambientes que indica en el expediente técnico (Figura 11).

Figura 11. Modelo digital de la especialidad de instalaciones mecánicas.
Fuente: Elaboración propia

3.4.7. Modelo Federado

Este modelo estructural fue luego federado con las otras especialidades para aplicar el uso BIM de detección de interferencias e incompatibilidades, tal como lo estipula el Plan BIM Perú. La utilización del LOD 2 permitió representar de forma simplificada pero precisa todos los elementos estructurales necesarios para el análisis espacial y de coordinación (Figura 12).

Figura 12. Modelo digital federado.
Fuente: Elaboración propia

3.5. Interferencias e incompatibilidades

Una vez realizado el modelo federado se procedieron a realizar las detecciones de las interferencias y las incompatibilidades este último se identificaron durante el proceso de modelado (4,17).

Figura 13. Interferencia de la especialidad de estructuras vs Inst. Sanitarias.

Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa que la canaleta pluvial que pertenece a la especialidad de las instalaciones sanitarias se encuentra interfiriendo con el muro de contención, la solución para esta interferencia es colocar la canaleta al muro de contención y que estén separados por una junta de dilatación (Figura 13).

Figura 14. Incompatibilidad de la especialidad de estructuras.

Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa que existe una incompatibilidad de alturas en el sobrecimiento reforzado, con una diferencia de 0.25m entre la vista del "corte 1-1" donde se indica una altura de 1.35m y la "elevación pórtico 2-2" donde se indica una altura de 1.10m (Figura 14).

3.6. Análisis de la Efectividad de la Metodología BIM

Con el objetivo de evaluar el impacto práctico del uso de la metodología BIM en el proyecto "Mejoramiento de los servicios de salud del Centro de Salud Ocobamba", se desarrolló un análisis específico orientado a medir su efectividad en la gestión de interferencias e incompatibilidades durante la fase de ejecución (3,8,15).

Para ello, se diseñaron formatos de evaluación en Microsoft Excel, que permitieron recopilar, organizar y analizar de forma cuantitativa los datos obtenidos durante el proceso de modelado y coordinación interdisciplinaria (13). El análisis se centró en tres indicadores claves: eficacia, eficiencia y efectividad, alineados con los principios establecidos por el PMBOK (Séptima edición) y con el marco metodológico del presente estudio (21).

En primer lugar, se calculó la eficacia del proceso mediante el conteo total de interferencias e incompatibilidades detectadas a través del modelo federado (estructuras, arquitectura, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas, instalaciones de telecomunicaciones, instalaciones mecánicas), y la comparación con la cantidad que fue efectivamente resuelta mediante ajustes técnicos y rediseños (5,6,17) (Tabla 2 y 3).

En segundo lugar, se evaluó la eficiencia a partir de dos variables fundamentales:

El costo real que se tuvo que solicitar para el financiamiento del proyecto desde un principio y no solicitar adicionales de obra y por consecuencia ampliaciones de plazo (Tabla 4).

Ambos factores como el costo y el plazo en días fueron comparados con los valores planificados inicialmente para estimar el grado de optimización de recursos técnicos y humanos.

A continuación, se muestra el formato del Excel:

Figura 15. Formato Excel para la cuantificación de interferencias e incompatibilidades.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se calculó la efectividad general de la metodología como una combinación entre eficacia y eficiencia, siguiendo la fórmula definida en el marco teórico. Este indicador sirvió para valorar si la aplicación de BIM (Tabla 5).

4. RESULTADOS

El presente apartado expone los principales hallazgos obtenidos a partir del análisis de la efectividad de la metodología BIM aplicada en el proyecto "Mejoramiento de los servicios de salud del Centro de Salud Ocobamba, distrito de Ocobamba, provincia de Chincheros, departamento de Apurímac". Los resultados se derivan del procesamiento de la información recopilada mediante los modelos tridimensionales federados y los formatos de control elaborados en Excel, en los que se registraron las interferencias e incompatibilidades técnicas identificadas, así como los recursos empleados para su resolución.

La presentación de los resultados se organiza en tres apartados: que son la eficacia, eficiencia y efectividad.

Eficacia (Interferencias)

Tabla 2. Eficacia de las Interferencias

Especialidades Interferidas

Interferencias Detectadas

Interferencias Resueltas

% de Resolución

Estructuras vs Arquitectura

16

16

100%

Estructura vs Inst. Sanitarias

22

22

100%

Estructuras vs Inst. Eléctricas

4
 4
 100%
 Estructuras vs Inst. de Telecomunicaciones
 16
 16
 100%
 Estructuras vs Inst. Mecánicas
 22
 22
 100%
 Total General
 80
 80
 100%

Eficacia (Incompatibilidades)

Tabla 3. Eficacia de las Incompatibilidades
 Especialidades Incompatibles
 Incompatibilidades Detectadas
 Incompatibilidades Resueltas
 % de Resolución
 Estructuras vs Arquitectura
 4
 4
 100%
 Estructura vs Inst. Sanitarias
 3
 3
 100%
 Estructuras vs Inst. Eléctricas
 1
 1
 100%
 Estructuras vs Inst. de Telecomunicaciones
 2
 2
 100%
 Estructuras vs Inst. Mecánicas
 1
 1
 100%
 Total General
 11
 11
 100%

La eficacia fue medida a partir del número de interferencias e incompatibilidades detectadas durante el proceso de coordinación interdisciplinaria en el modelo BIM, en comparación con el número de conflictos que fueron resueltos de forma efectiva antes de la ejecución del proyecto.

29
43 Durante la fase de coordinación, se detectaron un total de 80 interferencias, distribuidas entre las principales especialidades de: Estructuras, Arquitectura, Instalaciones Sanitarias, Eléctricas, Telecomunicaciones y Mecánicas. Y 11 incompatibilidades de las mismas especialidades. Estas interferencias e incompatibilidades fueron agrupadas por pares de especialidades en conflicto, como se muestra en las tablas 2 y 3.

En total, se resolvieron 80 interferencias y 11 incompatibilidades, de las cuales todas fueron resueltas, lo que representa un porcentaje general de resolución del 100.00%.

1 Este resultado refleja un alto nivel de eficacia en la aplicación de la metodología BIM, ya que permitió anticipar y resolver todos los conflictos físicos y técnicos antes de que estos llegaran a su ejecución en obra.

Estas cifras son consistentes con los objetivos del estudio, y confirman que el uso de modelos tridimensionales federados y la revisión sistemática mediante herramientas como Navisworks Manage 2023 y formatos de control en Excel constituyen una estrategia eficaz para la prevención de errores constructivos.

El valor numérico de la eficacia se calculará en función del ratio:

Eficacia = Interferencias + incompatibilidades resueltas / Interferencias + incompatibilidades detectadas

Eficacia = 91 / 91 ≈ 1.00

Este valor será utilizado más adelante en el cálculo de la efectividad global de la metodología.

A partir del análisis de partidas afectadas por interferencias e incompatibilidades detectadas durante el modelado BIM, se procedió a comparar el costo y tiempo real, según el expediente técnico aprobado, con los valores proyectados luego de realizar los ajustes necesarios para resolver las interferencias e incompatibilidades encontrados. Esta comparación permitió calcular el indicador de eficiencia como el cociente entre el valor del Expediente Técnico y el valor corregido, expresado en términos proporcionales.

6 En la siguiente tabla se muestran los resultados generales del análisis: Tabla 4. Eficiencia de la metodología BIM

Variable Evaluada
Valor del Exp. Técnico
Valor Corregido
Eficiencia (Original / Real)
Costo Total (C.D) (S/.)
20,324,965.57
20,759,893.54
0.979
Tiempo (Días)

540
570
0.947

A partir de los valores del expediente técnico y los corregidos, se obtuvo una eficiencia de costos del 97.9% y una eficiencia de tiempo del 94.7%, lo que significa que no resolver los conflictos generan un incremento del 2.10% en costos y un 5.30% en tiempo que se pudo identificar en la etapa de diseño y no solicitar adicionales y ampliaciones de plazo en la etapa de ejecución del proyecto. Esto evidencia el valor preventivo de la metodología BIM.

El valor numérico de la eficiencia se calculará en función del ratio:

Eficiencia (costos) = costos planificados / costos utilizados

Eficiencia (días) = días planificadas / días utilizadas

Eficiencia total = Eficiencia (costos) + Eficiencia (días) / 2

Eficiencia = 0.979+0.947 / 2 ≈ 0.963

Este valor será utilizado más adelante en el cálculo de la efectividad global de la metodología.

Para obtener un indicador más integral que considere tanto el grado de resolución de los conflictos técnicos (eficacia) como el aprovechamiento de los recursos en términos de tiempo y costos (eficiencia), se procedió al cálculo de la efectividad general de la metodología aplicada.

Tabla 5. Calculo de la Efectividad de la Metodología BIM

Indicador

Valor Calculado

Eficacia

1.00

Eficiencia

0.963

Efectividad

0.963

El valor de efectividad del 0.963 indica que, si bien se logró resolver todos los conflictos técnicos (alta eficacia), la eficiencia en recursos fue moderada, lo que redujo el impacto global de la metodología. Este resultado refleja la necesidad de implementar la metodología BIM en una etapa temprana como es la elaboración del expediente técnico.

No obstante, un nivel de efectividad del 90% al 99% se considera media según la metodología aplicada para proyectos de infraestructura pública, especialmente cuando se trabaja con modelos que aún están en fase de implementación parcial, como es el caso del Centro de Salud de Ocobamba.

5. CONCLUSIONES

La metodología BIM demostró ser eficaz para la detección y resolución anticipada de interferencias e incompatibilidades técnicas, alcanzando una eficacia del 100.00%. Esto valida su capacidad para mejorar la calidad del diseño y reducir riesgos constructivos, especialmente en proyectos de infraestructura pública como el presente caso de estudio.

El uso de modelos federados permitió identificar conflictos entre especialidades que habrían sido difíciles de detectar con metodologías tradicionales basadas en planos 2D, lo que evidencia la ventaja del entorno tridimensional colaborativo como herramienta de prevención.

Aunque se logró una alta eficacia, la eficiencia obtenida fue media. Los conflictos detectados, si hubieran sido abordados oportunamente, no se habrían generado un incremento del 2.10% en costos y un 5.30% en tiempos, que se refleja en un adicional de obra y una ampliación de plazo en la ejecución de del proyecto.

La efectividad global de la metodología BIM en este proyecto fue del 0.963, lo cual refleja una implementación media, pero con áreas de oportunidad en cuanto a tiempos de respuesta, toma de decisiones y madurez de los procesos de coordinación.

Las incompatibilidades funcionales, también fueron abordadas como parte del análisis, aunque no generaban interferencias físicas. Su inclusión enriqueció el alcance del estudio y reafirma que BIM no solo resuelve colisiones, sino también inconsistencias técnicas.

El desarrollo de formatos de análisis en Excel y el uso de indicadores cuantificables (eficacia, eficiencia, efectividad) fueron fundamentales para dar solidez al análisis y demostrar numéricamente el valor de BIM en términos técnicos y económicos.

Los resultados obtenidos respaldan la adopción progresiva del Plan BIM Perú, al demostrar que incluso una implementación parcial de la metodología genera beneficios tangibles en control de calidad, ahorro de recursos y prevención de errores costosos.

El caso del Centro de Salud de Ocobamba puede considerarse una experiencia piloto exitosa de aplicación de BIM en el sector salud, cuyas lecciones aprendidas pueden ser replicadas en otros proyectos públicos similares.

Se recomienda reforzar la capacitación de los equipos técnicos en el uso de entornos BIM, así como institucionalizar procesos de revisión interdisciplinaria digital, para alcanzar niveles más altos de efectividad en fases futuras.