

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL Y MULTINIVEL EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS COLABORATIVAS DE MODELAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN (BIM) EN PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA.

Iván Luis Infanzón Gutiérrez

Resumen

Propósito: Diseñar un modelo de toma de decisiones multicriterio basado en el Proceso Analítico en Red (ANP) que, a partir del análisis multidimensional y multinivel de los factores críticos de éxito en la implementación del modelamiento de información para la construcción (BIM) en una entidad pública, se pueda generar un índice de implementación de BIM y priorizar los factores o grupo de factores que mayor incidencia tienen sobre la implementación.

Metodología: El modelo propuesto se basa en la revisión bibliográfica y selección de expertos en BIM, luego se identifican y seleccionan los factores críticos de éxito en la implementación de BIM en seis grupos (Beneficios de la adopción BIM, Gestión de la Información BIM, Usos BIM, Roles BIM, Adopción de BIM y Ciclo de Inversión Pública), llegando a un establecimiento consensuado de una lista final de criterios que permitan medir un determinado factor. Con esta información, se modela el problema de decisión, definiendo los criterios, los clústeres y las relaciones que existirán entre todos los elementos, para permitir la aplicación de la ANP para determinar un índice de implementación de BIM y un ranking de factores críticos de éxito en la implementación, de tal manera que nos proporcione información relevante para tomar mejores decisiones que permitan mejorar nuestro performance en el índice de implementación de BIM futuro.

Originalidad y valor: – A través del modelo propuesto, se conocen las evaluaciones de los criterios que influyen en el índice de implementación de BIM, lo que permite proponer a los tomadores de decisiones implementar acciones estratégicas para la mejora continua de la implementación BIM en la entidad pública.

Palabras clave: ANP, BIM, proyectos públicos, Implementación BIM, gestión de proyectos con BIM.

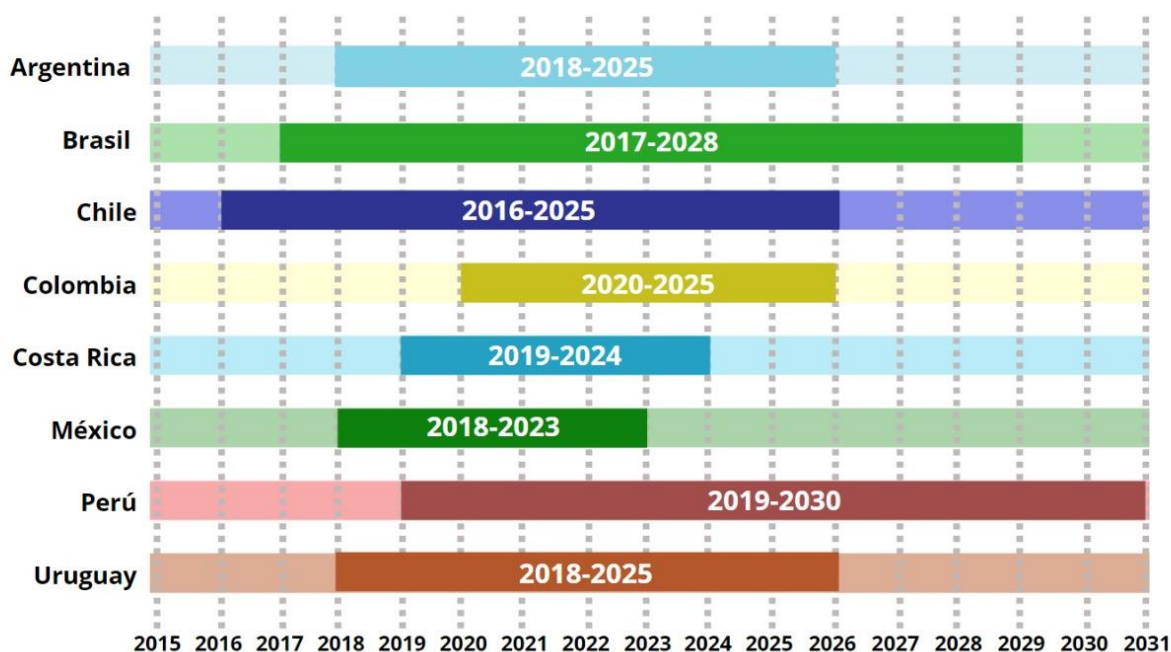
1. El contexto de implementación del BIM

El modelamiento de información para la construcción (BIM) inició su desarrollo de manera teórica en la década de los años 1970 en el Instituto de Tecnología de Georgia, siendo el primer trabajo publicado es del profesor Chuc Eastman en el año 1975. La firma Graphisoft, fundada en 1982, desarrolló Archicad, un software para dar solución al modelado en tres dimensiones de los proyectos, presentando el concepto de Edificio Virtual. En el año 2000 aparece el software llamado Revit, como un programa paramétrico para objetos mecánicos, que posteriormente fue migrando a resolver las inquietudes de la arquitectura. No es hasta el año 2002 que Revit es adquirido por Autodesk, para convertirse en el software más utilizado en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC), con solución para todas las especialidades y se orientó como la mejor solución para el BIM. En la actualidad se tiene en el mercado una gran variedad de softwares y aplicaciones que resuelven los desafíos que viene teniendo la industria AEC,

tecnología acogida principalmente por las empresas privadas para mejorar su rentabilidad en la gestión de los proyectos.

En la perspectiva del sector público, el uso del BIM demora unos años más. En los años 2002 y 2003, la GSA (Administración de Servicios Generales), el PBS (Servicio de Edificios Públicos) y la OCA (Oficina Principal de Arquitectura), establecen el primer Programa Nacional 3D-4D-BIM de los Estados Unidos, generando las primeras Guías BIM. Por los años 2007 a 2008, la GSA requiere el uso obligatorio del programa espacial en BIM para todos los proyectos prioritarios e importantes. Paralelamente en Finlandia y Noruega hacen lo mismo en implementar guías para la adopción del uso de BIM en sus proyectos públicos. Por los años 2011 en Reino Unido, se aprueba el Plan Nacional para el uso del BIM en todos los proyectos públicos (Gámez, et al, 2014), con ello se establecen las fases e hitos de introducción y el trazando objetivos a corto y mediano plazo, consiguiendo para el año 2016 el uso obligatorio para la implantación del BIM en los proyectos con fondos públicos. En Singapur inicia a la par con el Reino Unido el Plan de Implementación BIM en sus proyectos públicos. Asimismo, España para el año 2018 decreta el uso obligatorio de BIM para las Licitaciones Públicas de proyecto de edificación.

Estos esfuerzos realizados hacen que los gobiernos reconozcan la importancia de introducir en el sector público el camino a la digitalización para el sector de la construcción. Tal es así que en menos de ocho años tengamos un avance de la implementación del uso de BIM en Europa, América Latina y Asia. Esto ha generado la formación de redes de trabajo en Europa (EU BIM Task Group), Latinoamérica (Red BIM Gob LATAM) y Asia (Government Symposium). Estas redes están apoyando a los diferentes gobiernos a acelerar el proceso de implementación de BIM para proyectos públicos y generar políticas públicas que nos permitan ser sostenibles y uso obligatorio en todas las entidades públicas de los diferentes estados miembros. Para unir estas redes de trabajo y orientar la implementación del BIM en el sector público, se tiene conformada una Red Global BIM, que conecta a los representantes del sector público y organizaciones multilaterales con el fin de acelerar la implementación de la innovación digital y de poder compartir entre sus miembros los beneficios socioeconómicos para los ciudadanos y los países, desarrollando estándares internacionales para la implementación del BIM, como una de las herramientas más poderosas de innovación digital, pues combina estándares técnicos, tecnología, datos, trabajo colaborativo y habilidades digitales (Global BIM Network, 2022). Se tiene un estándar internacional básico a considerar y este es la norma ISO 19650, como una norma internacional que establece los estándares de la gestión de la información y otros parámetros a lo largo de todo el ciclo de vida de un determinado proyecto o activo con el uso de BIM.



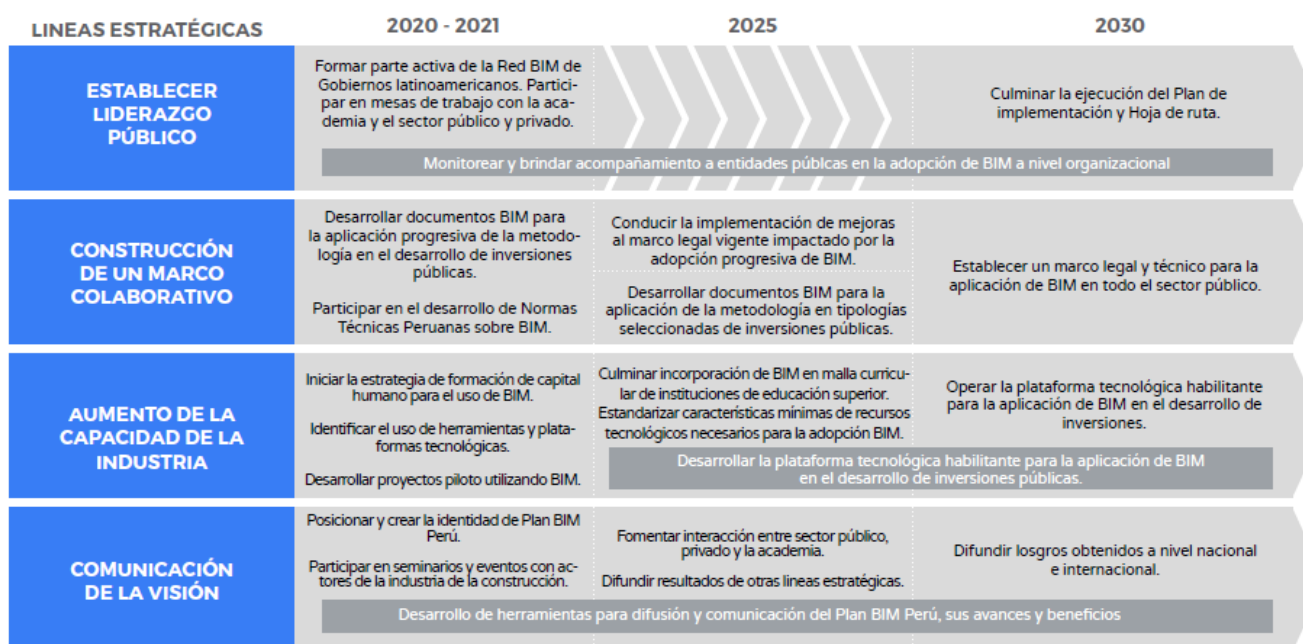
Grafica 1.1: Fechas de la Estrategia nacional BIM por país (RBGL, 2022)

Como mencionamos en el párrafo anterior, en Latinoamérica también contamos con la Red BIM GOB LATAM, conformada por 8 países: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, México, Perú y Uruguay. Instalada en el año 2018, con el objeto de incrementar la transformación digital, que permita acelerar las políticas públicas emitidas para la implementación de BIM, con esfuerzos conjuntos para elaborar lineamientos de aplicación en los países miembros, para un fácil intercambio comercial, incrementar la productividad de la industria de la construcción y favorezca el conocimiento en la región (RBGL, 2022). La red está siendo financiada por el BID (Banco Interamericano de Desarrollo) y cofinanciada por cada gobierno miembro. Los avances de cada uno de los países miembros se pueden destacar en el marco del sexto Encuentro Semestral de RBGL, realizado el día 25 de noviembre del año 2021. En la red se viene promoviendo que los estándares BIM que cada país miembro implemente, este alineado a las normas internacionales como es la ISO 19650. Al 2021 los países miembros ya tenían aprobadas o en proceso (Argentina y México) la aprobación de las normas ISO 19650 en cada uno de sus países, tanto en la ISO 19650-1 y ISO 19650-2, como las normas básicas para los conceptos, principios y la fase de producción de los activos. Asimismo, la RED GOB LATAM viene impulsando la aprobación de otras normas internacionales de implementación y gestión en BIM, con el fin de estar alineado normativamente, tender al uso de diferentes softwares (OpenBIM), alineamiento del lenguaje BIM y difundir las estrategias adoptadas por cada país para poder guiar de manera adecuada a los privados y entidades públicas de la industria de la construcción.

Adopción normas ISO	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica	México	Perú	Uruguay
19650-1	✓	✓	✓	✓	✓	En proceso	✓	✓
19650-2	En proceso	✓	✓	✓	✓	En proceso	✓	✓
19650-3	Planificado 2022		✓				En proceso	
19650-4			Participando en la creación					
19650-5			✓	En proceso			En proceso	En proceso
16739			En proceso	✓			En proceso	
12911			Participando en la actualización				✓	
29481			✓		✓		✓	
16757		✓			✓		En proceso	
12006		✓	✓	En proceso			En proceso	En proceso
22263							En proceso	
16354		✓	✓				En proceso	
15686			✓					

Grafica 1.2: Normas y estándares BIM por país (RBGL, 2022)

En el Perú, la entidad rectora del proceso de implementación del BIM es el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) a través de su órgano de línea que es la Dirección Nacional de Programación Multianual de Inversiones (DGPMI), como responsables de emitir las normas BIM necesarias para las inversiones públicas que son de aplicación nacional. Si bien el BIM estaba siendo usado por diversas empresas constructoras privadas, en el año 2018 se intenta algunas acciones para la implementación BIM en obras públicas, como la incorporación en el Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado, con la posibilidad de contratar obras en el entorno BIM. En el año 2019 se promulga el “Plan Nacional de Competitividad y Productividad, que promueve el Plan BIM Perú” (MEF, 2022). Este mismo año se promulga el “Decreto Supremo N° 289-2019-MEF, que establece disposiciones para la incorporación progresiva de BIM en la inversión pública” (MEF, 2022). En el año 2020 se promulga el “Decreto Legislativo N° 1486, que establece disposiciones para mejorar y optimizar la ejecución de las inversiones públicas” (MEF, 2022). En el año 2021, se publica el “Decreto Supremo N° 108-2021-EF, que establece la actualización e inclusión de conceptos de BIM y el Plan BIM Perú alineado con estándares internacionales” (MEF, 2022). El Plan BIM Perú “define la estrategia nacional para la implementación progresiva de la adopción de BIM, que tienen que ver con los procesos de las fases del ciclo de inversión pública desarrollados por cada una de las entidades o empresas públicas, que garantice un proceso articulado y concertado con el sector privado y la academia” (MEF, 2022). Actualmente el Banco Interamericano de Desarrollo viene financiando la contratación del equipo técnico del Plan BIM Perú y la asistencia técnica internacional del Gobierno del Reino Unido (MEF, 2022).



Grafica 1.3: Hoja de Ruta del Plan BIM Perú (MEF, 2021b)

Una parte importante de la inversión pública es la industria AEC, en el Perú se destina un poco más del 5% del Producto Bruto Interno en inversión pública, por ello, los gobiernos deben reconocer que es prioritario en la agenda pública las mejoras en la gestión de los proyectos públicos, tomando un rol de liderazgo que permita acelerar los procesos de la implementación del BIM para la industria AEC, de manera conjunta con las empresas, la academia y las agencias públicas, con el objetivo de brindar mejores y oportunos servicios al ciudadano. El presente artículo tiene como objetivo diseñar un modelo de toma de decisiones multicriterio basado en el ANP que, a partir del análisis multidimensional y multinivel de los factores críticos de éxito en la implementación del BIM en una agencia pública, se pueda generar un índice de implementación de BIM y priorizar los factores o grupo de factores que mayor incidencia tienen sobre la implementación. El artículo presenta cuatro capítulos, el primero es que venimos desarrollando, el contexto del BIM en Europa y Estados Unidos, Latinoamérica y en el Perú. En el segundo capítulo desarrollamos los conceptos de BIM, el BIM como innovación sistemática, los riesgos de la implementación BIM, de tal manera que podamos definir los grupos y sus factores o criterios a medir. En el tercer capítulo se presenta la técnica ANP como parte de las técnicas de toma de decisiones multicriterio (MCDM). El cuarto capítulo expondremos la propuesta metodológica y el diseño del modelo metodológico para calcular el índice de implementación de BIM y priorizar los factores o grupo de factores que mayor incidencia tienen sobre la implementación. El presente artículo se encuentra en construcción, por ello se presentará lo desarrollado hasta el diseño del modelo metodológico.

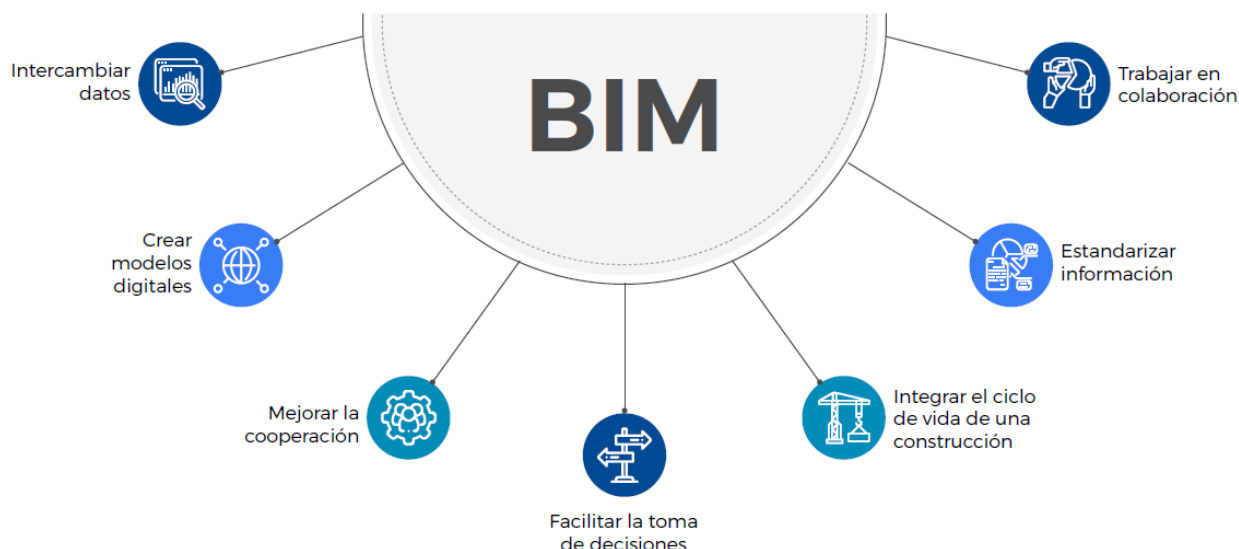
2. El BIM y la gestión de proyectos públicos.

El capítulo dos contiene los diferentes conceptos de BIM, una revisión de la normativa de inversión pública, normativa relacionada a la adopción de BIM para las inversiones, los riesgos para implementar BIM y el enfoque sistémico de la adopción de BIM.

2.1 Concepto de BIM

El concepto de BIM esta adoptado por cada país de manera propia, poco a poco cada uno de ellos han ido migrando su definición alineados a las normas internacionales como la ISO 19650. De acuerdo con la “NTP-ISO 19650 – 1:2021, BIM es el uso de una representación digital compartida de un activo construido, para facilitar los procesos de diseño, construcción y operación, con la finalidad de contar con una base confiable para la toma de decisiones” (MEF, 2021b). El Plan BIM Chile “define BIM como el conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en un espacio virtual” (Corporación de Fomento de la Producción, 2021). En el caso de Colombia, se “define BIM como un proceso de trabajo colaborativo a través del cual se crea, comparte y usa información estandarizada en un entorno digital durante todo el ciclo de vida de un proyecto constructivo” (Grupo de Trabajo BIM, 2021). En las normas de Argentina se “define BIM como una metodología de trabajo para la industria de la construcción que, a través de un modelo digital, centraliza e integra la información de un proyecto de manera ordenada y estandarizada” (Sistema de Implementación BIM, 2022). Las tres definiciones resaltan la importancia del trabajo colaborativo, la gestión de información estandarizada a lo largo del ciclo de vida del proyecto, compartir información con todos los actores del proyecto de manera estructurada e interdisciplinaria, dejando de lado el trabajo aislado o individual y que se desarrolle bajo una metodología colaborativa.

En el caso de Perú, se “define BIM como una metodología de trabajo colaborativo para la gestión de la información de una inversión pública, que hace uso de un modelo de información (Entorno de Datos Comunes -CDE), creado por las partes involucradas, para facilitar la programación multianual, la formulación y evaluación, el diseño, la construcción y la operación y mantenimiento de la infraestructura pública, asegurando una base confiable de información para la toma de decisiones” (MEF, 2021a). Igual que las definiciones anteriores hace mención de la importancia del trabajo colaborativo y la gestión de la información de un proyecto de inversión publica hace uso de un entorno de datos común para todos los actores del proyecto. Destaca las fases del ciclo de proyectos de manera explícita, es decir desde la formulación y evaluación de proyectos de inversión pública, pasando por el diseño, construcción y concluyendo en la operación y mantenimiento de la infraestructura pública. Otro aspecto a destacar es la base de datos confiable para todos los actores que intervienen en el proyecto a lo largo del ciclo de vida, para lo cual se debe tener en cuenta la tecnología que debe soportar este entorno común de datos, que debe estar preparado a permitir el uso de cualquier software en las distintas especialidades y en las distintas fases del ciclo de proyectos. Para la presente investigación se tomará como base la definición de BIM contenida en el Plan BIM Perú.



Grafica 2.1: ¿Qué es BIM? (MEF, 2021a)

2.2 La inversión pública y las Normas BIM

En esta sección realizaremos una revisión de la normativa de inversión pública y la relacionada a la adopción de BIM para las inversiones.

Ciclo de Inversión Pública

En el Perú las normas para las inversiones públicas son emitidas por el Ministerio de Economía y Finanzas a través de su Dirección General de Inversión Pública, que cuenta un sistema administrativo que es el Invierte.Pe, con el objetivo de cubrir las brechas en el acceso a los servicios públicos y de la infraestructura, con un enfoque territorial. La inversión a ejecutar debe estar alineada a los objetivos de los planes estratégicos nacionales, regionales y locales, adoptando mecanismos o metodologías que promuevan una mayor calidad y transparencia a lo largo del ciclo de inversión. “El Ciclo de Inversión del Invierte.Pe es el proceso mediante el cual un proyecto de inversión es concebido, diseñado, evaluado, ejecutado y genera sus beneficios para la efectiva prestación de servicios y la provisión de la infraestructura necesaria para el desarrollo del país” (MEF, 2022). El Invierte.Pe comprende cuatro fases:

- ✓ Programación Multianual de Inversiones (PMI): Elaboración y selección de una cartera de inversiones que vinculen el planeamiento estratégico y el proceso presupuestario (MEF, 2022).
- ✓ Formulación y Evaluación (FyE): Comprende la formulación del proyecto y su evaluación con respecto a las alternativas y solución técnica, al análisis de su rentabilidad social y a la sostenibilidad de la inversión (MEF, 2022).
- ✓ Ejecución: Comprende la elaboración del expediente técnico y la ejecución física de las inversiones (MEF, 2022).
- ✓ Funcionamiento: Comprende la operación y mantenimiento de la infraestructura generada con la ejecución de la inversión (MEF, 2022).



Grafica 2.2: Ciclo de Inversión Pública (MEF, 2022)

El Estado peruano se estructura en tres niveles y desde la perspectiva de ejecución de inversiones, cada nivel está conformado por:

- ✓ El nivel nacional: con competencias de alcance nacional, donde están comprendidos los ministerios, las empresas y organismos adscritos a los ministerios que ejecutan inversiones.
- ✓ El nivel regional: de ámbito departamental a cargo de los gobiernos regionales, incluye a sus organismo y empresas adscritas que ejecutan inversiones.
- ✓ El nivel local: cuyo ámbito provincial y distrital a cargo de las municipalidades provinciales y distritales, así como de sus empresas y organismos adscritos que ejecutan inversiones.

Beneficios de la adopción BIM

Teniendo en cuenta que la utilización de BIM tiene como principal objetivo que la gestión de información sea eficiente y segura, que este apoyada en el uso de herramientas tecnológicas, para cumplir con ciertos requisitos de estándares de información necesaria y oportuna, que nos permita tomar mejores decisiones en las cuatro fases del ciclo de inversión, generando beneficios en la forma en que se planifica, se ejecuta y se opera y mantiene una inversión. En tal sentido se definen los siguientes beneficios de la adopción de BIM, de acuerdo a la Guía Nacional BIM (MEF, 2021b):

- ✓ Transformación Digital: Dejar de usar documentos en físico y que el intercambio de información se desarrolle en tiempo real.
- ✓ Diseño para Fabricación y Ensamblaje: Permitir analizar todos los elementos que constituyen la inversión en todas sus partes.
- ✓ Supervisión de Avance de Obra: Comparación y simulación de avance de obra con respecto al tiempo de ejecución en el modelo.
- ✓ Rendimiento de los Activos: Contar con información incorporada que permita optimizar el uso de materiales.

- ✓ Impacto en el Medio Ambiente: Al tener mayor planificación antes de la ejecución de la obra permite tener menos residuos de construcción, así como simular de los rendimientos y consumos de energía.
- ✓ Transparencia: Al tener mayor información centralizada la toma de decisiones es más rápida y transparente durante todo el ciclo de inversión.
- ✓ Integración: Tener centralizada e integrada la información gráfica y no gráfica con diversos conjuntos de datos.
- ✓ Calidad: Al tener mayor información podemos tener un mejor control de estándares de calidad, el cumplimiento de normas y poder identificar las interferencias de las diversas especialidades.
- ✓ Eficiencia: Mayor integración e información permitirá reducir costos y plazos para generar ahorros en los fondos públicos.
- ✓ Mejor Comunicación con la Ciudadanía: Al tener decisiones transparentes estas puedan ser comunicadas a las partes interesadas, asimismo, la información gráfica pueda ser más fácil de comunicar desde el diseño.

Gestión de la Información BIM

Siendo la gestión de la información un proceso principal de la utilización de BIM en los proyectos, pues integra tanto la información del contenido geométrico o gráfica, como la información alfanumérica o no grafica. “Este proceso se inicia cada vez que se realiza una nueva designación en las diferentes fases de la inversión pública, es decir en la fase de Formulación y Evaluación, fase de Ejecución o fase de Funcionamiento, para ello se tienen diferentes niveles de Requisitos de Información” (MEF, 2021b). Para poder definir “qué información se necesita, cuando se entrega, quien la proporciona de acuerdo a sus capacidades, como se debe crear, administrar y utilizar, el proceso de gestión de la información señala ocho actividades” (MEF, 2021b):

- 1) Evaluación de necesidades
- 2) Petición de ofertas
- 3) Presentación de ofertas
- 4) Contratación
- 5) Movilización
- 6) Producción colaborativa de la información
- 7) Entrega del modelo de la información
- 8) Fin de la fase de ejecución

Nivel de Información Necesaria (LOIN)

En cada proceso de intercambio de información se requiere un LOIN (Level of Information Need) que nos permita satisfacer los objetivos que la inversión está requiriendo como información. El LOIN está definida por dos variables (MEF, 2021b):

- ✓ Nivel de Detalle (LOD): es el nivel de información gráfica necesaria para cumplir los objetivos y requerimientos de la inversión.
- ✓ Nivel de Información (LOI): es el nivel de información no gráfica necesaria para cumplir los objetivos y requerimiento de la inversión.

Tanto el LOD y LOI, tienen una importancia para definir el LOIN.

Documentos para la Gestión de la Información BIM

La gestión de la información BIM también requiere el cumplimiento de diferentes documentos, que tienen requisitos de información establecidos, los requisitos para los entregables de información de los modelos a presentar, así como los documentos de respuesta a las licitaciones para que permitan cumplir con la información requerida y los documentos de respuesta a la contratación para el desarrollo de la inversión. Estos documentos deben estar alineados en todo el ciclo de inversión, a las normativas que rigen las contrataciones del Estado y la normativa de aplicación del BIM, clasificándose de la siguiente manera (MEF, 2021b):

Requisitos de Información

- ✓ Requisitos de Información Organizacional (OIR)
- ✓ Requisitos de Información de los Activos (AIR)
- ✓ Requisitos de información del Proyecto (PIR)
- ✓ Requisitos de Intercambio de Información (EIR)

Entregables de Información: Modelos de Información

- ✓ Modelo de Información del Proyecto (PIM)
- ✓ Modelo de Información de los Activos (AIM)

Documentos de Respuesta a la Licitación en la Gestión de la Información BIM

- ✓ Plan de Ejecución BIM (BEP)
- ✓ Evaluación de Competencias y Capacidades (CCA)

Documentos de Respuesta a la Contratación en la Gestión de la Información BIM

- ✓ Actualización del Plan de Ejecución BIM (BEP)
- ✓ Programa General de Desarrollo de la Información (MIDP)
- ✓ Programa de Desarrollo de Información de una Tarea (TIDP)

Entorno de Datos Comunes (CDE)

El equipo de proyecto de las inversiones que se desarrollan aplicando BIM utiliza una sola fuente de información y esta es el “CDE (Common Data Environment) de tal manera que les permita recopilar, gestionar y difundir los datos que se generan por cada agente involucrado en la inversión, así como de estar disponible para quien lo requiera” (MEF, 2021b). “El CDE tiene un rol fundamental en el trabajo colaborativo y la gestión de información, se basa en una combinación de dos enfoques” (MEF, 2021b):

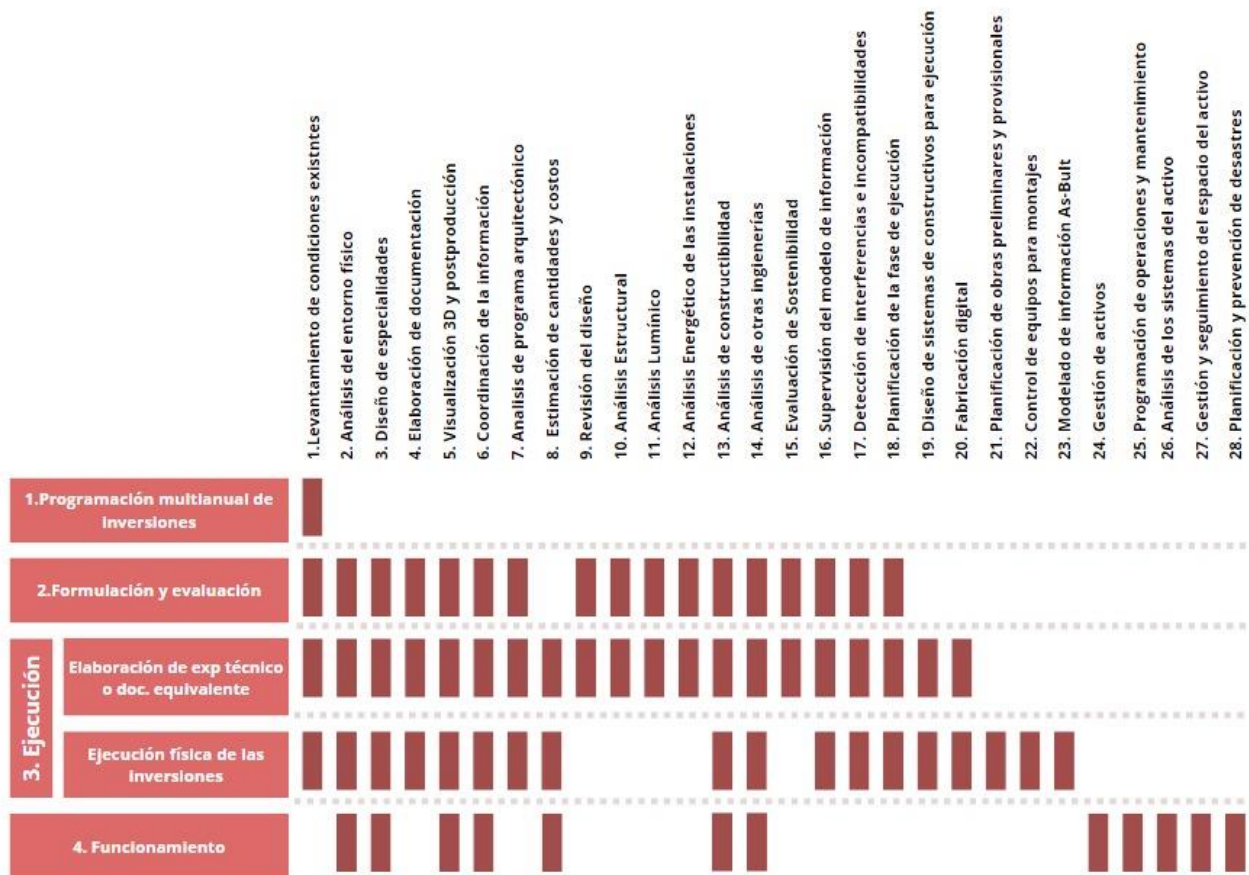
- ✓ Flujo de trabajo: describe los procesos para poder recopilar, administrar y difundir la información de la inversión, que puede ser estructurada o no estructurada.
- ✓ Tecnología: Son las soluciones tecnológicas a utilizar para apoyar y responder a los flujos de trabajo definidos. Un flujo de trabajo puede utilizar diferentes y/o múltiples tecnologías.

Usos BIM

“Los Usos BIM son métodos de aplicación de BIM que se definen a través de procesos que se pueden ubicar, orientar y relacionar con cada fase del ciclo de inversión para alcanzar uno o más objetivos específicos” (MEF, 2021b). Estos usos nos permiten explicar de qué manera los actores del proyecto están utilizando el BIM en una determinada inversión. Toda inversión que aplica BIM debe determinar los Usos BIM que va emplear y estos están relacionados con los objetivos de la inversión y sus requisitos de información.

El Plan BIM Chile considera 25 Usos BIM, en el caso del Plan BIM Perú se consideran veintiocho Usos BIM (MEF, 2021b):

1. Levantamiento de condiciones existentes
2. Análisis del entorno físico
3. Diseño de especialidades
4. Elaboración de documentación
5. Visualización 3D
6. Coordinación de la información
7. Análisis del programa arquitectónico
8. Estimación de cantidades y costos
9. Revisión del diseño
10. Análisis estructural
11. Análisis lumínico
12. Análisis energético de las instalaciones
13. Análisis de constructibilidad
14. Análisis de otras ingenierías
15. Evaluación de sostenibilidad
16. Supervisión del Modelo de Información
17. Detección de interferencias e incompatibilidades
18. Planificación de la fase de ejecución
19. Diseño de sistemas constructivos para la ejecución
20. Fabricación digital
21. Planificación de obras preliminares y provisionales
22. Control de equipos para montajes
23. Modelo de Información As-built
24. Gestión de activos
25. Programación de operación y mantenimiento
26. Análisis de los sistemas del activo
27. Gestión y seguimiento del espacio del activo
28. Planificación y prevención de desastres



Grafica 2.3: Usos BIM y el ciclo de inversión pública (MEF, 2021b)

Roles BIM

Los Roles BIM son las funciones que desempeñan los actores de la inversión, para permitir el proceso de gestión de la información BIM. No se trata de un nuevo puesto de trabajo o una determinada posición dentro del aparato público, se trata de que se asuma nuevas responsabilidades donde el personal deba estar debidamente capacitado para gestionar la inversión en BIM. Se cuenta con cinco roles (MEF, 2021b):

- ✓ Líder BIM: tiene como rol principal a nivel organizacional de elaborar y liderar la estrategia de adopción BIM.
- ✓ Gestor BIM: tiene como rol principal definir y cumplir los caminos que nos lleven a cumplir la estrategia establecida por el Líder BIM, asimismo deberá gestionar la información.
- ✓ Coordinador BIM: Es el responsable de coordinar el desarrollo de la información del proyecto.
- ✓ Modelador BIM: Responsable de producir el modelo de información de una especialidad de acuerdo a los requerimientos de información.
- ✓ Supervisor BIM: Responsable de revisar y verificar que la información y contenido de los modelos estén cumpliéndose de acuerdo a las normas y requerimientos establecidos en los documentos de información y en el Plan de Ejecución BIM.

Adopción de BIM

La adopción de BIM, de acuerdo a la Guía Nacional BIM, esta dividida en tres niveles importantes, los que no dependen de la envergadura o el monto de la inversión (MEF, 2021b):

- ✓ La adopción de BIM a Nivel Nacional: liderada por el Ministerio de Economía y Finanzas a través de la Dirección General de Programación Multianual de Inversiones, como ente rector de emitir las disposiciones del Marco Colaborativo Nacional BIM, de las normas sobre BIM y las inversiones.
- ✓ La adopción de BIM a Nivel Organizacional: corresponde a cada entidad o empresa publica que deba adecuar su organización para la implementación y adopción de ejecutar sus inversiones con BIM. Debe tener un enfoque estratégico y cumplir las normas y estándares.
- ✓ La adopción de BIM a Nivel de Proyecto: deben estar alineados con los objetivos organizacionales, de manera progresiva, gestionando recursos, conocimientos y aplicación de los estándares nacionales.

2.3 Riesgos de la implementación de BIM en proyectos públicos

Todo proyecto o actividad está sujeta a eventos que no fueron previsto o se presentan de manera inesperada, por lo tanto, pueden alterar los resultados esperados. Estos eventos están asociados al concepto de riesgo, pues pueden afectar los resultados de manera positiva, negativa o en ambas direcciones, además pueden generar oportunidades o amenazas e el cumplimiento de los objetivos previstos. Se tienen muy pocos estudios de riesgo asociados a la implementación de BIM en entidades públicas. El artículo de Viana y Carvalho (2021) tiene como objetivo principal el generar una lista de priorización de los principales riesgos asociados a la implementación de BIM en las agencias públicas brasileñas. La priorización esta basada en la revisión bibliográfica de la literatura para obtener un listado de riesgos asociados a la implementación de BIM en organismo públicos, los cuales están caracterizados en función de dos aspectos: probabilidad de ocurrencia e impacto. Con el uso de la lógica difusa, genera una lista de priorización de los principales riesgos vinculados a la adopción de BIM en el contexto de las agencias públicas. Los primeros tres riesgos de la lista de priorización generada son conocimientos y experiencias relevantes inadecuados, problemas de interoperabilidad y resistencia cultural, todos fuertemente interconectados. La lista de riesgos inicial fue de quince (Viana y Carvalho, 2021):

- 1) Falta de protocolos BIM: Se refiere a la falta de documentos estándar aplicables a las diferentes áreas a las que llegan los procesos BIM.
- 2) Incertidumbre sobre la responsabilidad del proyecto: Surge del hecho de que BIM tiene varios participantes activos diferentes que utilizan el mismo modelo federado.
- 3) Propiedad de los datos BIM: La falta de regulaciones específicas sobre su propiedad de la información generada.
- 4) Problemas de interoperabilidad: Incapacidad de un sistema para comunicarse con otro, lo que hace imposible el intercambio de información.
- 5) Interfaz tecnológica entre programas: Está relacionada con la facilidad de comprensión de los programas BIM por parte de los usuarios.

- 6) Costos más allá de lo esperado con BIM: debido a los costos de nueva tecnología de hardware y software, así como la capacitación y otros, lo que genera los llamados costos más allá de las expectativas.
- 7) Resistencia cultural: Está ligada a la dificultad de abandonar procesos tradicionales de proyección, ya bien consolidados y comprendidos, por uno nuevo, que requerirá un esfuerzo inicial hacia la comprensión de sus bases y preceptos.
- 8) Experiencia y conocimientos relevantes inadecuados: Dado que se trata de un proceso nuevo, el número de personas capacitadas y con experiencia en procesos BIM es limitado en comparación con los métodos de diseño tradicionales.
- 9) Falta de colaboración entre los participantes del proyecto: La industria de la construcción se adapta para tener varias personas que trabajan individualmente, generando proyectos que generalmente requieren mayor compatibilidad.
- 10) Falta de intercambio de información: Vinculado al riesgo mencionado anteriormente, surge también por el hecho de que esta práctica no forma parte de los procesos tradicionales de diseño, provocando extrañeza y resistencia inicial por parte de los usuarios a compartir la información generada por ellos.
- 11) Seguridad de los datos: Riesgo relacionado con la necesidad de evitar transferir información innecesaria o incorrecta del modelo federado.
- 12) Baja calidad de los datos BIM: Se asocia tanto a la veracidad de los datos utilizados para crear los objetos, como a la forma correcta de crearlos.
- 13) Problemas de verificación de proyectos: Riesgo vinculado a problemas de verificación de proyectos por parte de los diseñadores.
- 14) Cambios en el modelo BIM por parte de personas no autorizadas: Riesgo generado cuando los participantes del proyecto realizan cambios que impactan en otros asuntos, que pueden ser o no de su competencia, sin comunicar a las partes interesadas y que pueden impactar aspectos del proyecto en su conjunto.
- 15) Falta de un plan de ejecución para la implementación: Tiene su origen en no planificar los pasos que se deben realizar secuencialmente o con un criterio de importancia dentro del proceso de implementación BIM.

Luego de la aplicación de la metodología propia del artículo, prioriza los siguientes riesgos para el organismo público brasileño del caso (Viana y Carvalho, 2021):

- 1) Experiencia y conocimientos relevantes inadecuados
- 2) Problemas de interoperabilidad
- 3) Resistencia cultural
- 4) Falta de intercambio de información
- 5) Baja calidad de los datos BIM
- 6) Falta de protocolos BIM

2.4 Adopción sistémica del BIM

BIM ha sido clasificado como una innovación sistémica y se definió como el conjunto de tecnologías, procesos e innovaciones organizativas relacionadas con BIM, que requiere que varias empresas y usuarios cambien sus prácticas simultáneamente (Murguía et al., 2017). Por ello la adopción sistémica de BIM requiere que los usuarios de diferentes organizaciones cambien sus prácticas de trabajo al interno de la empresa y hacia la relación con otras empresas. Los usuarios son los que crean, usan e intercambian información, en base a ello toman decisiones en el entorno BIM, estas decisiones pueden

ser a nivel de la organización o a nivel del proyecto, por tanto, el usuario se encuentra al centro de la adopción sistémica del BIM, influenciado tanto por la organización a la que pertenece y al proyecto que viene desarrollando. El artículo de Murguía et al. (2021) investiga la adopción sistémica de innovaciones digitales en la construcción y tiene como objetivo formular un modelo de adopción BIM sistémica. La recopilación de la data primaria fue realizada en Perú a 133 usuarios de BIM, 30 directores ejecutivos y 20 gerentes de proyectos. De la búsqueda en la literatura, el artículo resume los factores propuestos en los tres niveles de análisis (Murguía et al., 2021):

Usuario

- ✓ Expectativa de rendimiento: Grado en que los usuarios sienten que BIM ayudará al desempeño de los procesos de trabajo actuales
- ✓ Expectativa de esfuerzo: Grado en que los usuarios sienten que BIM es fácil de usar.
- ✓ Influencia social: Grado en que las personas perciben que las personas importantes piensan que deberían usar BIM
- ✓ Intención conductual: Construido por las tres anteriores.
- ✓ Condiciones facilitadoras: Grado en el que un individuo cree que existe una infraestructura organizativa y técnica para apoyar el uso de BIM

Empresa

- ✓ Tipo de empresa: Algunos diseñadores ven a BIM como una extensión de CAD, mientras que los contratistas ven más beneficios.
- ✓ Tamaño de la empresa: Hay hallazgos contradictorios en la literatura sobre si el tamaño de la empresa es uno de los factores contextuales a nivel de empresa que influyen en la adopción de BIM por parte de los usuarios.
- ✓ Preparación tecnológica (optimismo): Visión positiva de BIM, incluida su flexibilidad, conveniencia y eficiencia.
- ✓ Preparación tecnológica (capacidad de innovación): Tendencia a posicionar a la empresa como pionera en tecnología.
- ✓ Apoyo de la alta dirección: Grado en el que el CEO entiende la importancia de BIM y está involucrado en actividades BIM.
- ✓ Condiciones facilitadoras de la empresa: La empresa ha invertido en tecnología, capacitación y consultoría para adoptar BIM
- ✓ Adopción BIM de la empresa: Las empresas exhiben una mezcla de competencias, capacidad, recursos, cultura y actitud para competir en el mercado.

Proyecto

- ✓ Integrador de sistemas: El integrador de sistemas dirige el proceso de innovación, alinea objetivos y vence la resistencia de individuos y organizaciones.
- ✓ Dinámica de difusión: La dinámica de difusión (dirigida por el cliente frente la dirigida por el proveedor) podría explicar la variación entre proyectos en la adopción de BIM por parte de los usuarios.
- ✓ Autoría de Modelos BIM: El autor de los modelos BIM (Consultor vs. In-House) podría explicar la variación entre proyectos en la adopción de BIM por parte de los usuarios.
- ✓ Modo de Gobernanza: El modo de mercado es un proceso BIM autorregulado en el que la difusión ocurre en un proceso de co aprendizaje sin mandato.
- ✓ Proyecto-Coalición. Capacidad tecnológica: Algunas empresas no pueden o no quieren comprometerse con BIM.

- ✓ Proyecto-Coalición. Nivel de colaboración: Si una o más empresas no participan plenamente en el proceso de colaboración, podría afectar la adopción de BIM de los usuarios dentro de la coalición del proyecto.

Como resultado el artículo encontró los factores que influyen en la práctica de BIM son:

Usuario

- ✓ Expectativa de rendimiento
- ✓ Expectativa de esfuerzo
- ✓ Influencia social
- ✓ Intención de comportamiento
- ✓ Condiciones facilitadoras

Empresa

- ✓ Tipo de empresa
- ✓ Apoyo de la alta dirección
- ✓ Adopción de BIM de la empresa

Proyecto

- ✓ Autoría de los modelos BIM
- ✓ Capacidad tecnológica de la coalición del proyecto

Asimismo, el artículo (Murguía et al., 2021) señala que las "condiciones facilitadoras" son un factor fundamental para la adopción de BIM por parte de los usuarios. Las empresas con poca capacidad BIM afectan la adopción de otros miembros del proyecto. El papel fundamental de los integradores de sistemas como fuerza impulsora de la adopción sistémica de BIM. Si bien es cierto que la investigación se llevó a cabo en muestras de usuarios, empresas y proyectos de la parte privada, sin embargo, consideramos relevante su aporte para la determinación de los factores que influenciarán en el cálculo del índice de implementación BIM de las entidades públicas.

3. Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM) y el Proceso Analítico de red (ANP)

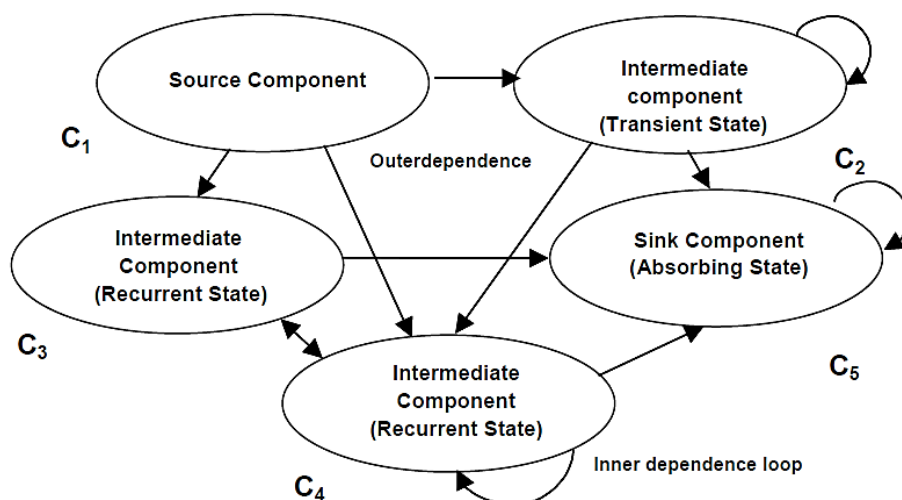
Debido a la naturaleza multidimensional y multinivel en la Implementación de BIM, la creación de índices a menudo es asistida por herramientas de toma de decisiones multicriterio (MCDM), que pueden considerar varios criterios y diferentes perspectivas de los expertos. Este capítulo explora la aplicación de técnicas de MCDM a problemas relacionados con el cálculo de índices y la priorización de factores que afectan de manera positiva o negativa la implementación de BIM. La toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM), también denominada evaluación de criterios múltiples (MCE), análisis de criterios múltiples (MCA) o análisis de decisión de criterios múltiples (MDCA) es una familia de herramientas que ayudan a las personas a estructurar formalmente problemas multifacéticos. El objetivo de MCDM no es encontrar una solución final y "mejor", sino ofrecer un conjunto de alternativas para informar mejor a los tomadores de decisiones (Caterino N., et al., 2009). MCDM es adecuado para abordar problemas complejos con alta incertidumbre, múltiples criterios, objetivos contradictorios, diferentes formas de datos y tiene en cuenta a los diferentes intereses y perspectivas (Armaş, I., 2012).

Una de las principales ventajas de MCDM es que permite integrar los intereses y objetivos de múltiples partes interesadas, ya que las preferencias de cada actor pueden tenerse en cuenta en forma de ponderaciones de criterios (Tsoutsos et al., 2009). Los MCDM pueden mejorar la transparencia y el rigor analítico al resolver problemas mal estructurados, ya que las elecciones de criterios de entrada, estandarización de datos, ponderación y agregación de criterios expresan explícitamente, lo que lleva a una justificación de decisiones y resultados reproducibles (Salgado et al., 2009). Sin embargo, como con cualquier otro método, las herramientas MCDM también transmiten una serie de deficiencias que están relacionadas principalmente con su subjetividad, en particular en la elección de los criterios en los que basar la decisión y los pesos relativos de importancia otorgados a esos criterios (Tsoutsos et al., 2009). En este sentido, Belton y Stewart (2002) señalan que la subjetividad es inherente a la toma de decisiones, el MCDM no disipa esa subjetividad; simplemente busca hacer explícita la necesidad de juicios subjetivos y transparente el proceso por el cual se toman en cuenta. Las técnicas MCMD ofrecen diferentes soluciones en función de sus aplicaciones y según el contexto. Se han propuesto muchos métodos, algunos de ellos diseñados para un problema particular y otros universalmente utilizados en diferentes áreas, teniendo en cuenta que la implementación de BIM tienen una orientación multidimensional y multinivel, se optó por la técnica del ANP.

3.1 Proceso Analítico en Red - ANP

Es uno de los métodos de toma de decisión multicriterio (MCDM) más aplicados, que puede ser utilizado para abordar la toma de decisiones o la evaluación de problemas con participación de múltiples actores y de múltiples criterios. Técnicamente, el ANP se considera como la forma general de AHP (Saaty, 2004), pero se centra más en un marco de red. Define el modelo de priorización como una red compuesta por diferentes elementos (por ejemplo, objetivo, criterios, alternativas), agrupados en clústeres y conectados entre sí. ANP permite relaciones complejas, interdependientes y de retroalimentación entre los elementos de un problema. “En la red, la importancia de los criterios determina la importancia de las alternativas, pero además la importancia de las alternativas también puede tener un impacto en la importancia de los criterios” (Saaty, 2004). “ANP permite la interdependencia de los criterios y es capaz de priorizar grupos o incluso clústeres de componentes, lo que ayudará a una complicada toma de decisiones en red con diferentes criterios intangibles” (Tsai et al., 2010). ANP también facilita llegar a soluciones participativas y lograr consensos en la resolución de problemas multicriterio y multi expertos. ANP replica la forma en que los humanos toman decisiones en las que la importancia de los requisitos puede transformarse con las opciones disponibles (Saaty, T.L. y Vargas, L.G., 2013). Para la aplicación de la técnica del Proceso de Red Analítica (ANP), se tiene que realizar los siguientes pasos determinados por Saaty (1988, 2004):

- 1) Modelar el problema de decisión como una red. Definimos el objetivo del modelo, luego desarrollamos los criterios y los definimos, de tal manera que, una vez seleccionada las alternativas, estas se relacionen con cada criterio, para agruparlos. Una vez agrupados en clústeres, se debe establecer como los elementos de la red se relacionan. Las relaciones pueden ser simples o complejas, interdependientes y de retroalimentación entre los elementos, es decir que se pueden relacionarse entre alternativas, entre criterios o entre criterios y alternativas, conformando una red.



Grafica 3.1: Conexiones de red en ANP (Saaty, 2004)

- 2) Generar matrices de comparación pareada entre elementos. Se realiza mediante el planteamiento de matrices de comparación pareada entre elementos. Para los datos a considerar en la comparación por pares, se solicita a los expertos desarrollar los formularios de valoración de los criterios con criterios y de alternativas con alternativas, de acuerdo a la escala de importancia relativa planteada por Saaty (1988,2004), Cuadro N° 3.1.

Calificación numérica	Juicios verbales de preferencias
9	extremadamente preferido
8	muy fuertemente a extremadamente
7	muy fuertemente preferido
6	fuerte a muy fuerte
5	muy preferido
4	de moderada a fuerte
3	moderadamente preferido
2	igual a moderadamente
1	igualmente preferido

Cuadro 3.1 Escala de importancia relativa (Saaty, T. L., 2008)

Tamaño de la matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consistencia aleatoria	0	0	0.58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Cuadro 3.2: Consistencia aleatoria promedio (RI) (Saaty, T. L., 2008)

- 3) Formular la supermatriz no ponderada. Con los valores de pesos de importancia relativa de los elementos determinados en el paso 2, se formula la supermatriz no ponderada. Los elementos que lo conforman en una sola matriz, tanto en columnas como en filas, los clústeres, los criterios y las alternativas del modelo ANP. Para construir una supermatriz se debe tener en cuenta los elementos y clústeres, si tenemos que cada clúster k , $k = 1, \dots, m$, incluye n_k elementos: e_{K1} ; e_{K2} , .. ; e_{Knk} . Estos elementos se pueden comparar por pares usando la escala de Saaty, (2008).

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & & C_2 & & C_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{matrix} & \begin{matrix} e_{11} & \dots & e_{1n_1} & e_{21} & \dots & e_{2n_2} & e_{m1} & \dots & e_{mn_2} \\ \begin{matrix} e_{11} \\ \vdots \\ e_{1n_1} \end{matrix} & W_{11} & & W_{12} & & \dots & W_{1m} \\ \begin{matrix} e_{21} \\ \vdots \\ e_{2n_2} \end{matrix} & W_{21} & & W_{22} & & \dots & W_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \begin{matrix} e_{n_m1} \\ \vdots \\ e_{n_m n_m} \end{matrix} & W_{m1} & & W_{m2} & & \dots & W_{mm} \end{matrix} \end{matrix}$$

Grafica 3.2: Construcción de la supermatriz en ANP

- 4) Calcular las prioridades relativas entre clústeres. Se debe determinar las prioridades relativas en base a la construcción de matrices de comparación por pares entre los clústeres, criterios y alternativas. La comparación por pares es determinada por los expertos como respuesta al formulario preparado, en base a la escala de importancia relativa (Cuadro 3.1) propuesta por Saaty (1988,2004).
- 5) Construir la supermatriz ponderada. Se determina los pesos correspondientes de cada uno de los componentes, luego se transforma en una supermatriz ponderada.
- 6) Construir la supermatriz estocástica. Se debe normalizar la supermatriz ponderada, para ello se realiza la división de cada valor de una celda por la suma de los valores de la columna correspondiente, de tal manera que se obtenga una supermatriz estocástica por columnas.
- 7) Calcular la supermatriz límite. La supermatriz ponderada estocástica determinada en el paso anterior, se eleva a potencias sucesivas hasta obtener el mismo valor para todas las columnas de la supermatriz.

Diseñado en 1996, el método se sigue empleando para actividades de investigación de evaluación, evaluación del desempeño, sistema de información, universidad, industria y cadenas de suministro, empresas virtuales, procesos de selección de socios, proyectos de I+D, evaluación de riesgos ambientales (ERA), evaluación de riesgos de desastres, desempeño interempresarial, ERP, desempeño organizacional y medir la complejidad de los megaproyectos de construcción, así como la preferencia de proyectos y la gestión de la cadena de suministro. Desarrollar ANP en Excel es muy tedioso, para ello se tiene un software gratuito que permite modelar el ANP, se llama “SuperDesicion”.

4. Metodología

La presente sección contiene los objetivos específicos y general de la investigación, así como el modelo metodológico propuesto.

4.1 Objetivos de la investigación

La investigación busca alcanzar los siguientes objetivos:

Objetivo general

Diseñar un modelo de toma de decisiones basado en el Proceso Analítico de Red (ANP), a partir del análisis multidimensional y multinivel de los factores críticos de éxito en la implementación de BIM, se pueda generar un índice de implementación de BIM y priorizar los factores o grupo de factores que mayor incidencia tienen sobre la implementación.

Los objetivos específicos son:

- 1) Seleccionar los expertos y/o actores en los procesos de implementación BIM para el análisis multidimensional y multinivel de los factores críticos de éxito en la implementación de BIM
- 2) Seleccionar los factores críticos de éxito en la implementación de BIM para ser agrupados de acuerdo a su significado y su relación con las normas de BIM.
- 3) Aplicar el método ANP para priorizar los factores o grupo de factores que mayor incidencia tienen sobre la implementación de BIM.
- 4) Aplicar el método ANP para calcular el índice de implementación de BIM.

4.2 Modelo metodológico

Los diseños de investigación son planes y procedimientos de investigación que abarcan las decisiones, desde suposiciones amplias hasta métodos detallados de recopilación y análisis de datos (Creswell, 2009). Al elegir el diseño y los métodos de investigación apropiados, la naturaleza de las preguntas de investigación y los objetivos del estudio juegan un papel importante (Bryman, 2016). La estrategia de investigación a utilizar en la presente investigación es la de método cuantitativo. La metodología debe ser exploratoria, manteniendo un concepto inductivo para establecer la interrelación empírica dentro de los factores de riesgo. La construcción de un diseño metodológico puede complicarse por la disponibilidad de una gran variedad de métodos, técnicas, procedimientos y datos necesarios para aplicar a la investigación. Por lo tanto, es necesario seguir un plan lógico para que la investigación conecte las diferentes etapas y cumpla con los objetivos de la propuestos. Teniendo en cuenta el objetivo general y los objetivos específicos, el modelo propuesto contiene dos pasos, como se muestra en la Gráfico 4.1 y 4.2:

Paso 1: Seleccionar los expertos y los factores críticos de éxito en la implementación de BIM.

El paso uno está orientado a cumplir el primer y segundo objetivo específico de la investigación, que es 1) Seleccionar los expertos y actores en los procesos de implementación BIM para el análisis multidimensional y multinivel de los factores críticos de éxito en la implementación de BIM y 2) Seleccionar los factores críticos de éxito en la implementación de BIM para ser agrupados de acuerdo a su significado y su relación con las normas de BIM. De la revisión de la literatura expuesta en la sección 2. El BIM y la

gestión de proyectos públicos, que de acuerdo a la normatividad sobre BIM y la revisión de otros estudios, determinando que se tienen los siguientes conceptos (Cuadro 4.1):

Grupos	Definición
Grupo 1 Beneficios de la adopción BIM	Son los beneficios recibidos en la nueva forma de planificar, ejecutar, operar y mantener una inversión (MEF, 2021b).
Grupo 2 Gestión de la Información BIM	“Este proceso se inicia cada vez que se realiza una nueva designación en las diferentes fases de la inversión pública, Integra tanto la información del contenido geométrico o gráfica, como la información alfanumérica o no gráfica y se centraliza en un entorno común de datos (MEF, 2021b):
Grupo 3 Usos BIM	“Los Usos BIM son métodos de aplicación de BIM que se definen a través de procesos que se pueden ubicar, orientar y relacionar con cada fase del ciclo de inversión para alcanzar uno o más objetivos específicos” (MEF, 2021b).
Grupo 4 Roles BIM	Son las funciones y responsabilidades que desempeñan los actores de la inversión, para permitir el proceso de gestión de la información BIM (MEF, 2021b).
Grupo 5 Adopción de BIM	No dependen de la envergadura o el monto de la inversión (MEF, 2021b)
Grupo 6 Ciclo de Inversión Pública	. “El Ciclo de Inversión del Invierte.Pe es el proceso mediante el cual un proyecto de inversión es concebido, diseñado, evaluado, ejecutado y genera sus beneficios para la efectiva prestación de servicios y la provisión de la infraestructura necesaria para el desarrollo del país” (MEF, 2022)

Cuadro N° 4.1: Definición de los Grupos

Determinada los grupos que contengan a los factores, se inicia la búsqueda de los factores que inciden en la implementación de BIM, para ello es necesario realizar una revisión bibliográfica de estudios previos, con el objeto de contar con un listado inicial de factores. Con este listado inicial, se procede con la identificación y selección de expertos y actores en la implementación de BIM. Los expertos serán seleccionados mediante el muestreo de referidos o bola de nieve (Atkinson & Flint, 2001). Es un método no probabilístico que consiste en identificar a los expertos iniciales, los expertos inicialmente contactados referirán a otros expertos en implementación de BIM, que a su vez conducen a otros posibles expertos y así sucesivamente. En esta investigación, se considera a un experto y/o actor clave a toda persona con un conocimiento extenso y profundo del BIM, adquirido a través de la práctica o la educación, que incluya a funcionarios públicos de las entidades y a los actores de las empresas que gestionen proyectos con el Estado. Para superar las limitaciones de sesgo con respecto a una posible exclusión de expertos no contactados, se complementará con una búsqueda exhaustiva en las plataformas electrónicas de gestión de proyectos. Una vez seleccionados los expertos, se procede a

solicitar su aceptación a participar en la investigación, para ello se proporcionará toda la información necesaria.

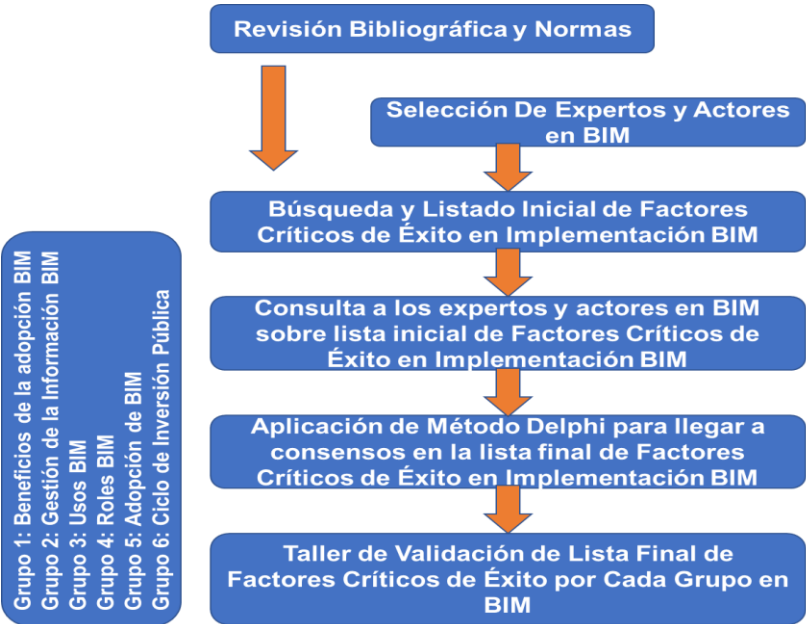
Una vez se tenga los expertos seleccionados, se desarrollará un taller con un grupo reducido de expertos, entre 3 a 5 personas, de tal manera de validar la lista inicial de factores críticos de éxito y los instrumentos a consultar a todos los demás expertos. Por medio de correos electrónicos, se solicitará a cada uno de los expertos validar el listado inicial de factores. De encontrar mayor número de factores estas podrán ser incluidas o de lo contrario también pueden considerar el retiro de alguna de ellas de la lista. Además, cada experto propondrá la ubicación de cada factor con respecto a los seis grupos determinados. Con el listado de factores críticos de éxito proporcionado por cada experto, se procede a realizar la selección de los factores de implementación de BIM por cada grupo con el apoyo del método Delphi, con el objetivo de disminuir la variación de las respuestas, posibilitando el logro del consenso grupal.

Teniendo como principio que el método Delphi es una técnica sistemática e interactiva, donde se recopila el conocimiento de un panel de expertos a través de una serie de cuestionarios intercalados con retroalimentación controlada (Alshehri et al, 2015). Desde una perspectiva práctica, Delphi es muy efectivo, ya que permite que los expertos que se encuentran dispersos geográficamente contribuyan. Permite la colaboración de profesionales con puntos de vista opuestos para priorizar un conjunto común de factores de manera sistemática y transparente. Además, evita la influencia de expertos dominantes ya que los encuestados permanecen anónimos durante todo el proceso. Se desarrolla por rondas, después de cada ronda, los participantes pueden revisar sus juicios en base a las opiniones de sus colegas anónimos. Terminada la primera ronda, se enviará a cada experto un informe con los resultados obtenidos, proporcionando un resumen estadístico que incluya la tendencia (mediana y media), dispersión (rango intercuartílico, desviación estándar y coeficiente de variación) y distribución de frecuencias (histogramas). Asimismo, en cada ronda se solicitará comentarios a cada experto, el cual se compartirá con todos, de manera que cada participante pueda observar dónde está ubicada su respuesta en relación con la de los demás.

La determinación del número de rondas para llegar a un consenso en el método Delphi dependerá del rango intercuartílico (IQR) de 1 o menos. El IQR es el valor absoluto de la diferencia entre los percentiles 75 y 25, donde los valores más pequeños indican grados más altos de consenso. Esta medida se acepta comúnmente como una forma objetiva y rigurosa de medir el consenso en las encuestas Delphi (Alshehri et al., 2015), donde se consideran que un IQR del 20 % de la escala de calificación es aceptable para el consenso. Además, se debe determinar la diferencia del coeficiente de variación (CV) con el objetivo de proporcionar una medida normalizada de dispersión. El CV es un número adimensional y se calcula como la desviación estándar dividida por la media. La diferencia entre el CV de la ronda “n+1” y el CV de la ronda “n” debe ser inferior a 0,2 o 20%, esto nos indica que se alcanzó la estabilidad y no se requieren más rondas Delphi. La media también nos sirve para comprender el juicio del panel sobre la importancia de los criterios, considerando importante si el 60 % o más de los expertos está de acuerdo.

Para concluir con el paso uno, se realizará un taller participativo con los expertos, donde se presentará el sustento de los resultados del método Delphi, con el objetivo de validar la lista final de factores críticos de éxito en la implementación de BIM en cada uno de los

seis grupos, permitiendo ratificar el consenso obtenido. Con ello contaremos con los datos requeridos para la aplicación de la técnica del Proceso de Red Analítica (ANP), en el paso dos.



Grafica 4.1: Paso 1 del Modelo Metodológico - Seleccionar los expertos y los factores críticos de éxito en sus grupos.

Paso 2: Calcular el Índice de implementación de BIM y priorizar los factores o grupo de factores que mayor incidencia tienen sobre la implementación de BIM

El paso dos se cubre el tercero y cuarto objetivo específico: 3) Aplicar el método ANP para priorizar los factores o grupo de factores que mayor incidencia tienen sobre la implementación de BIM. 4) Aplicar el método ANP para calcular el índice de implementación de BIM. Para la aplicación de la técnica del Proceso de Red Analítica (ANP), de acuerdo a los pasos determinados por Saaty (1988, 2004), iniciamos con modelar el problema de decisión como una red: definimos el objetivo, clústeres y criterios. El objetivo a determinar con esta técnica es el valor del Índice de implementación de BIM.

Los clústeres se desprenden de los conceptos esbozados en el capítulo 2, para ello se establecen seis clústeres conformados por los grupos determinados y los criterios (factores críticos de éxito) seleccionados, cuyas definiciones se detallan en el Cuadro N° 4.2. Para establecer los criterios, estas se determinan en el paso uno, donde los expertos seleccionaron los factores críticos de éxito de acuerdo a estos seis grupos. Una vez agrupados en los seis clústeres, se debe establecer las relaciones entre los elementos de la red. Las relaciones pueden ser simples o complejas, interdependientes y de retroalimentación entre los elementos, es decir, pueden relacionarse entre factores que afectan, entre los grupos o entre grupos y factores críticos de éxito, conformando una red.

Grupos	Definición	Criterios
--------	------------	-----------

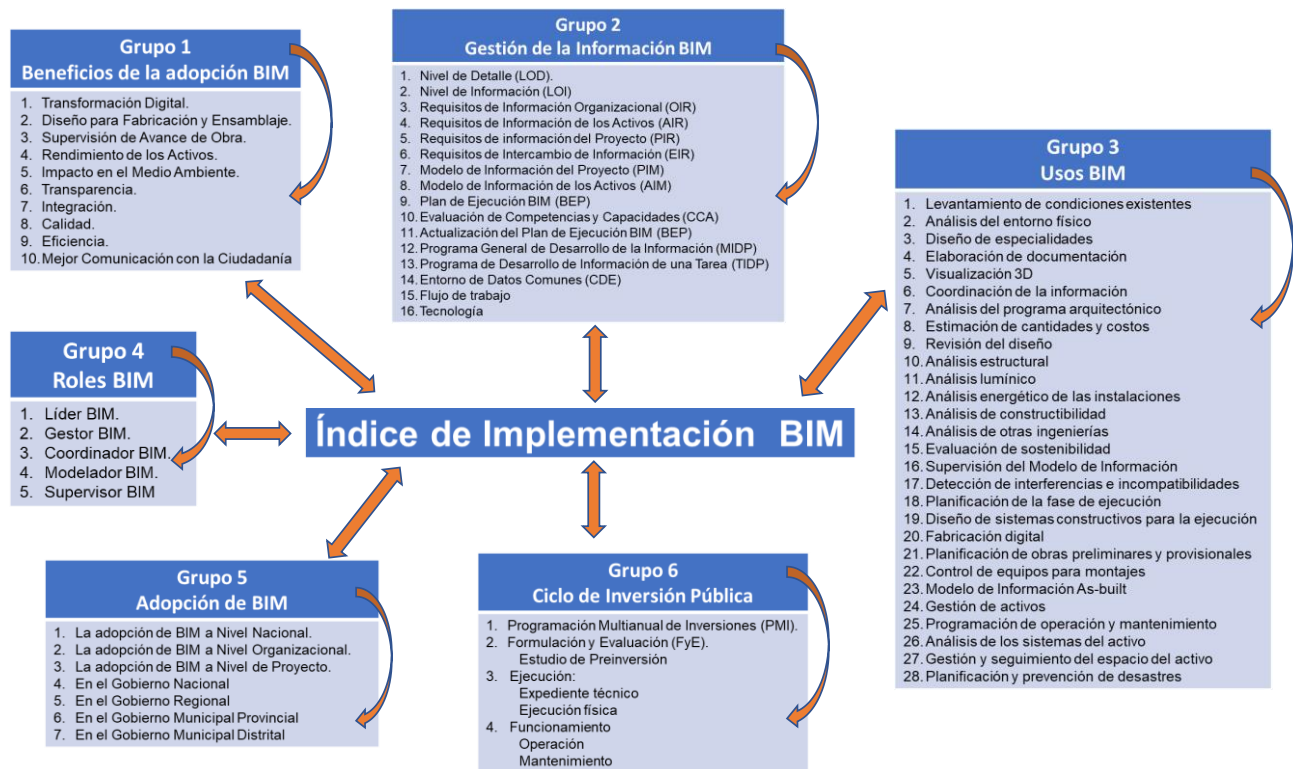
Grupos	Definición	Criterios
Grupo 1 Beneficios de la adopción BIM	Son los beneficios recibidos en la nueva forma de planificar, ejecutar, operar y mantener una inversión (MEF, 2021b).	1. Transformación Digital. 2. Diseño para Fabricación y Ensamblaje. 3. Supervisión de Avance de Obra. 4. Rendimiento de los Activos. 5. Impacto en el Medio Ambiente. 6. Transparencia. 7. Integración. 8. Calidad. 9. Eficiencia. 10. Mejor Comunicación con la Ciudadanía.
Grupo 2 Gestión de la Información BIM	“Este proceso se inicia cada vez que se realiza una nueva designación en las diferentes fases de la inversión pública, Integra tanto la información del contenido geométrico o gráfica, como la información alfanumérica o no gráfica y se centraliza en un entorno común de datos (MEF, 2021b):	1. Nivel de Detalle (LOD). 2. Nivel de Información (LOI) 3. Requisitos de Información Organizacional (OIR) 4. Requisitos de Información de los Activos (AIR) 5. Requisitos de información del Proyecto (PIR) 6. Requisitos de Intercambio de Información (EIR) 7. Modelo de Información del Proyecto (PIM) 8. Modelo de Información de los Activos (AIM) 9. Plan de Ejecución BIM (BEP) 10. Evaluación de Competencias y Capacidades (CCA) 11. Actualización del Plan de Ejecución BIM (BEP) 12. Programa General de Desarrollo de la Información (MIDP) 13. Programa de Desarrollo de Información de una Tarea (TIDP) 14. Entorno de Datos Comunes (CDE) 15. Flujo de trabajo 16. Tecnología

Grupos	Definición	Criterios
Grupo 3 Usos BIM	“Los Usos BIM son métodos de aplicación de BIM que se definen a través de procesos que se pueden ubicar, orientar y relacionar con cada fase del ciclo de inversión para alcanzar uno o más objetivos específicos” (MEF, 2021b).	1. Levantamiento de condiciones existentes 2. Análisis del entorno físico 3. Diseño de especialidades 4. Elaboración de documentación 5. Visualización 3D 6. Coordinación de la información 7. Análisis del programa arquitectónico 8. Estimación de cantidades y costos 9. Revisión del diseño 10. Análisis estructural 11. Análisis lumínico 12. Análisis energético de las instalaciones 13. Análisis de constructibilidad 14. Análisis de otras ingenierías 15. Evaluación de sostenibilidad 16. Supervisión del Modelo de Información 17. Detección de interferencias e incompatibilidades 18. Planificación de la fase de ejecución 19. Diseño de sistemas constructivos para la ejecución 20. Fabricación digital 21. Planificación de obras preliminares y provisionales 22. Control de equipos para montajes 23. Modelo de Información As-built 24. Gestión de activos 25. Programación de operación y mantenimiento 26. Análisis de los sistemas del activo 27. Gestión y seguimiento del espacio del activo 28. Planificación y prevención de desastres
Grupo 4 Roles BIM	Son las funciones y responsabilidades que desempeñan los actores de la inversión, para permitir el proceso de gestión de la información BIM (MEF, 2021b).	1. Líder BIM. 2. Gestor BIM. 3. Coordinador BIM. 4. Modelador BIM. 5. Supervisor BIM
Grupo 5 Adopción de BIM	No dependen de la envergadura o el monto de la inversión (MEF, 2021b)	1. La adopción de BIM a Nivel Nacional. 2. La adopción de BIM a Nivel Organizacional. 3. La adopción de BIM a Nivel de Proyecto. 4. En el Gobierno Nacional 5. En el Gobierno Regional 6. En el Gobierno Municipal Provincial

Grupos	Definición	Criterios
		7. En el Gobierno Municipal Distrital
Grupo 6 Ciclo de Inversión Pública	“El Ciclo de Inversión del Invierte.Pe es el proceso mediante el cual un proyecto de inversión es concebido, diseñado, evaluado, ejecutado y genera sus beneficios para la efectiva prestación de servicios y la provisión de la infraestructura necesaria para el desarrollo del país” (MEF, 2022)	1. Programación Multianual de Inversiones (PMI). 2. Formulación y Evaluación (FyE). Estudio de Preinversión 3. Ejecución: Expediente técnico Ejecución física 4. Funcionamiento Operación Mantenimiento

Cuadro N° 4.2: Definición de los Grupos y Criterios para el ANP

Una vez modelado el problema de decisión como una red, se inicia con las comparaciones pareadas entre los elementos. Los expertos en BIM apoyaran en la determinación de las comparaciones pareadas, utilizando una escala fundamental de números absolutos del 1 al 9 (Cuadro 3.1), entre grupos, entre criterios o entre grupos y criterios, de acuerdo a la red conformada. Con estos datos podemos construir la supermatriz no ponderada. Para ponderar la supermatriz requerimos calcular las prioridades relativas entre los tres clústeres conformados por los seis grupos y los factores críticos de éxito en cada grupo. Normalizando la supermatriz ponderada obtenemos la supermatriz estocástica, que se eleva a potencias sucesivas hasta obtener el mismo valor para todas las columnas de la supermatriz, obteniendo la supermatriz límite, para todo este proceso se utilizará el software “SuperDecisions”. En la supermatriz límite los valores mostrados en todas las columnas son los mismos, con un valor del índice de implementación de BIM, un valor para cada grupo y para cada factor que afecte la implementación BIM, de tal forma que los datos obtenidos nos permiten determinar un ranking a los grupos y a los factores críticos de éxito en la implementación de BIM, estableciendo las prioridades. Esta priorización nos permitirá tomar mejores decisiones sobre los factores o grupo de factores críticos de éxito en la implementación de BIM.



Grafica 4.2: Paso 2 del Modelo Metodológico – Calculo del Índice de implementación de BIM y priorizar los factores o grupo de factores de mayor incidencia

5. Referencias

- Alshehri, S. A., Rezgui, Y. & Li, H. (2015). Delphi-based consensus study into a framework of community resilience to disaster. *Natural Hazards*, 75(3), 2221-2245.
- Armaş, I. (2012). Multi-criteria vulnerability analysis to earthquake hazard of Bucharest, Romania. *Natural hazards*, 63(2), 1129-1156.
- Atkinson, R. & Flint, J. (2001). Accessing hidden and hard-to-reach populations: Snowball research strategies. *Social research update*, 33(1), 1-4.
- Belton, V. & Stewart, T. (2002). Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Springer Science & Business Media.
- Bryman, A. (2016). Social research methods: Oxford university press.
- Caterino, N., Iervolino, I., Manfredi, G. & Cosenza, E. (2009). Comparative analysis of multi-criteria decision-making methods for seismic structural retrofitting. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 24(6), 432-445.
- Corporación de Fomento de la Producción – CORFO, 2021. Estándar BIM para Proyectos Públicos. Planbim Chile. Versión 1.1.
- Creswell, J. W. (2009). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (3rd. ed.). London, United Kingdom: Sage Publications.
- Gámez, F. C., Severino, M. J. S. & Márquez, R. J. G. (2014). Introducción a la metodología BIM. *Spanish Journal of Building Information Modelling*, 4-10.
- Global BIM Network. (27 de julio de 2022). Sobre la Red Global BIM. <https://www.globalbim.org/about-us>.
- Grupo de Trabajo BIM (2021). Guía de Estándares, Métodos y Procedimientos BIM. Colombia. Versión V01. https://bim.presidencia.gov.co/biblioteca/Guias_contexto_nacional/
- Instituto Nacional de Calidad (2021). Norma Técnica Peruana: Organización y digitalización de la información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluyendo el modelado de la información de la construcción (BIM). Parte 1: Conceptos y principios (NTP ISO 19650-1). Lima.
- Ministerio de Economía y Finanzas MEF (2021a). Plan de Implementación y Hoja de Ruta del Plan BIM Perú. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo_RD0002_2021EF63_01.pdf
- Ministerio de Economía y Finanzas MEF (2021b). Guía Nacional BIM. Gestión de la Información para inversiones desarrolladas en BIM. Versión 1.
- Ministerio de Economía y Finanzas MEF (27 de julio 2022). Ciclo de Inversión. Invierte.Pe. https://www.mef.gob.pe/es/?option=com_content&language=es-ES&Itemid=100282&lang=es-ES&view=article&id=5520
- Murguía, D., Demian, P., & Soeatanto, R. (2017). A Systemic BIM Innovation Model in the Construction Supply Chain. Association of Researchers in Construction Management, ARCOM 2017 - Proceedings of the 33rd Annual Conference, 15–24.
- Murguía, D., Demian, P., & Soetanto, R. (2021). Systemic BIM adoption: A multilevel perspective. *J. Constr. Eng. Manage*, 147(4), 04021014.
- Salgado, P. P., Quintana, S. C., Pereira, A. G., del Moral Ituarte, L. & Mateos, B. P. (2009). Participative multi-criteria analysis for the evaluation of water

- governance alternatives. A case in the Costa del Sol (Málaga). *Ecological economics*, 68(4), 990-1005.
- Saaty, T. L. (1988). What is the analytic hierarchy process?. In *Mathematical models for decision support* (pp. 109-121). Springer, Berlin, Heidelberg.
 - Saaty, T. L. (2004). Fundamentals of the analytic network process—Dependence and feedback in decision-making with a single network. *Journal of Systems science and Systems engineering*, 13(2), 129-157.
 - Saaty, T.L. & Vargas, L.G., (2013). Decision making with the Analytic Network Process, International Series in Operations Research & Management Science. Springer US, Boston, MA.
 - Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
 - Plan BIM Perú (27 de julio 2022). Plan BIM Perú. <https://www.mef.gob.pe/planbimperu/planbim.html>
 - Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos - RBGL. (27 de julio de 2022). Sobre la Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos. <https://redbimgoblatam.com/nosotros/>.
 - Sistema de Implementación BIM. SIMBIM. (2022). Guía de Implementación BIM. Versión 02. Argentina.
 - Tsai, W. H., Leu, J. D., Liu, J. Y., Lin, S. J. & Shaw, M. J. (2010). A MCDM approach for sourcing strategy mix decision in IT projects. *Expert Systems with Applications*, 37(5), 3870-3886.
 - Tsoutsos, T., Drandaki, M., Frantzeskaki, N., Iosifidis, E. & Kiosses, I. (2009). Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. *Energy policy*, 37(5), 1587-1600.
 - Viana, V. L. B. & Carvalho, M. T. M. (2021). Prioritization of risks related to BIM implementation in brazilian public agencies using fuzzy logic. *Journal of Building Engineering*, 36, 102104.

6. Referencias del Autor

Magíster en Gerencia Social de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Ingeniero Civil de la Universidad Nacional Federico Villarreal, MBA en Dirección General de la Universidad San Pablo, estudiante del Doctorado en Gestión Estratégica de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Certificación BIM – VDC del CIFE de la Universidad de Stanford, Alta Gerencia en la Escuela Nacional de Administración Pública, entre otros. Más de 25 años en la gestión de proyectos públicos y privados en diversas entidades de los tres niveles de gobierno. Consultor Senior en gestión de proyectos y metodologías BIM - VDC.

Correo: ivan.infanzon@pucp.pe