

**Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil**

**Propuesta para la implementación de la metodología BIM en el proyecto de
Reconstrucción de la vía y restablecimiento del servicio ferroviario entre
Puntarenas y Alajuela**

Trabajo de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

José Fernando González Montero

Director del Proyecto de Graduación:

Ing. Erick Mata Abdelnour, PhD

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Fecha: 2022, octubre.

El suscrito, José Fernando González Montero, cédula 1-1473-0429, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné B22945, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación **“Propuesta para la implementación de la metodología BIM en el proyecto de Reconstrucción de la vía y restablecimiento del servicio ferroviario entre Puntarenas y Alajuela”**, bajo la Dirección PhD, Ing. Erick Mata Abdelnour, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N.º 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

Dedicatoria

A mi familia.

Agradecimientos

A mi familia por el apoyo y toda la ayuda para llegar a este punto.

Al director de proyecto Ing. Erick Mata Abdelnour por su guía y aliento para la realización de este trabajo.

Al Arq. Salvador Antonio Montoya María, por su gran ayuda desde el INCOFER, sin la cual este proyecto no hubiera sido posible.

A mis asesores el Ing. Jonathan Agüero Valverde y el Ing. Luis Gustavo Ruiz Cano, por su tiempo y aporte dentro del proyecto.

A mis compañeros y amigos, con los que compartí estos años de universidad y me brindaron su apoyo para completarlos.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN	1
1.1.1. <i>El problema específico</i>	1
1.1.2. <i>Importancia</i>	2
1.1.3. <i>Antecedentes teóricos y prácticos del problema</i>	5
1.2. OBJETIVOS	7
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	7
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	7
1.3. MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS	8
1.3.1. <i>Marco teórico</i>	8
1.4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.4.1. <i>Alcance</i>	20
1.4.2. <i>Limitaciones</i>	20
1.5. METODOLOGÍA.....	21
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL UTILIZADO DENTRO DE INCOFER PARA LA PLANIFICACIÓN, DESARROLLO Y GESTIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA FERROVIARIA.....	24
2.1. ESTADO ACTUAL DEL USO DE METODOLOGÍA BIM A NIVEL NACIONAL.....	24
2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL UTILIZADO DENTRO DE INCOFER PARA LA PLANIFICACIÓN, DESARROLLO Y GESTIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA FERROVIARIA.....	26
2.3. ESTADO ACTUAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN PROYECTOS DEL INCOFER.....	33
CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTO PROPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM A NIVEL ORGANIZACIONAL Y NIVEL DE PROYECTOS EN INCOFER.....	37
3.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN A NIVEL DEL INCOFER.....	38
3.1.1. <i>Propuesta de los OIR del INCOFER</i>	38
3.1.2. <i>Usos BIM para INCOFER</i>	40
3.2. APLICACIÓN AL INCOFER DEL MODELO PARA GENERAR HOJAS DE RUTA	56
3.2.1. <i>Tareas a realizar en el campo de las políticas</i>	60
3.2.2. <i>Tareas a realizar en el campo de las Tecnología</i>	66
3.2.3. <i>Tareas a realizar en el campo del Desarrollo</i>	69
3.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A NIVEL PROYECTO DEL TREN PUNTARENAS-ALAJUELA.....	73
3.3.1. <i>Descripción del proyecto para la Rehabilitación del servicio ferroviario entre Puntarenas y Alajuela</i>	73

3.3.2. <i>Definición de aspectos generales para la implementación de la metodología BIM en el proyecto del tren Puntarenas-Alajuela</i>	77
3.3.3. <i>Identificación de hitos para un Nivel 2 de madurez BIM del proyecto Puntarenas-Alajuela</i>	81
3.4. ANÁLISIS DE UTILIDAD DEL PLAN PROPUESTO POR PARTE DE LOS EXPERTOS EN EL USO DE LA METODOLOGÍA BIM	87
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
4.1. CONCLUSIONES.....	92
4.2. RECOMENDACIONES	94
APÉNDICES.....	101
APÉNDICE 1. MAPA CONCEPTUAL DE REQUERIMIENTOS MÍNIMOS EN UN SDI	101
APÉNDICE 2. VISTA AMPLIADA METODOLOGÍA UTILIZADA EN LA INVESTIGACIÓN	102
APÉNDICE 3. CUESTIONARIO SOBRE ESTADO ACTUAL DEL PROCESO	103
APÉNDICE 4. RESPUESTA A CONSULTA TÉCNICA SOBRE OIR	110
APÉNDICE 5. CUESTIONARIO SOBRE UTILIDAD DE MODELO PROPUESTO	114
ANEXOS.....	116
ANEXO 1. ORGANIGRAMA DE INCOFER	116
ANEXO 2. PRINCIPALES FUNCIONES DE GERENCIA DE OPERACIONES Y DIRECCIÓN OPERATIVA	117
ANEXO 3. PRINCIPALES FUNCIONES DE LOS DEPARTAMENTOS OPERATIVOS.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Dimensiones de la información dentro de la metodología BIM.....	9
Figura 1-2. Modelo de Madurez BIM británico	14
Figura 1-3. Dimensiones en las que se desarrollan las hojas de ruta.....	19
Figura 1-4. Esquema metodológico para la elaboración de una propuesta de implementación de la metodología BIM en el proyecto Reconstrucción de la vía y restablecimiento del servicio ferroviario entre Puntarenas y Alajuela	22
Figura 2-1. Sección de la estructura organizacional para el desarrollo de proyectos	27
Figura 2-2. Estructura organizacional Gerencia de Operaciones	30
Figura 2-3. Modelo de Madurez BIM británico	36
Figura 3-1. Relación entre los Usos y lo objetivos BIM	39
Figura 3-2. Interfaz de software para el levantamiento de sitio mediante drones de escaneo fotogramétrico	41
Figura 3-3. Interfaz de Software para la manipulación de modelos 3D en relación con el factor tiempo.....	44
Figura 3-4. Software SWECO para la revisión de emplazamiento de la infraestructura	46
Figura 3-5. Utilización de dispositivo móvil para el control de obra	51
Figura 3-6. Software para el control de activos.....	53
Figura 3-7. Representación gráfica de la hoja de ruta para implementación de la metodología BIM en INCOFER.....	59
Figura 3-8. Tramo de vía férrea a intervenir	74
Figura 3-9. Organigrama de trabajo para el proyecto del tren Puntarenas - Alajuela.....	80
Figura 3-10. Modelo de Madurez BIM británico.....	81
Figura 3-11. Resultados de la evaluación de preguntas sobre el planteamiento del trabajo ..	88
Figura 3-12. Resultados de la evaluación de propuesta a nivel de INCOFER	89
Figura 3-13. Resultados de la evaluación de propuesta a nivel de Proyecto.....	90
Figura 3-14. Resultados de la evaluación general de la propuesta	91

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1-1. Términos y definiciones en la metodología BIM.....	11
Cuadro 1-2. Requerimientos mínimos a definir en SDI	16
Cuadro 2-1. Objetivo de las unidades en la Gerencia de Operaciones	31
Cuadro 2-2. Procesos de la Gerencia de Operaciones y sus unidades asociadas.....	33
Cuadro 3-1. Objetivos BIM de mejora continua (OIR) del INCOFER	38
Cuadro 3-2. Matriz de usos BIM para INCOFER	40
Cuadro 3-3. Población y área de influencia de la vía férrea a intervenir.....	76
Cuadro 3-4. Beneficiarios del proyecto de tren Puntarenas - Alajuela.....	76
Cuadro 3-5. Objetivos BIM de mejora continua (PIR) del proyecto Puntarenas - Alajuela	77
Cuadro 3-6. Matriz de usos BIM para el proyecto del tren Puntarenas - Alajuela.....	78
Cuadro 3-7. Propósito de la información solicitada en cada fase del tren Puntarenas - Alajuela	79
Cuadro 3-8. Formato, tamaño y software propuesto para cada tipo de información	85
Cuadro An-0-1. Principales funciones a nivel Gerencia/Dirección	117
Cuadro An-0-2. Principales funciones a nivel Operativo.....	119

González Montero, José Fernando

Propuesta para la implementación de la metodología BIM en el proyecto de Reconstrucción de la vía y restablecimiento del servicio ferroviario entre Puntarenas y Alajuela.

Proyecto de Graduación - Licenciatura en Ingeniería Civil - San José, Costa Rica.

J. González M., 2022

x, 100, [20]h; ils. col.- 47 refs.

RESUMEN

El propósito de este trabajo fue comprobar, observando el estado actual de implementación nacional, las guías emitidas por entes gubernamentales de otras regiones y los esfuerzos realizados por el Gobierno e instituciones públicas y privadas, que el Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER) puede beneficiarse de desarrollar un plan para la implementación de la metodología *Building Information Modelling* (BIM, por sus siglas en inglés) a nivel general dentro de su organización, y de forma preliminar en el proyecto "Reconstrucción de la vía y restablecimiento del servicio ferroviario entre Puntarenas y Alajuela" y sus fases. Se reseñaron las experiencias positivas que Europa, Estados Unidos y buena parte de Latinoamérica han tenido con esta metodología, en la agilización y ahorro económico de las obras civiles. Esta investigación señaló la intención del Gobierno de Costa Rica de implantar el sistema para el sector público a partir del año 2024. Detalló y analizó las experiencias hasta ahora vividas por el INCOFER en este tema, las cuales son bastante escasas.

La metodología utilizada es de tipo descriptiva cualitativa que inició con la fase teórica, identificando y delimitando el problema. En la fase de evaluación se analizaron los datos obtenidos en la parte investigativa y de entrevistas. En la fase de propuesta, se estableció un plan para la implementación de la metodología BIM. Por último, el trabajo se enriqueció con la consulta a un grupo evaluador y finalizó con las conclusiones y recomendaciones.

Como principal resultado, se planteó una propuesta detallada de cómo incorporar la metodología, considerando las etapas de planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento. Se precisó una aplicación de la metodología para el proyecto ferrocarril Puntarenas-Alajuela. Las conclusiones confirmaron la conveniencia, oportunidad y urgencia de imponer el sistema BIM en toda la Administración y, por ende, en el INCOFER. R.D.G.V.

IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGIA BIM; PROPUESTA DE APLICACIÓN EN INCOFER; TREN PUNTARENAS-ALAJUELA.

Ing. Erick Mata Abdelnour, PhD.

Escuela de Ingeniería Civil

Capítulo 1. Introducción

1.1. Justificación

1.1.1. El problema específico

El desarrollo de obra pública en Costa Rica presenta décadas de rezago, por lo que se requiere una inversión elevada para cumplir con los requerimientos y mermar los efectos negativos que se producen por la falta de infraestructura (Villalobos, 2017). El sistema ferroviario no es la excepción; en el año 1995, se ordenó el cierre del Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER) por el entonces presidente José María Figueres Olsen. Al suspender las labores de la institución, todo el sistema ferroviario quedó sin un responsable, lo que ocasionó no solo un estancamiento, sino un deterioro en toda su infraestructura, incluidas las vías y los trenes que lo conformaban (Madrigal, 2015).

Como agravante para el sistema ferroviario nacional, se presentan atrasos en los proyectos, por lo que se dificulta su ejecución y se elevan sus costos. La demora que se presenta en la obra pública se podría atribuir a problemas de planificación y gestión de las instituciones, junto a trámites propios de los modelos de licitación, como apelaciones, extensiones, modificaciones, financiamiento o la obtención de permisos (Jiménez, 2018). Con esto se llega a pensar que la mejor manera de solventar los problemas en obra pública de Costa Rica es modificando la forma en que se desarrollan estos proyectos.

Al avanzar la tecnología, se generan nuevas herramientas que permiten agilizar el proceso, optimizando los recursos con los que se cuenta. En este sentido, la metodología BIM tiene mucho que aportar; el *Building Information Modelling* (BIM, por sus siglas en inglés) se trata de modelar, en un solo lugar, toda la información referente a un proyecto. En esta metodología se integran todas las áreas de trabajo en una sola plataforma, lo que permite una comunicación más fluida y un mejor control. Cabe resaltar que esta metodología va más allá de las fases de diseño, abarcando también las fases de ejecución, operación y desconstrucción de toda la obra (Cámara Costarricense de la Construcción, 2018a).

A nivel internacional, se ha producido el cambio hacia la implementación de esta metodología dentro de la ejecución de obra pública; países como Argentina, Uruguay, Bolivia, Colombia y especialmente Chile han sido pioneros de la región en esta nueva tecnología. En esta línea, el Gobierno de Costa Rica ha identificado los posibles beneficios de implementar el BIM dentro

de la estructura gubernamental; por ello, se estableció la Comisión Interinstitucional (CII-BIM) formada por jerarcas de diversas instituciones y ministerios de Costa Rica, la cual presentó en febrero de 2020 la Estrategia Nacional BIM Costa Rica (EN-BIM). El objetivo de esta estrategia es implementar dentro del sector público una herramienta que el sector privado ha venido desarrollando años atrás y, de esta manera, lograr una reducción de costos y plazos para la ejecución de las obras.

La propuesta de este trabajo es colaborar con el avance de la obra pública en Costa Rica, mediante la definición del procedimiento para incorporar la metodología BIM dentro de un proyecto perteneciente al INCOFER. Se pretende establecer un precedente para que la institución avance hacia la adopción de esta metodología dentro de todos los proyectos que ejecute y se acople a la nueva visión de obra pública que el país anhela.

1.1.2. Importancia

La meta principal de este proyecto es presentar una herramienta de valor que permita dar el siguiente paso dentro de la administración de proyectos en obra pública. Para iniciar con esta labor se esclarecerá en qué consiste la metodología BIM, los factores que involucra y las herramientas que utiliza. Al centrarse en la implementación de esta técnica dentro de una institución en particular, se establecen las bases para la metodología; con el proyecto específico se puede profundizar y detallar los procedimientos a seguir.

En el desarrollo del estudio, se señalaron y explicaron los potenciales beneficios que conlleva la implementación de esta metodología dentro de la ejecución de obra pública. Dentro de la EN-BIM (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2020) se destacan los siguientes aportes para el país:

- Reactivación económica
- Disminución de modificaciones contractuales
- Reducción de tiempo y costos en la ejecución de proyectos de infraestructura
- Mejor control de activos
- Cumplimiento de planes de mantenimiento
- Mejor comunicación entre los equipos de trabajo y trazabilidad de información
- Seguimiento de pasos para expropiaciones
- Disminución de la huella de carbono nacional
- Reducción del uso de papel
- Aumentar la transparencia y trazabilidad en la ejecución de proyectos

Estos beneficios son posibles, ya que toda la información se compila dentro de un solo modelo, al cual todos los involucrados puedan acceder y comprender (BIM Construction, 2017). Gracias a esta forma de concentrar la información, se reduce la incertidumbre y fuentes de error dentro de los proyectos al permitir una comunicación más fluida entre todos los actores, con lo que se pueden identificar y solventar conflictos de diseño en etapas tempranas del proyecto. Aunado a esto, al tener todos los datos actualizados y en un solo sitio, se genera mayor transparencia y trazabilidad de la información, lo cual es muy valioso al desarrollar obras financiadas con recursos públicos.

En los años ochenta y noventa, se produjo una revolución dentro del sector de la manufactura que permitió una mejora en el índice de productividad y calidad de los productos; de manera análoga, la metodología BIM le permite al sector público realizar una revolución de procesos a nivel nacional, implementando cambios que están pendientes desde hace dos décadas. Al realizar esta incorporación al mundo digital, es posible el control y la gestión de la gran cantidad de información que se genera dentro de los proyectos (EUBIM Taskgroup, 2018).

Es conocido que todo cambio duradero y sostenible comprende una tarea difícil, en la que se deben adaptar estructuras internas de cada organización. Para cumplir esta tarea se cuenta con varias estrategias, en las que al realizar cambios resulta importante evaluarlos, comunicarlos, considerar las implicaciones legales y medir el nivel de madurez de BIM alcanzado (Cámara Costarricense de la Construcción, 2018b). Por estas razones, cobra importancia desarrollar un proyecto piloto siguiendo la metodología BIM dentro de una institución, pues permite evaluar los resultados obtenidos en comparación con proyectos similares realizados con el procedimiento usado hasta el momento.

Al desarrollar los proyectos gubernamentales dentro de esta nueva forma de trabajo, se genera un ambiente de confianza y solidez para la implementación de la metodología en todo el mercado. Dentro de ese escenario, se motiva la inversión por parte de la empresa privada, ya que brinda a los diferentes involucrados con el sector construcción la oportunidad de obtener una mayor competitividad dentro del mercado.

Para finalizar, esta iniciativa propone un plan de trabajo dentro de la estructura y un proyecto particular del INCOFER. Se pretende que sea la base inicial que genere la correcta implementación de la metodología BIM en las labores de esta institución pública y que, a su

vez, sea un claro ejemplo del trabajo a realizar en otras instituciones y los beneficios que conlleva.

1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema

En el ámbito internacional, se ha presentado gran interés por la implementación de la metodología BIM dentro del área de la construcción. Con esta primicia, se inició una investigación dentro de veintidós países europeos, entre los que destacan fuertes economías como Reino Unido, Francia, España, Alemania, Finlandia e Italia. Estos países formaron el Grupo de Trabajo sobre BIM de la UE, el cual presentó en 2018 el *Manual para la implementación de la metodología BIM por parte del sector público europeo* (EUBIM Taskgroup, 2018). Con este documento apuestan por la implementación de esta "revolución digital" dentro del sector construcción para ahorro de costos, mejora de productividad y eficiencia de las operaciones. Los desarrolladores de este manual están convencidos de que el sector público es quien debe establecer el punto de partida para el uso del BIM dentro de la construcción, por lo que brindan información para lograr ese primer acercamiento.

De manera similar, en países asiáticos como Rusia, el Gobierno decidió incursionar en esta metodología, donde definieron veinticinco proyectos públicos para utilizar como plan piloto (ACCA software S.p.A., 2019b). De manera contrastante, en China han avanzado con la implementación de esta metodología por iniciativa privada, donde el Gobierno no ha emitido directrices ni reglamentos referentes a la materia.

Dentro del continente americano se estudia el caso de Estados Unidos, pues, a pesar de ser el país donde nace el BIM, presenta un gran atraso en su implantación. Este atraso se atribuye a la falta de coordinación entre los diferentes estados y el Gobierno federal. En Canadá se ha experimentado un avance en el uso de BIM por iniciativa privada, donde se nota una falta de políticas públicas de implementación, reduciendo la participación estatal a promover muy pocos proyectos aislados sin una estructura definida. De la experiencia norteamericana se extrae la importancia de la estandarización y la colaboración para lograr una buena implementación (ACCA software S.p.A., 2019a).

En la región latinoamericana, esta metodología ha venido desarrollándose principalmente en países como Chile, Argentina, Perú, Venezuela, Ecuador, Colombia, México y Costa Rica. Dentro de estos, Chile ha obtenido los mejores resultados, pues ha logrado aplicar la metodología de manera muy rápida y efectiva principalmente en el sector público. En este país se evidencia cómo el sector público con el programa "Construye 2025" promueve la inversión de la empresa privada para adoptar el sistema (ACCA software S.p.A., 2020).

El caso de Costa Rica es particular, ya que son los propios consumidores quienes han solicitado la implementación del BIM, donde los esfuerzos estatales hasta el año 2018 habían sido casi nulos. Por esta razón, el sector privado ha ido cambiando su modelo de producción, despertando el interés del sector construcción para implementarlo. Uno de los primeros esfuerzos coordinados por una institución es la creación del "BIM Fórum Costa Rica", desarrollado por la Cámara Costarricense de Construcción (CCC); el foro pretende promover la implementación de los procesos BIM en la industria de la construcción, mediante la canalización de información y creación de documentos para aclarar dudas y aportar al conocimiento público (Cámara Costarricense de la Construcción, 2018a).

Recientemente, en el año 2019, el Gobierno costarricense presentó una Comisión Interinstitucional (CII-BIM) con el objetivo de dirigir los esfuerzos estatales para el desarrollo de las herramientas BIM dentro del sector público (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2020). De esta manera, se establece en febrero de 2020 la Estrategia Nacional BIM Costa Rica (EN-BIM), la cual brinda los objetivos a nivel país e involucra dentro del proceso a diversas instituciones públicas, privadas y académicas (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2020). Más recientemente, en febrero de 2022, se presenta la Hoja de Ruta para la Adopción de BIM en Costa Rica, en la que por primera vez se definen plazos y tareas a realizar en cinco pilares de trabajo; con esta publicación se traza una ruta nacional para la implementación (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2020).

Referente al área de investigación y academia, dentro de la Escuela de Ingeniería Civil (EIC) de la Universidad de Costa Rica (UCR), se han desarrollado varios trabajos referentes al tema. Un primer acercamiento se desarrolló en torno a detectar conflictos dentro del proceso constructivo de una edificación, generando un modelo de la estructura en la etapa de diseño (Vargas, 2015). En otra investigación, se analizó la utilidad del BIM para cuantificar los materiales requeridos para un proyecto con base en un modelo 3D, lo cual demostró diferencias menores al 3.5% respecto a los elementos colocados (González, 2015). Más adelante, se realizó un trabajo en el que se evaluó la aplicación del BIM como herramienta para mejorar la constructibilidad y el planeamiento de un proyecto en Costa Rica (Chonkan, 2016). Recientemente, se desarrolló una investigación con el fin de establecer el plan para generar un modelo de costos (5D del BIM) para un proyecto específico; se compararon los resultados que generó la nueva metodología con los obtenidos tras la metodología tradicional; se estableció que, efectivamente, el BIM presenta una ventaja en cuanto a tiempo y precisión de costos frente a las técnicas tradicionales (Campos, 2019). Para finalizar, se presentó una propuesta para implementar la metodología BIM en los proyectos de obra pública de Costa Rica, en donde

se propuso una matriz de madurez que se adaptará mejor a la realidad del país (Carmona, 2019).

Otra fuente de investigación y generación de conocimiento se encuentra en trabajos desarrollados dentro de la Escuela de Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). En un trabajo de graduación se presentó un plan para la implementación del BIM dentro de la empresa Constructora Costarricense S.A. (COCOSA). Este trabajo tomó como base la estructura organizacional propia de la empresa y su situación a nivel nacional para incorporarla dentro de las herramientas que ofrece el BIM. Se rescata que el autor logró establecer un costo estimado para la implementación de la nueva metodología, el cual no representó un costo desproporcionado en comparación con los posibles beneficios (Rodríguez, 2019). Por último, se completó un proyecto similar para la implementación BIM dentro de la empresa constructora Estructuras S.A. Durante el desarrollo de la estudio, se trabajó de manera cercana con los representantes de la empresa para detallar los procesos tradicionales y los objetivos que buscaban con la implementación. Se logró establecer una propuesta que, de manera gradual, permitió la incorporación de la metodología dentro de las diferentes operaciones de la empresa, donde se detallaron los requisitos tecnológicos y de capacitación propios de la interesada. Se concluyó que la compañía logró obtener una ventaja sobre la competencia gracias a la nueva implementación (Vásquez, 2020).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Recomendar un procedimiento para la incorporación de la metodología BIM en INCOFER a nivel de la organización y de forma preliminar en el proyecto "Reconstrucción de la vía y restablecimiento del servicio ferroviario entre Puntarenas y Alajuela".

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Especificar el procedimiento actualmente utilizado para desarrollar un proyecto dentro de INCOFER.
- b) Describir la situación actual de implementación de la metodología BIM dentro de INCOFER.
- c) Elaborar una guía que establezca un plan de implementación de la metodología BIM de acuerdo con los procedimientos y el nivel de implementación actuales en la institución.
- d) Validar el plan propuesto con profesionales que utilizan la metodología BIM y están involucrados en el ámbito del sector transporte.

1.3. Marco teórico e hipótesis

1.3.1. Marco teórico

Conceptos generales

En los últimos años, la población general percibe que la obra pública en Costa Rica se encuentra rezagada y su implementación es deficiente. Por lo tanto, se requiere una inversión elevada para cumplir con los requerimientos y mermar los efectos negativos que se producen por la falta de infraestructura (Villalobos, 2017).

El sistema ferroviario no es la excepción; en el año 1995 se ordenó el cierre del Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER) por el entonces presidente José María Figueres Olsen. Al suspender las labores de la institución, todo el sistema ferroviario quedó sin un responsable, ocasionando no solo un estancamiento, sino un deterioro de toda su infraestructura, incluyendo las vías y los trenes que lo conformaban (Madrigal, 2015).

Buscando cambiar la percepción negativa de los costarricenses y optimizar los recursos públicos, el BIM permite una mayor transparencia y mejorar la eficiencia de los proyectos de manera paralela con un incremento de calidad en las obras y una disminución del impacto ambiental que generan.

El trabajo se sustenta principalmente en los beneficios que se desprenden de implementar la metodología BIM dentro de la ejecución de proyectos. El BIM se puede definir como la incorporación de herramientas que permiten la preconstrucción virtual de un proyecto de construcción, mediante un modelo de información, representada en tres dimensiones, donde se incorpora la información de costos, plazos y operación del proyecto. Esta incorporación se define dentro de las siete dimensiones del BIM, las cuales se representan en la Figura 1-1.

Es importante observar que, como se extrae del Manual para la implementación en el sector público europeo (EUBIM Taskgroup, 2018), dentro de la metodología BIM es primordial establecer los procesos antes que los procedimientos. De acuerdo con Torres (2020), un proceso es una secuencia de tareas o eventos que se realizan para lograr un objetivo, por lo que, en torno a los procesos, se desarrollan las actividades de la organización. Por otro lado, un procedimiento es el método estructurado por pasos que se debe seguir en orden para cumplir una tarea. De esta manera, los procesos son dinámicos y se pueden administrar por diferentes personas, por lo que permiten incorporar grupos interdisciplinarios; los

procedimientos son estáticos y se deben implementar de acuerdo con el orden establecido. Es posible tener procesos sin procedimientos (definidos o redactados), pero todo procedimiento obedece a un proceso. Por esta razón, los procesos pueden perdurar en el tiempo, aunque se presenten cambios en las actividades; los procedimientos suelen ser válidos para condiciones y periodos establecidos, por lo que deben adaptarse o sustituirse a razón de cumplir el objetivo del proceso con el que se asocian.

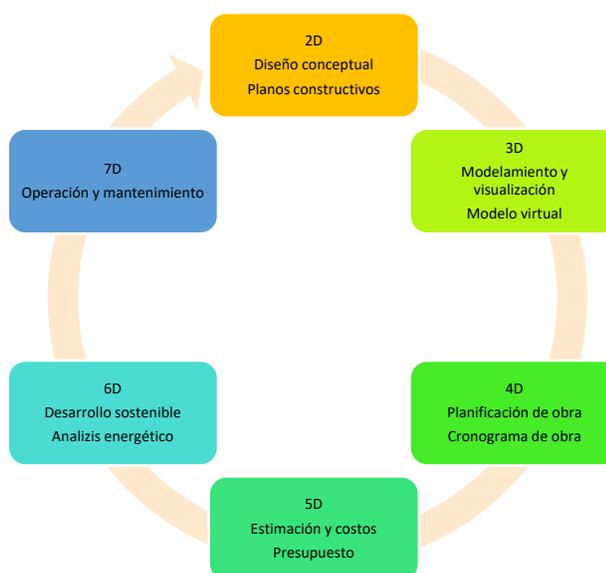


Figura 1-1. Dimensiones de la información dentro de la metodología BIM

La metodología BIM requiere una implementación dentro de todo el proceso de planificación y gestión de los proyectos de construcción, para permitir la colaboración más dinámica entre todas las partes participantes y poder utilizar herramientas que faciliten el control, manejo y mantenimiento de los proyectos. Este sistema permite superar los problemas de retrasos y sobrecostos causados por la mala interpretación u omisión. Por lo tanto, se ha estimado que al implementar la metodología se puede incrementar el periodo de planificación y diseño de los proyectos, pero esto se ve recompensado en una disminución de tiempo en la etapa constructiva, al reducir los conflictos en sitio y permitir una mejor organización de las tareas. Esto va de la mano con una reducción en los costos de producción, operación y mantenimiento de los proyectos.

A continuación, se listan las etapas de los proyectos y cómo se involucra la metodología BIM dentro de cada una:

1. Planificación

Dentro de esta etapa, se debe establecer el Plan de ejecución BIM, en el que se especifiquen los requerimientos de información acordes con el proyecto. Al incorporar la metodología BIM dentro de los estudios previos, como levantamientos topográficos e infraestructura existente, se logra un mejor almacenamiento de la información y facilita las labores de modelado.

Como resultado de esta etapa, se pueden identificar de manera más clara los diferentes actores involucrados y cómo se verán beneficiados.

2. Diseño

Al desarrollar esta fase, se utilizan modelos BIM que permiten concentrar la información de una manera más ordenada, completa y actualizada que lo que se puede lograr con la metodología tradicional. Se establece un sistema de comunicación más directo entre los diferentes actores del proyecto, lo cual agiliza la toma de decisión y permite la identificación temprana de conflictos de diseño. Utilizando *software* especializado, se puede desarrollar un plan de construcción más eficiente, que reduzca los lapsos de tiempo muerto y optimice el uso de materiales y mano de obra. En proyectos lineales, como en el caso de líneas de ferrocarril, se recomienda utilizar metodología de programación lineal. Con este método se obtienen beneficios como: un plan completo, precios fiables, mayor control sobre el proyecto, optimizar los recursos y aumentar la productividad (Tilos Americas, 2020).

3. Construcción

En esta etapa, se logra tener un mejor control del avance de obra y verificarlo con los planes de trabajo establecidos previamente; simplifica las labores de inspección y auditoría, al manejar una única base de datos actualizada en tiempo real que permite una trazabilidad de la información. Para la etapa de cierre de obra se agiliza la generación de planos *as built*, ya que las modificaciones realizadas se registran dentro de los modelos de información.

4. Operación y mantenimiento

Esta etapa suele ser dejada de lado dentro de los procesos normales de ejecución de proyectos. Con el BIM, es posible generar planes de operación, donde se almacene toda la información necesaria para la correcta operación de proyecto. Al contar con información que refleja de manera más precisa la realidad, se facilitan las labores de mantenimiento o incluso reparación que se deban realizar durante el funcionamiento de la obra.

Para la correcta aplicación de la metodología BIM es crucial contar con la siguiente información:

- Información básica del proyecto
- Objetivos buscados con la implementación del BIM
- Asignación de roles y actividades a desarrollar
- Formato para el manejo de la información
- Organización de los involucrados
- Herramientas a utilizar

5. Establecer correctamente los roles de los diferentes actores de los proyectos.

Dentro de este perfil se deben establecer las actividades que deben desarrollar, las capacidades con que debe contar y las herramientas que se disponen. Una de las herramientas con mayor peso para la implementación BIM es el *software* que se utilizará dentro del desarrollo del proyecto; al existir una amplia oferta de estos servicios, es necesario realizar una elección acorde con los objetivos planteados y los requisitos del tipo de proyecto.

Definiciones y términos utilizados dentro de la metodología BIM

Dentro del Estándar BIM para proyectos públicos (Soto, Manríquez y Godoy, 2019) del Planbim de Chile, se brinda una serie de términos y definiciones relacionados con la metodología BIM. En el Cuadro 1-1 se extraen algunos de los términos más relevantes para facilitar el entendimiento de esta investigación por parte del lector. Además, se presentan definiciones que se basan en las normas ISO19650-1 (INTECO, 2020) e ISO19650-2 (INTECO, 2020b).

Cuadro 1-1. *Términos y definiciones en la metodología BIM*

Termino	Definición
Activo	Edificación o infraestructura al momento de concluir su construcción (al realizarse la entrega del proyecto)
Actor	Individuo u organización que se involucra en uno o más procesos durante el ciclo de vida de un proyecto
As-built	Registro documental de la construcción final de un proyecto, incluyendo los cambios ocurridos durante las etapas de construcción
Ciclo de vida	El conjunto de etapas para el desarrollo de un proyecto, iniciando con la conceptualización hasta la etapa de desconstrucción
Cliente	Actor, responsable de dar inicio a un proyecto y aprobar sus instrucciones
COBie	<i>Construction Operations Buildings information exchange</i> . Estándar internacional que define lineamientos para el intercambio de información en un proyecto
CDE	Entorno común de datos, como único espacio para el almacenamiento, gestión y difusión de documentos y modelos del proyecto, que contiene un sistema de gestión documental

Fuente: Soto, Manríquez y Godoy (2019), INTECO (2020a), modificado por el autor.

Cuadro (cont.) 1-1. *Términos y definiciones en la metodología BIM*

Termino	Definición
Entregable BIM	Todo documento e información necesario para desarrollar modelos. Adicionalmente, es todo producto generado con los flujos de trabajo BIM
EAIM	<i>Estado de Avance de la Información de los Modelos.</i> Es el nivel de información en los modelos de acuerdo al progreso de avance del proyecto, delimitando el Nivel de Información de los entregables
GIS	<i>Sistema de Información Geográfica</i> (por sus siglas en inglés). Recopila, gestiona y analiza datos de ubicación espacial y organiza la información en modelos 3D.
IFC	<i>Industry Foundation Class.</i> Formato de archivos abierto y neutral desarrollado por buildingSMART que permite el intercambio de archivos entre la mayoría de soluciones de software
Interoperabilidad	Capacidad de una herramienta para trabajar en relación con otras herramientas o productos
Modelo BIM	Modelo virtual en tres dimensiones que contiene información, creado por un actor mediante una herramienta de modelado BIM
NDI	Grado de detalle o profundidad que tiene la información gráfica y no gráfica contenida en modelos BIM, según el estado de Avance de la Información que requiera el Modelo que le contiene
OIR	<i>Requisitos de Información de la Organización.</i> Es la información que necesita la Organización para cumplir con sus requerimientos internos o externos y cumplir con sus objetivos institucionales
PEB	<i>Plan de Ejecución BIM.</i> Documento desarrollado por un Proveedor en que se define los aspectos de modelado y gestión de la información de un proyecto
PIR	<i>Requisitos de Información del Proyecto.</i> Es la información que debe ser entregada para cumplir con los objetivos de un proyecto
Proveedor	Actor, que entrega información referente a trabajos, bienes o servicios En proyecto se suele nombrar Oferente durante la etapa de ofertas y Adjudicado al momento que se le designe como desarrollador del proyecto
Proyecto	Edificación o infraestructura que se encuentra en alguna de las etapas anteriores a la entrega
Rol BIM	Función desarrollada por un Actor en alguna de las etapas de los proyectos
Solicitante	Actor, recibe la información por parte del proveedor Puede ser a su vez el cliente o actuar en nombre del cliente
SDI	<i>Solicitud de Información BIM.</i> Documento que define por qué y para qué se utiliza la metodología BIM dentro de un proyecto
TDI	<i>Tipo de información.</i> Grupo de datos que pueden estar contenidos en un modelo Usualmente se clasifica como información gráfica o no gráfica

Uso BIM	Método de aplicación de la metodología BIM durante el ciclo de vida de un proyecto, que busca alcanzar uno o más objetivos
---------	--

Fuente: Soto, Manríquez y Godoy (2019), INTECO (2020a), modificado por el autor.

Modelo de Madurez de BIM

Con el objetivo de realizar la implementación BIM, se debe seguir una serie de pasos acordes con una estructura que varía según cada empresa o institución. Es importante señalar que utilizar el BIM implica un proceso continuo y progresivo de mejora; es decir, no se realiza en un solo momento de manera instantánea y absoluta.

Se entiende como "Implementación BIM" al grupo de actividades que una empresa u organización realiza para preparar, desplegar o mejorar sus entregarles BIM (productos) y los denominados proceso o flujos de trabajo relacionados (BIME Initiative, 2022); acorde con esta definición, el proceso de implementación está conformado por tres etapas, a saber: Preparación BIM, Capacidad BIM y Madurez BIM.

De una manera breve, se pueden definir estas etapas como:

- Preparación BIM: precede al punto de adopción (momento en el que se aplica la metodología para tener resultados) y se refiere a la capacidad con que cuenta la organización para incorporar herramientas, flujos de trabajo y protocolos.
- Capacidad BIM: representa la habilidad mínima de una organización para entregar resultados BIM medibles y consistentes. Es la aplicación de las herramientas, flujos de trabajo y políticas; esta capacidad se logra y se mide a través de etapas de evolución bien definidas.
- Madurez BIM: es la mejora continua y gradual de la calidad, repetitividad y predictibilidad de los resultados con la capacidad disponible. Se expresa en términos de Niveles de Madurez BIM, que se pueden definir como hitos a los que aspira un equipo, una organización o todo un mercado.

Tal como lo presenta Rodríguez (2020), la Madurez BIM refiere a un entorno para medir las capacidades que tiene una organización para presentar resultados de calidad, consistentes y medibles al aplicar la metodología dentro de un proyecto; se valoran diversos elementos que se pueden agrupar de la siguiente manera:

- Personal: se deben identificar los diferentes actores y los roles que cumplen dentro del proceso que se realizará.
- Procesos: se evalúan los procesos a utilizar, verificando que se encuentren definidos y documentados junto con su relación con otros procesos a utilizar.
- Tecnología: se enlistan y evalúan las herramientas de *hardware*, *software* y acceso a la información con que se cuenta para desarrollar el proceso, tanto a nivel interno de la organización como de conexión con otros actores.

- Estándares: valora los estándares que se aplican al proyecto que se va a desarrollar, los requisitos para su cumplimiento y si presentan alguna variación en cuanto a la aplicación de la metodología BIM.
- Organización: evaluar la concordancia entre la visión y misión de la organización con la visión y organización BIM.

Previo a realizar una implementación BIM, es importante evaluar las condiciones, herramientas y procesos con que se cuenta y así estimar el trabajo que se debe realizar. Actualmente, se han planteado diversas herramientas para categorizar y medir los diferentes elementos, a fin de determinar un nivel de madurez para la organización o un proyecto específico. El modelo británico permite, de una manera ágil y relativamente sencilla, definir el nivel de madurez en que se encuentra la organización; se presenta de manera gráfica el esquema en la Figura 1-2, en el que se pueden identificar rápidamente los requisitos y los hitos para el cumplimiento de cada nivel.

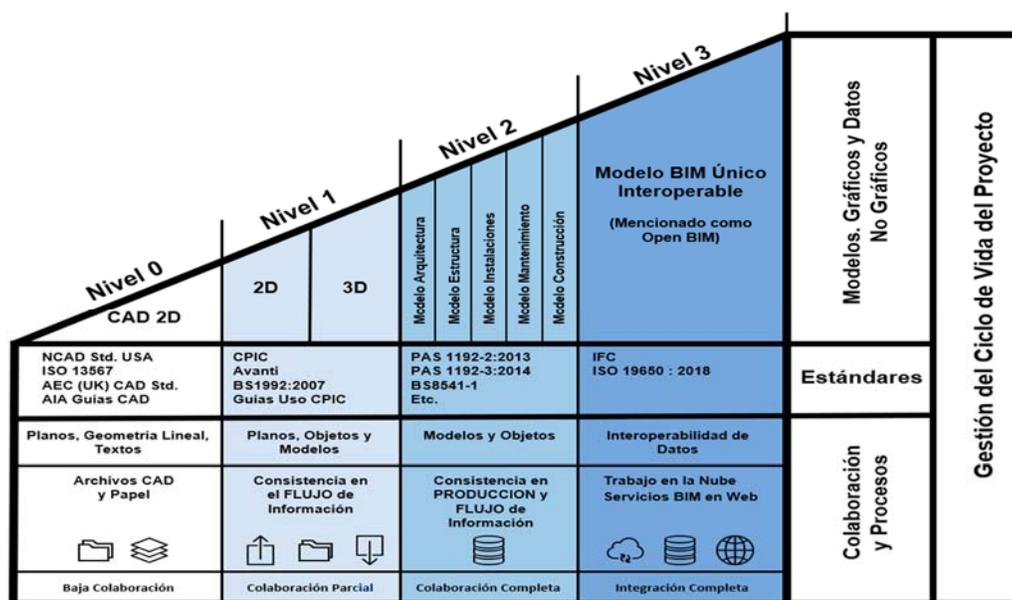


Figura 1-2. Modelo de Madurez BIM británico
Fuente: Rodríguez (2020)

El modelo fue propuesto por Mark Bew y Mervyn Richards en el año 2008 y fue adoptado por el Gobierno británico para su aplicación en los proyectos estatales a partir del 2011 (Rodríguez, 2020). Se basa en tres aspectos aplicados en todo el ciclo de vida de los proyectos: formato de la información, estándares aplicados y los procesos y alcances de colaboración entre los colaboradores.

En la parte triangular de la Figura 1-2, se observa que, en cuanto al formato de la información, considera lo gráfico y lo documental (no gráfico) y cómo se relaciona entre sí. Debajo de esto, señala los estándares internacionales que se han desarrollado para regular el contenido, formato y conceptos utilizados para cada entregable. Continúa la siguiente fila, donde señala los procesos y productos que se generan según el nivel en que se encuentre. Por último, la base de la pirámide señala el nivel de colaboración esperado, según los datos obtenidos en cada nivel.

El modelo propone cuatro niveles de madurez iniciando con el Nivel 0, el cual representa el menor grado de implementación, hasta el Nivel 3 que actualmente representa la mayor adopción de la metodología en una organización. La NBS (compañía especializada en conectividad para equipos de trabajo relacionados con el sector construcción) presenta en su página electrónica cada uno de los niveles (McPartland, 2014), sus principales características y los hitos necesarios para completarlos.

- Nivel 0. Es el nivel más básico, en donde no hay colaboración entre los participantes del proceso. Se utilizan planos de Dibujo Asistido por Computadora (CAD, por sus siglas en inglés) en 2D para su impresión en papel o formatos de impresión electrónica. Se cuenta con algunas normativas estadounidenses y británicas para el dibujo en 2D, pero no son de uso frecuente dentro de la industria latinoamericana (Rodríguez, 2020).
- Nivel 1. En este punto se trabaja con una combinación del CAD 2D y 3D, donde para la etapa de diseño se utiliza un modelo, pero toda la parte de tramitología y presentación del producto se realiza en formatos de papel o impresión electrónica. Debe cumplirse con una serie de normas para garantizar un mínimo de calidad de los modelos y planos; la información se intercambia dentro de un Entorno Común de Datos (CDE) (United-BIM, s.f.). A este nivel, la colaboración es nula o muy baja, al punto de que cada participante crea y administra su propia información, con intercambios de información poco significativos.
- Nivel 2. Se utilizan diversos modelos en función de las especialidades y equipos de trabajo y toda la información se modela en un *software* orientado a BIM. Toda información debe poder exportarse a alguno de los formatos comunes como IFC (*Industry Foundation Class*) o el CoBie (*Construction Operations Building Information Exchange*) (Rodríguez, 2020). El intercambio de información se da bajo un formato y condiciones específicos, que coordine los sistemas y colaboradores (llamados así a partir de este punto) para garantizar un flujo adecuado y trazable de la información. Este es el nivel que actualmente solicita el Gobierno de Reino Unido para todo proyecto en el sector público.
- Nivel 3. A este nivel se le denomina *Open BIM*, ya que a pesar de que no ha sido definido completamente, se orienta a que sea un proceso de generación de estrategias gubernamentales e internacionales para el manejo de la información.

Se propone el establecimiento de marcos legales para los contratos de proyectos que se desarrollen con la metodología BIM y la creación de un espacio cultural cooperativo para promover el aprendizaje y difusión de la metodología. Pretende el uso e intercambio de información a través de plataformas digitales que brinden acceso permanente a los usuarios.

Solicitud de Información BIM

Dentro de esta investigación, se interpreta la *Solicitud de Información BIM* (SDI) como un documento en que se define cuál es la razón y cuál es el fin de utilizar la metodología BIM en un proyecto específico. Debe ser preparado por el solicitante para ser entregado a los proveedores externos o internos. En el documento, se presenta, de manera formal y explícita, la manera en que se manejarán los entregables y la información que los conforma. Es importante señalar que la norma ISO/INTE 19650-1, en su sección 5, recomienda que primero se definan los OIR de la institución para que el SDI sea acorde con estos objetivos.

Dentro de la función pública, la SDI se prepara por la institución, como un documento complementario a los carteles de licitación de obras. Este documento se brinda a los oferentes como parte de los procesos para licitación y es de cumplimiento obligatorio en caso de otorgarse el proyecto.

La Guía para la elaboración de una solicitud de información BIM (Comisión de Documentación BIM Forum Costa Rica, 2020) propone una serie de requerimientos de la información que deben ser incorporados en la SDI. Utilizando esta guía como base, se presenta en el Cuadro 1-2 una estructura compuesta por nueve pasos secuenciales, que representan unos requerimientos mínimos que debe definir el solicitante.

Cuadro 1-2. *Requerimientos mínimos a definir en SDI*

Aspecto	A definir
1. Objetivos (PIR)	Se refiere a los objetivos que se establecen si se utiliza la metodología BIM dentro del proyecto específicamente. El objetivo general debe ser acorde con los OIR. Los objetivos específicos se asocian con los entregables.
2. Modelos BIM	Indicar cuáles disciplinas se van a modelar, y el Nivel de desarrollo asociado de los elementos en cada modelo para los diferentes Estados de avance.

Fuente: Soto, Manríquez y Godoy (2019), INTECO (2020a), modificado por el autor.

Cuadro (cont.) 1-2. *Requerimientos mínimos a definir en SDI*

Aspecto	A definir
3. Información relacionada	Se debe definir el formato para el intercambio de toda la información, incluyendo modelos, informes, cronogramas, entre otros.
4. Estado de la información	Definir cada uno de los entregables del proyecto y para sus elementos el Estado de avance respecto al Nivel de desarrollo de la información.
5. Usos BIM	<p>Formas de aplicación de la metodología (mediante modelos e información) para lograr los PIR.</p> <p>Se debe determinar cuáles son pertinentes al proyecto de entre una lista de 25 usos diferentes, distribuidos en las etapas de planificación, diseño, construcción y operación.</p>
6. Categorías de la información	<p>Apartados que permiten agrupar la información de acuerdo con la forma en que se utiliza.</p> <p>La guía propone una clasificación con 15 apartados; queda a criterio del solicitante elegir las categorías mínimas a ser incluidas, junto con las aclaraciones de criterio para asignación.</p>
7. Nivel de desarrollo	<p>Se recomienda utilizar la norma <i>Level of Development Specification</i> (LOD), del BIM Fórum Estados Unidos.</p> <p>Se debe definir el LOD para cada categoría de elementos que serán modelados, en función de los Usos BIM que requiere el proyecto y la etapa en que se encuentra.</p>
8. Estrategia de colaboración	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer el Entorno Común de Datos para el proyecto y el estado de la información contenida. • Definir si los modelos se consolidaran mediante: Modelo BIM federado: Información en archivos separados. Modelo BIM integrado: Información contenida en una única base de datos. • Objetivo, participantes y frecuencia de las reuniones de coordinación del proyecto.
9. Organización de los modelos BIM	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuración: proponer unidades a utilizar, coordinadas y subdivisión de modelos. • Nomenclaturas: modelo estándar a ser aplicado en todos los contenedores de información (archivos y carpetas). • Sistemas de clasificación: preferiblemente constante a lo largo de todo el proyecto. Se recomienda utilizar el MasterFormat, Unifomat, Uniclass o OmniClass.

Fuente: Soto, Manríquez y Godoy (2019), INTECO (2020a), modificado por el autor.

En el Apéndice 1 se presenta un mapa conceptual de esta estructura. Se incluyen algunas de las tablas que brinda la Guía SDI-BIM para comprender mejor la relación entre los diferentes requerimientos.

Modelo teórico para el desarrollo de hojas de ruta

Para la propuesta de implementación de la metodología BIM dentro del INCOFER, se eligió utilizar el modelo para la elaboración de hoja de ruta propuesto por Mauricio Carmona Zúñiga, en su trabajo para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil (2019).

El modelo utiliza tres bases teóricas diferentes:

- El Punto de Adopción: se utilizó para realizar un diagnóstico de la situación en que se encontraba Costa Rica en términos de implementación de la metodología BIM. Para utilizar esta herramienta se perfiló al país como una sola organización de gran tamaño.
- Los Componentes de Macro-Madurez: con estos ocho componentes se complementó el análisis del nivel de madurez a un nivel país. Pretende definir las capacidades y herramientas que se deben desarrollar para realizar las actividades.
- El Planbim Chile: la hoja de ruta utilizada por Chile es la primera estrategia formal que se implementó en América Latina y representa un referente a nivel regional. Ha tenido gran éxito para la implementación en su país y se ha mejorado a partir de las experiencias obtenidas durante sus primeros intentos de aplicación.

Como se profundiza más adelante, el Gobierno de Costa Rica ha establecido una alianza con la administración chilena para recibir acompañamiento en el proceso de implementación. Por lo tanto, de estas tres bases toma mayor valor dentro de esta investigación el utilizar una metodología que tiene como referente la estrategia desarrollada en Chile. De esta manera, puede contribuir a establecer acciones más acordes con la estrategia que se está proponiendo a nivel nacional.

Se observa en la Figura 1-3 cómo Carmona (2019) define el modelo considerando tres dimensiones simultáneas: los campos de impacto, las fases de implementación y las capacidades necesarias para desarrollar las herramientas y nuevos flujos de trabajo. El autor propone para el campo de impacto tres áreas en las que se deben ejecutar las actividades: Tecnologías, Procesos y Políticas. En el nivel de capacidad, se evalúan conocimientos, experiencia y recursos que se requieren para aplicar las actividades propuestas, estableciendo cuatro niveles de capacidad. De manera complementaria, en la fase de implementación, se

considera la secuencia lógica necesaria para plantear, desarrollar e implementar las diferentes actividades, estableciendo cuatro etapas para todo el proceso.

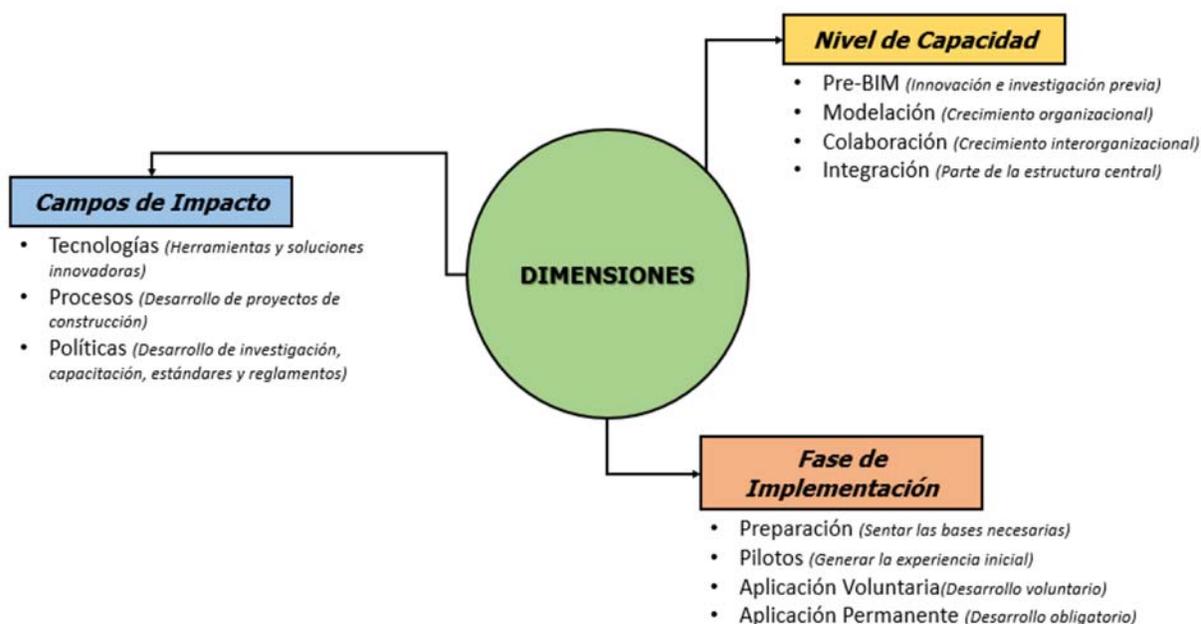


Figura 1-3. Dimensiones en las que se desarrollan las hojas de ruta

Fuente: Carmona (2019).

Por último, como valor agregado para elegir este modelo, se pretendió establecer una línea de trabajo al menos a nivel académico, donde se proponga una implementación de la metodología BIM a nivel nacional, que sea guiado por el sector público. En ese sentido, se deben establecer estrategias desde lo más alto de la estructura organizacional (Gobierno central) y de ahí seguir estableciendo estrategias particulares para las instituciones, hasta llegar al punto en que se logre una integración de todos los sectores. Así, se consideró acertado tomar un método desarrollado para un nivel de organización más general y aplicarlo en el siguiente nivel, el institucional; de esta manera, se pueden unificar los esfuerzos, optimizar los recursos y facilitar el proceso de adopción.

1.4. Delimitación del problema

1.4.1. Alcance

En este trabajo, se presentan los fundamentos de la metodología BIM dentro de los proyectos de construcción, para exponer el alcance dentro de un proyecto particular. La investigación se desarrolla en torno a proyectos de obra pública, específicamente dentro del Instituto Costarricense de Ferrocarriles.

Se describió el proceso que actualmente se utiliza dentro de INCOFER para el desarrollo de proyectos y se realizó un nuevo planteamiento de las actividades, utilizando las herramientas del BIM. Por esta razón, se trabajó con el proyecto "Reconstrucción de la vía y restablecimiento del servicio ferroviario entre Puntarenas y Alajuela", que se encuentra en etapa de prefactibilidad dentro del INCOFER. La implementación propuesta es validada mediante la revisión de expertos en la aplicación de la metodología BIM y personal propio del INCOFER.

1.4.2. Limitaciones

La principal limitante es la escasa investigación realizada respecto al tema específico de implementación de la metodología dentro de los proyectos de construcción de obra pública en Costa Rica. Se decide subsanar esta faltante mediante la investigación realizada en otras regiones como la Unión Europea, Chile y Argentina.

Dentro del nivel institucional, se presenta poco conocimiento sobre la metodología y falta de capacitación del personal que se involucra en los proyectos. Estos factores pueden contribuir a que se genere resistencia dentro de los participantes para asimilar las nuevas técnicas. Para evitar que esto interfiera con el desarrollo del trabajo, se buscó la asesoría de expertos en BIM, que facilitaron herramientas con el menor grado de complejidad posible; de igual manera, el plan presentado buscará la menor variación posible respecto a las actividades actuales.

Por último, el acceso a la información completa y de calidad siempre es una limitante. En trabajos de esta índole, se dificulta seleccionar la información adecuada de las diferentes fuentes y, al trabajar con instituciones que usualmente manejan los registros de manera física, se puede requerir de más tiempo para lograr el acceso. Para solventar estas dificultades se utilizaron criterios para validar cada fuente de información, como lo son: el origen, la fecha de desarrollo y si se trata de material de libre acceso o comercial, financiado por empresas que

busquen lucrar con ella. En cuanto a la documentación física, se solicitó el acceso a la entidad que los resguarda desde el inicio de la elaboración del trabajo.

1.5. Metodología

La metodología utilizada para la elaboración del proyecto propuesto fue de tipo descriptiva cualitativa y se muestra en la Figura 1-4. Para facilitar la lectura se adjuntó en formato completo en el Apéndice 2.

La investigación inició con la fase teórica, para la identificación y delimitación del problema. Se realizó una revisión bibliográfica para determinar los conceptos básicos que conforman la metodología BIM, definir qué es una matriz de madurez y establecer una propia para el caso de estudio. De esta manera, fue posible establecer los beneficios que presenta la metodología propuesta sobre las metodologías tradicionales. Junto a estos conceptos, se presentó lo relacionado con la matriz de madurez, la cual consiste en el conjunto de las áreas de proceso según lo identificado en el estudio previo y lo recopilado de experiencias internacionales. Dentro de la matriz se establecen los objetivos que se deben cumplir para alcanzar cada nivel de madurez.

Como parte de la investigación bibliográfica, se incluyó la descripción del proceso con que se desarrollan los proyectos dentro del INCOFER, listando las diferentes tareas que se realizan y los actores que deben realizarlas. Con esta información, se eligió una herramienta para identificar la madurez actual y la capacidad de implementación con que cuenta el INCOFER. Para poder evaluar los beneficios y riesgos de la implementación de la metodología dentro del proyecto del Tren al Pacífico se consideraron: las herramientas tecnológicas, el capital humano y el capital económico con que cuenta el Instituto actualmente.

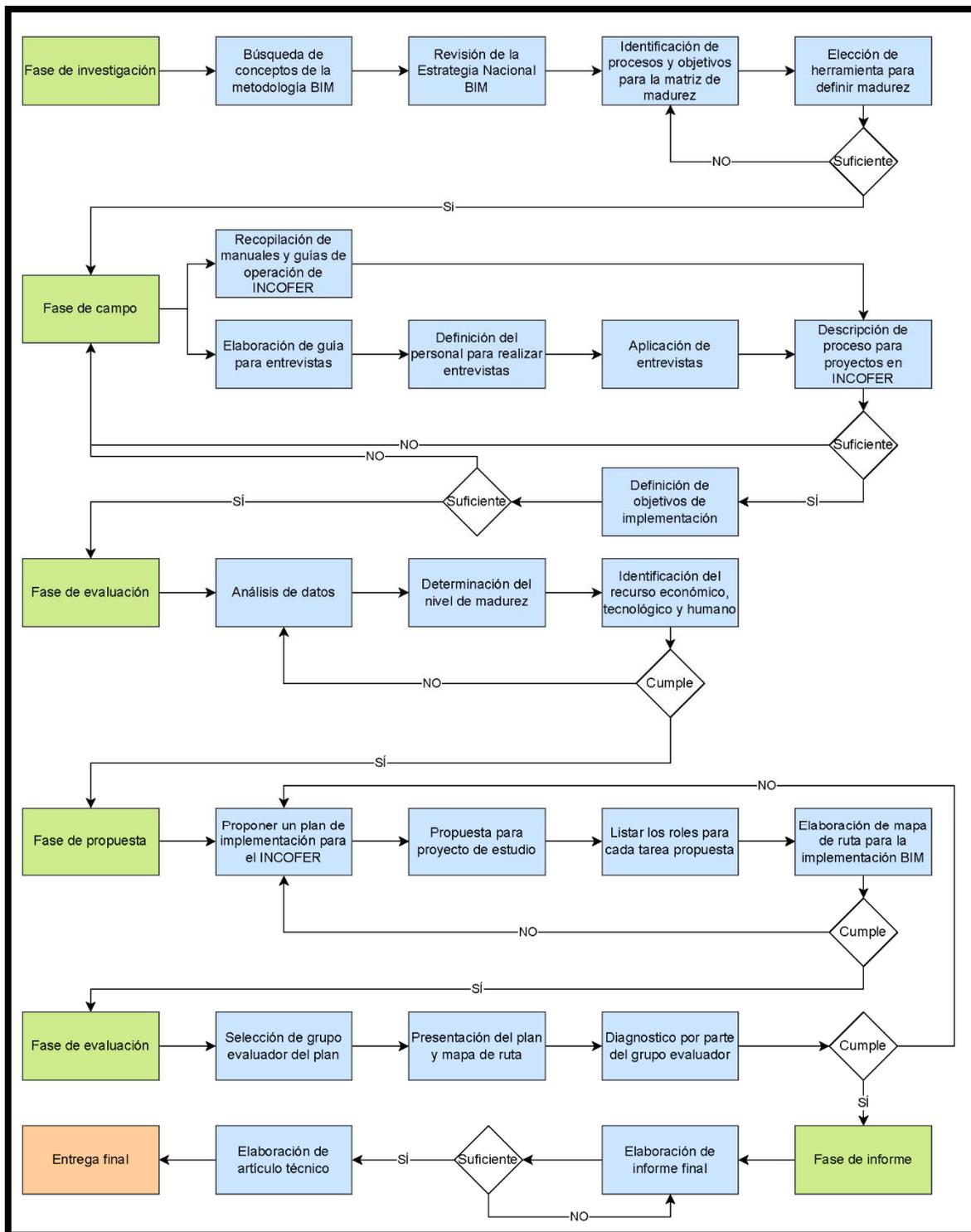


Figura 1-4. Esquema metodológico para la elaboración de una propuesta de implementación de la metodología BIM en el proyecto "Reconstrucción de la vía y restablecimiento del servicio ferroviario entre Puntarenas y Alajuela".

A continuación, se presenta la información encontrada sobre la planificación para la implementación del BIM dentro del sector público. El ente encargado para dirigir los esfuerzos gubernamentales y emitir las normativas en esta materia es el Ministerio de Planificación Nacional y Políticas Económicas (MIDEPLAN). Los avances que ha realizado hasta el momento se materializan en la Estrategia Nacional BIM de Costa Rica, donde se presentan los objetivos planeados con vista en la implantación dentro del sector público para el año 2024. Se procedió a realizar entrevista con el personal del INCOFER, para poder esclarecer el grado de madurez que busca la institución en materia de implementación BIM. En vista de la cantidad de personal y las tareas que desarrollan, se realizó la entrevista al personal técnico a cargo de los procesos del proyecto y quienes los supervisan.

Se definió una guía de preguntas para realizar las entrevistas, para lo cual fue necesario identificar y seleccionar una metodología de evaluación. Con base en los resultados de estas entrevistas, se logró establecer el grado de madurez de la organización y las capacidades de cada uno de los participantes.

Posteriormente, en la fase de evaluación, se analizaron los datos obtenidos en la parte de investigación y entrevistas. El análisis se basa en una serie de indicadores que se relacionan con los recursos económicos, tecnológicos y humano en busca de lograr los objetivos establecidos dentro de la escala de la matriz de madurez.

Durante la fase de propuesta, se estableció el plan de implementación de la metodología BIM para la estructura organizativa del INCOFER y una propuesta preliminar para el proyecto "Reconstrucción de la vía y restablecimiento del servicio ferroviario entre Puntarenas y Alajuela". Se incluyeron las actividades para generar las capacidades dentro del BIM, en busca de lograr el nivel de madurez que se desea dentro de la institución.

Para concluir, el plan de implementación propuesto fue sometido a un grupo evaluador, formado por profesionales con experiencia en el desarrollo de proyectos bajo la metodología BIM y funcionarios de la Gerencia de Operaciones del Sector Pacífico del INCOFER. A partir de los resultados y comentarios de esta evaluación, se presentaron puntos de posible mejora para que el plan cumpla con las expectativas. Finalmente, se elaboró el informe final del proyecto, donde se presenta el trabajo realizado y los resultados obtenidos.

Capítulo 2. Descripción del proceso actual utilizado dentro de INCOFER para la planificación, desarrollo y gestión de proyectos de infraestructura ferroviaria

2.1. Estado actual del uso de metodología BIM a nivel nacional

En las dos últimas décadas, el sector de la construcción ha crecido sostenidamente; sin embargo, según algunos autores, ha presentado una eficiencia muy inferior en relación con los otros mercados económicos. Se ha documentado que la manufactura es 260% más eficiente que el sector construcción, lo cual se ha atribuido en gran parte a la posibilidad de perfeccionar procesos e incorporar nuevas herramientas tecnológicas dentro del área (Soto, 2021).

Es necesario recalcar que esta comparación no representa realmente la eficiencia del sector, debido a que el área de la construcción desarrolla productos únicos, por lo que es difícil establecer procesos constantes y repetitivos que permitan realizar evaluaciones y mejoras con cada ciclo. Considerando este factor, y en procura de una mayor eficiencia de las labores, la construcción se encuentra en una "revolución industrial" (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2020), centrada en *software* y *hardware* para la asistencia de diseño y procesos que han llevado a leves mejoras de la productividad. De esta manera, la metodología del Modelado de Información de la Construcción (Metodología BIM) se presenta como herramienta que puede romper con el trabajo tradicional en el sector y promover el trabajo colaborativo para la generación de información en cada proyecto.

A nivel mundial, son cada vez más los países que observan los posibles beneficios de la metodología, por lo que se enrután a incorporarla dentro de su legislación y proyectos de obra pública; Costa Rica está dando sus primeros pasos en esta área. En febrero del 2019, se creó la Comisión interinstitucional para la implementación de la Metodología BIM (CII-BIM), con el fin de desarrollar acciones que promuevan la adecuada implementación de la metodología. Como tarea inicial, se designó la elaboración de una estrategia que alentara el desarrollo del sector construcción, mejorando los procesos de contratación pública y aumentando la transparencia gubernamental. Se designó al Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN) conjuntamente con el CII-BIM como los encargados de elaborar y supervisar los pasos que se requieren para que las instituciones públicas se trasladen a la metodología; es importante resaltar que se cuenta con el apoyo de Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos.

Iniciando con sus funciones, el MIDEPLAN presentó a inicios del año 2020 la *Estrategia Nacional BIM Costa Rica*, con el objetivo de incentivar el desarrollo del sector construcción a nivel nacional mediante la gestión de la infraestructura pública, utilizando las herramientas que brinda la metodología BIM. El documento expone el objetivo de realizar la implementación a nivel nacional y los beneficios esperados una vez completo el proceso. Además, establece siete acciones estratégicas para ser desarrolladas:

1. Planificación y coordinación: elaborar el Plan BIM Costa Rica, un documento de gobernanza e integrar comités de trabajo.
2. Capacidades asociadas: promover el desarrollo de capacidades asociadas a la metodología BIM en los distintos actores de los sectores público, académico y privado.
3. Factores habilitantes: infraestructura tecnológica, conectividad y capacidades para la innovación.
4. Monitoreo nivel de madurez: realizar un diagnóstico de línea base y medición de madurez periódica.
5. Creación de experiencia y elementos demostrativos.
6. Marco normativo: crear el estándar nacional BIM y otras normativas necesarias para introducir BIM en los carteles de contratación pública.
7. Comunicación y difusión: elaborar una estrategia de comunicación y diseminación de la metodología BIM en Costa Rica.

Las actividades y tareas propuestas dentro de esta investigación han sido planteadas en torno a las siete estrategias mencionadas, con el fin de establecer una línea de trabajo acorde con la realidad nacional. Se asumió que, a nivel nacional, se establecerán normativas y acciones orientadas especialmente a que las instituciones deban desarrollar flujos de trabajo dentro de la coordinación interinstitucional.

Recientemente, el MIDEPLAN, con la colaboración de la CII-BIM y el apoyo del BID, utilizó como base la Estrategia Nacional para desarrollar el proyecto de elaboración de una hoja de ruta para la adopción BIM en Costa Rica (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2020). El acompañamiento de las labores y el diseño de la hoja de ruta estuvo a cargo de un grupo de consultoría chileno llamado Penta Mac Gready.

En el documento, se estableció el desarrollo de un marco regulatorio que conduzca a la obligatoriedad del uso de la metodología BIM dentro de las instituciones públicas, basado en cinco pilares: gobernanza, normativo, capital humano, habilidades tecnológicas y promoción y demostración de beneficios. Para cada uno de los pilares se han establecido iniciativas a desarrollar en el corto, mediano y largo plazo, en referencia al año 2024. En su último apartado, se señala la urgencia de formalizar y fortalecer la gobernanza a cargo de la implementación

para cumplir con los plazos propuestos. No deja de lado la evidente escasez de recursos (no solamente económicos) que presenta el proyecto actualmente; se propone paliarla mediante el aporte de las instituciones involucradas y la colaboración de los sectores privado y académico.

Siguiendo esta idea, a nivel nacional se cuenta con el BIM Fórum Costa Rica. Se trata de un Comité Técnico de iniciativa privada impulsado por la Cámara Costarricense de la Construcción, que busca promover la implementación informada y paulatina de las herramientas que ofrece la metodología BIM. Se presenta como un medio para canalizar los diferentes esfuerzos, conocimientos, información y técnicas relacionadas con la metodología, agrupando a empresas, instituciones y profesionales relacionados con el área. En su premisa de difundir el conocimiento, han desarrollado manuales, guías y publicaciones técnicas, accesibles de manera gratuita, entre las que destaca por ejemplo la Guía para elaboración de una SDI y el Informe sobre pasos claves para empezar un proyecto piloto en BIM.

Según se denota en sus publicaciones, esta iniciativa ha sido posible sobre todo gracias a los esfuerzos de la empresa privada. Este sector, especialmente el área de la construcción, ha impulsado la implementación de la metodología, puesto que ha vislumbrado los beneficios que puede representar para el desarrollo del país. En la actualidad, estas empresas han dado un paso adelante en el proceso de la implementación, motivado por las exigencias de los mercados internacionales y la difusión de los beneficios ofrecidos con estas nuevas herramientas.

2.2. Descripción del proceso actual utilizado dentro de INCOFER para la planificación, desarrollo y gestión de proyectos de infraestructura ferroviaria

Al proponer un cambio dentro de la metodología utilizada en una institución, es indispensable un análisis de los procesos y flujos de trabajo que se siguen actualmente para el desarrollo de sus labores. Con este propósito, se involucró, mediante entrevista, a parte del personal que actualmente desarrolla los proyectos dentro del Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER) y se utilizó el Manual descriptivo de los procedimientos de la Gerencia de Operaciones del INCOFER (Coto y Elizondo, 2021).

Es importante recalcar que, de acuerdo con la metodología BIM, es primordial definir los procesos y así los procedimientos se generan posteriormente como herramienta para cumplir los objetivos de los procesos asociados (Torres, 2020). Como se expone en este capítulo, el Instituto ha trabajado en torno a objetivos generales (visión y misión institucional) utilizando

diferentes procedimientos que han sido recopilados en el manual mencionado. Estos procedimientos no se han definido dentro de la metodología BIM, pero al responder a objetivos fundamentales del INCOFER podrían ser adaptados, de manera que continúen siendo válidos.

Según se extrae del Plan Estratégico Institucional 2019-2023 (Instituto Costarricense de Ferrocarriles, 2018), el Instituto se encuentra en una transformación de su estructura funcional-operativa; actualmente, atiende sus operaciones con 53 funcionarios, por lo que la mayor parte de las labores de operación y mantenimiento son realizadas por sociedades tercerizadas. Según el organigrama, que se presenta de manera completa en el Anexo 1, el INCOFER es dirigido por la Presidencia Ejecutiva y su organización se divide en tres grandes niveles, a saber: Nivel Político; Nivel Gerencia / Dirección y Nivel Operativo. En este nivel se contabilizan trece departamentos a cargo de las áreas operativas y productivas del Instituto.

Del organigrama se extrae la estructura referente al desarrollo de proyectos, conforme se presenta en la Figura 2-1.

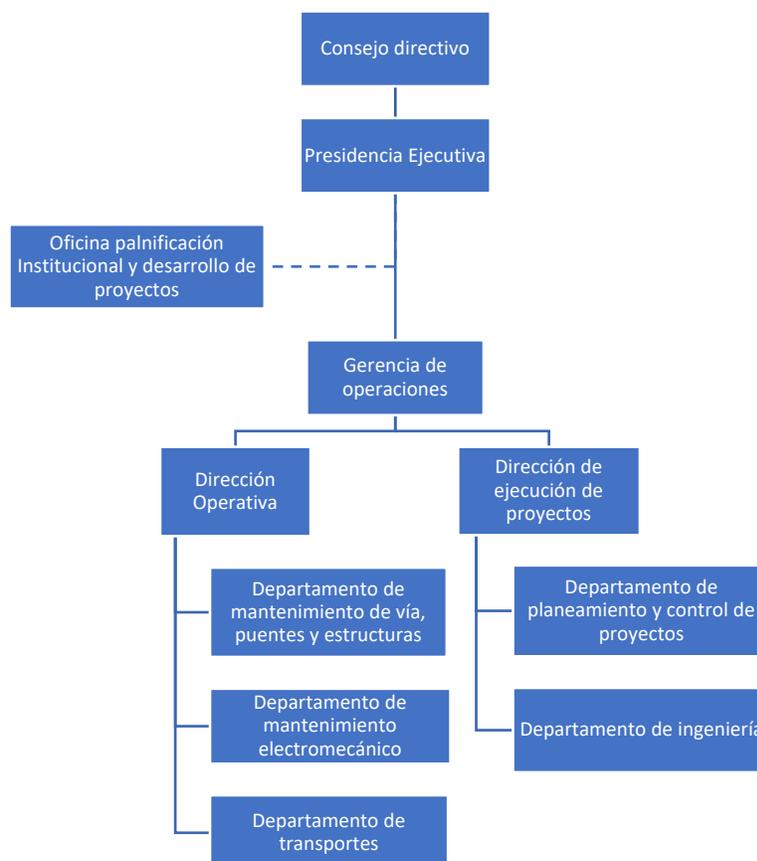


Figura 2-1. Sección de la estructura organizacional para el desarrollo de proyectos
Fuente: INCOFER (2021).

Dentro de esta investigación, se generó un cuestionario (Apéndice 3) con la intención de conocer la manera en que INCOFER desarrolla actualmente sus proyectos, lo que también permitió identificar al personal responsable, sus funciones y la manera en que se da seguimiento a las diferentes tareas e información. Se cuenta con las respuestas brindadas por el Gerente de Operaciones y el coordinador de infraestructura ferroviaria de la región Pacífico.

La Dirección de Proyectos se encuentra en constitución, por lo que, al momento en que se desarrolla está investigación, la asignación de responsabilidades de los proyectos es poco clara y recae directamente en el Consejo Directivo. Es facultad de este consejo delegar, mediante la línea jerárquica, las funciones a los funcionarios del Instituto. Hasta donde permitió conocer la investigación, no se cuenta con una matriz de asignación de responsabilidades, por lo que la atribución de estas funciones suele ser por la disponibilidad y experiencia de los colaboradores, en función de su puesto laboral. De esta manera, el desarrollo de un proyecto es asignado a una de las Unidades Técnicas, actualmente región Pacífico o región Atlántico.

Con la información recolectada se identificó que, desde la reapertura del INCOFER, la iniciativa de proyectos ha sido propuesta desde la línea de trabajo gubernamental, como es el caso de del tren de pasajeros del Gran Área Metropolitana. De manera complementaria, se han propuesto proyectos, como el mejoramiento del tren de carga en el Atlántico y la reactivación del ferrocarril al Pacífico, que surgen desde el Instituto, mediante la Junta Directiva o de alguno de los departamentos.

Como es usual en el desarrollo de proyectos públicos de infraestructura, el primer paso es identificar el proyecto, para lo cual se deben acotar las características principales como la ubicación, longitud y el problema a que responde. Cabe señalar que debido al cierre técnico del Instituto es necesario incluir en estas etapas el equipo con que se cuenta, el estado de la vía y posibles conflictos de invasión del derecho de vía. Al iniciar con el desarrollo del proyecto se deben preparar los estudios de prefactibilidad y factibilidad. Estos estudios se realizan mediante la figura de licitación pública o a través de recursos del MIDEPLAN, mediante su fondo de preinversión para proyectos de obra pública. Es importante que todo proyecto que se desarrolla en el Instituto, indiferentemente de la fuente de sus recursos, debe inscribirse ante el MIDEPLAN, siendo responsabilidad de la persona a cargo de la Unidad de Planificación Institucional del INCOFER.

Posteriormente, se avanza con las siguientes etapas según la secuencia de pasos que se presenta a continuación, hasta concluir con la puesta en marcha y operación. De acuerdo con Coto y Elizondo (2021), dentro del protocolo para el desarrollo de los proyectos (no se logró tener acceso al protocolo mencionado) se incluyen las siguientes etapas para todo proyecto que se desarrolle en el Instituto:

- Diseño de perfil
- Prefactibilidad del proyecto
- Factibilidad del proyecto
- Obtención de financiamiento
- Diseño del proyecto
- Contratación del proyecto
- Construcción del proyecto
- Puesta en marcha y operación
- Terminación

Continuando con el análisis del área administrativa, la investigación no logra identificar un departamento de diseño a nivel de la organización, dato que confirman los funcionarios a los que se les consultó. Se observó que los carteles para el diseño y elaboración de las obras son generados por la unidad técnica encargada del proyecto. La revisión y aprobación de las diferentes etapas de cada proyecto se da conforme el siguiente orden: administrador del proyecto, jefes de departamento, gerentes y, para las etapas finales, proveeduría y la Junta Directiva. Para cada nivel se requiere la aprobación del nivel anterior.

En cuanto al manejo de la información y generación de documentos, el Instituto cuenta con una plataforma llamada Ágora. Esta plataforma de gestión documental fue puesta en marcha a mediados del año 2020 y es utilizada para la emisión, ingreso, recepción y consulta de documentos (Coto y Elizondo, 2021). Sobresale el hecho de que la plataforma requiere de un usuario y contraseña asignados para ingresar a ella, debiendo indicar el usuario la unidad desde la que realiza la acción (en caso de pertenecer a más de una) y quedando registro de la tarea realizada. Esta plataforma se encuentra bajo la gestión del Archivo Institucional. Aun así, indicaron los funcionarios que no se ha establecido un formato para la presentación de documentos a nivel institucional; no se cuenta con un formato general para la presentación y manejo de la información en los proyectos.

Referente a los proyectos, la unidad ejecutora debe generar los lineamientos para documentación propios del proyecto. La unidad técnica del proyecto es responsable de revisar y aprobar estos lineamientos, en cuanto al formato, forma y contenido. Con base en este

desarrollo, cada proyecto tendrá su propio formato y lineamientos de control del material documental, por lo que se podría dificultar la comunicación y comprensión entre los diferentes grupos de trabajo. En añadidura, no permite un intercambio fluido de información entre los diferentes proyectos, dificultando la posible optimización de los recursos.

Por otro lado, el Manual de procedimientos (Coto y Elizondo, 2021) enumera las principales tareas de la Gerencia de Operaciones y expone cambios significativos propuestos a nivel de gerencia. Cabe mencionar que la estructura del manual se basa en medidas y recomendaciones propuestas por el Centro de Investigación y Capacitación en Administración Pública (CICAP), desarrolladas en los años 2015 y 2016. Entre los cambios destacados se encuentran: la incorporación de un procedimiento para recepción de trabajos de mano de obra de terceros; un registro de eventos en la operación y la incorporación de las gestiones en el sector Atlántico a la Dirección Operativa. Este último cambio pretende un mejor aprovechamiento de los recursos institucionales, al unificar las operaciones en una sola unidad que gestione todos los proyectos a nivel nacional, opuesto a los dos sectores (Atlántico y Pacífico) que actualmente operan de manera paralela e independiente una de la otra.

En la Figura 2-2 se muestra la estructura de la gerencia conforme el manual mencionado. Con respecto al organigrama institucional en la Figura 2-1, se observa que no se menciona el Departamento de proyectos.



Figura 2-2. Estructura organizacional Gerencia de Operaciones
Fuente: Coto y Elizondo (2021).

Para cada una de las unidades se definió un objetivo principal, como se presenta en el Cuadro 2-1, con base en los cuales se establecieron las tareas y procesos que deben ejecutar; destaca que la mayoría se orienta a la planificación, supervisión y control de las funciones que garantizan la operación y disponibilidad del servicio.

Cuadro 2-1. *Objetivo de las unidades en la Gerencia de Operaciones*

Unidad	Objetivo
Gerencia de Operaciones	<p>Asegurar la operación de los servicios del INCOFER, velando por la programación, buen desempeño y mantenimiento de los servicios que brinda la institución, logrando una alta confiabilidad y nivel de disponibilidad.</p> <p>Asimismo, velar por la adecuada planificación, ejecución y control de los proyectos y su cumplimiento en el presupuesto, plazos y calidad intrínseca, en apego con la visión estratégica de la institución.</p>
Dirección Operativa	<p>Direccionar la operación de los servicios prestados por el INCOFER, asegurando: la correcta gestión del control y monitoreo del tráfico ferroviario, la confiabilidad y disponibilidad de los servicios de pasajeros y carga con los que cuenta la institución, la adecuada gestión del mantenimiento de las vías y estructuras, el buen desempeño, seguridad y mantenimiento del equipo rodante tractivo y remolcado, entre otros aspectos que se requieran para el normal desarrollo de los servicios del INCOFER.</p>
Departamento de Mantenimiento Vías y Estructuras	<p>Asegurar con el equipo de trabajo mediante la planificación, dirección, coordinación y supervisión de las labores de mantenimiento integral de vías férreas, puentes e infraestructura ferroviaria del INCOFER, asegurando la operación en las condiciones adecuadas garantizando la máxima disponibilidad de la infraestructura instalada y preservar la calidad del servicio y el valor de esta infraestructura evitando el deterioro prematuro.</p>
Departamento de Mantenimiento Electromecánico	<p>Asegurar con el equipo de trabajo mediante la organización, programación y supervisión de las labores de mantenimiento preventivo y correctivo del material rodante tractivo y remolcado, así como otros equipos especiales que conforman la operación, solventando las contingencias que puedan presentarse y garantizando la máxima disponibilidad de los equipos para preservar la calidad del servicio.</p>
Departamento de Transportes	<p>Asegurar con el equipo de trabajo mediante la planificación, dirección, coordinación y supervisión que la prestación del servicio público de transporte ferroviario se realice en apego al marco normativo vigente y a una adecuada gestión logística, incluyendo todos los movimientos mediante la práctica constante de verificaciones al sistema ferroviario, con la finalidad de incrementar la seguridad y eficiencia operativa.</p>

Fuente: Coto y Elizondo (2021), modificado por el autor.

Se identificaron algunas funciones de la Gerencia de Operaciones y la Dirección Operativa que podrían causar interferencia entre estas unidades. En el Anexo 2 se presentan todas las funciones de estas unidades; a manera de ejemplo, ambas unidades tienen como tarea establecer, mantener, mejorar y evaluar el sistema de control interno para sus dependencias; es recomendable que esta función sea exclusiva de la Gerencia, para evitar contradicciones o confusiones en la línea jerárquica.

De manera similar, a nivel de departamento, se identificó que el Departamento de Mantenimiento Electromecánico es el encargado de gestionar el mantenimiento del equipo rodante (Anexo 3). El Departamento de Vías y Estructuras debe velar por la elaboración y cumplimiento de los programas de mantenimiento del equipo rodante. Esto implica que un departamento tiene funciones de control sobre otro departamento al mismo nivel jerárquico, algo que no es recomendable dentro de una organización. Además, se asignó a ambos departamentos la función de liderar el análisis de las causas de averías e incidentes que afecten la disponibilidad, mantenimiento y confiabilidad de todos los elementos, generando confusión en las competencias de cada departamento.

En setiembre del año 2002, se estableció la Ley N.º 8292 por disposición de la Asamblea Legislativa de la República Costa Rica (Ley N.º 8292, Ley General de Control Interno, 2002). En esta ley se fijan los criterios mínimos que deben observar los entes u órganos sujetos a la fiscalización de la Contraloría General de la República de Costa Rica, como es el caso del INCOFER. Dentro del Capítulo III, el Artículo 14 define la responsabilidad de los jefes y subordinados en cuanto a "Identificar y analizar los riesgos relevantes asociados al logro de los objetivos y metas institucionales [...]", propiciando que el INCOFER incorpore el Sistema Específico de Valoración del Riesgo Institucional o SEVRI por sus siglas. Con este objetivo, SEVRI indica que todos los departamentos deben formalizar y mantener actualizados los procedimientos que desarrollan. El principal fin de este sistema es realizar un proceso exhaustivo, sistemático y continuo, que permita identificar el riesgo institucional y planear los planes para su mitigación en caso de ocurrencia.

En cumplimiento de las disposiciones del SEVRI arriba mencionadas, la Gerencia de Operaciones ha formalizado sus procesos. Para esto, ha establecido tres niveles conformados por: macroprocesos, procesos y subprocesos. En el Cuadro 2-2 se muestra un listado de los procesos y las unidades que los ejecutan. Cada uno de los procesos cuenta con su propia lista estructurada de subprocesos, los cuales se deben llevar a cabo de manera ordenada y cada subproceso depende del anterior. Al tratarse de una sucesión de pasos invariable, que se desarrolla para obtener un resultado específico, es más adecuado referirse a estos como procedimientos y no procesos.

Cuadro 2-2. *Procesos de la Gerencia de Operaciones y sus unidades asociadas*

Macroproceso	Proceso	Unidades operativas relacionadas
GESTIÓN DE MANTENIMIENTO (GM)	GM1-Mantenimiento de vías y estructuras	Departamento de Mantenimiento Vías y Estructuras (Atlántico y Pacífico)
	GM2-Mantenimiento preventivo equipo ferroviario	Departamento de Mantenimiento Electromecánico (Atlántico y Pacífico)
	GM3-Mantenimiento correctivo equipo ferroviario	
GESTIÓN DEL SERVICIO (GS)	GS1-Ejecución servicio de pasajeros	Departamento de Transportes (Pacífico)
	GS2-Ejecución del servicio de carga	Departamento de Transportes (Atlántico)
	GS3-Ejecución servicio de turismo	Departamento de Transportes (Atlántico y Pacífico)
GESTIONES ADMINISTRATIVAS (GA)	GA1-Gestión de compras	Todas las unidades de la Gerencia de Operaciones
	GA2-Gestión de documentos	

Fuente: Coto y Elizondo (2021).

En la actualidad, la Gerencia de Operaciones y sus dependencias son las encargadas de desarrollar los proyectos institucionales de infraestructura. Después de revisar los diferentes objetivos, funciones y tareas de las unidades técnicas que se incluyen dentro del actual Manual de la Gerencia de Operaciones, se han identificado las funciones de colaborar con el desarrollo de los proyectos y, en cuanto a la Gerencia, velar por que se desarrollen de buena manera. Aun así, no se establecen procesos ni procedimientos para cumplir estas funciones. Considerando que no se encontró dentro de esta investigación un manual referente al Departamento de proyectos, se da por entendido que no se han establecido los lineamientos ni se han asignado roles fijos para el proceso de desarrollo de proyectos.

2.3. Estado actual de la implementación de la metodología BIM en proyectos del INCOFER

Dentro de la entrevista guiada que se presentó a los funcionarios del Instituto, se dedicó una sección para diagnosticar la manera en que se han incorporado dentro del INCOFER las nuevas herramientas tecnológicas, principalmente en torno a la metodología BIM. Se identificaron oportunidades de fortalecimiento de estos procesos para incrementar la eficiencia de los proyectos.

Ante la pregunta concreta, los funcionarios indican que de momento la metodología BIM no es utilizada de ninguna manera dentro del INCOFER o en el desarrollo de los proyectos. Aun así, ambos reconocen el potencial de la metodología para la mejora en los procesos institucionales y plantean la necesidad de diseñar un proceso para su implementación, el cual considere la capacitación y los recursos físicos necesarios en torno a la visión y el alcance de la implementación.

Como se expone en el apartado 2.1, sobre el estado de uso de la metodología BIM, se espera desarrollar para el año 2024 un marco que conduzca a la obligatoriedad de la implementación de la metodología BIM en instituciones públicas (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2022). Por este motivo, se considera oportuno que las instituciones conformen planes que les faciliten cumplir con estos lineamientos, pues, si bien no han sido definidos, de la misma hoja de ruta se pueden extraer puntos clave que desde estos momentos se pueden ir proponiendo. En cuanto a la consulta de planes futuros dentro del INCOFER, se indicó que, al momento en que se responde el formulario, el Instituto no cuenta con un plan para implementar la metodología en el desarrollo de sus operaciones. Como primer paso para el desarrollo de este plan, es necesario que el Instituto se pueda permitir la asignación de recurso humano capacitado para hacerse cargo de la labor. Este grupo de trabajo requiere de recursos físicos (como ordenadores, *software* y equipo), recursos académicos (en cuanto a capacitación propia y de terceros dentro de la institución) y recursos económicos. De momento, el INCOFER no ha logrado disponer de estos recursos para ser asignados a esta tarea.

Todo plan requiere de bases sólidas para desarrollarse de una manera eficiente, por lo que, para establecer un plan de implementación sólido, el INCOFER debe contar con sus objetivos de mejora continua, conocidos como objetivos BIM. A través de esta investigación, se observa que el Instituto cuenta con la oportunidad para desarrollar unos objetivos BIM que colaboren con su misión y visión, en torno a los cuales se desarrollarán todas las tareas y procesos de los nuevos flujos de trabajo.

Aun sin tener establecidos los objetivos BIM o recursos asignados para la implementación, dentro de la investigación y recopilación de información se ha identificado una herramienta y un "subproceso" que implican algunas de las premisas que propone la metodología BIM. Estos procesos han surgido desde diversas unidades en respuesta, según criterio propio, a los objetivos de optimización de los recursos y modernización de las capacidades instituciones que plantea el Plan Operativo Institucional (Instituto Costarricense de Ferrocarriles, 2022). Por esta

razón, no se han desarrollado de manera estructurada entre sí, brindando oportunidades de mejora en cuanto a su alcance e incorporación con otras herramientas y procesos.

La herramienta es el sistema *Ágora*; como se menciona en el diagnóstico de la metodología actual del INCOFER, el sistema de gestión documental se pone en operación a mediados del año 2020. Es relevante dentro de la metodología BIM por su capacidad para centralizar y resguardar la información al tratarse de una plataforma propia, administrada por una unidad perteneciente a la institución con restricciones de uso, que además genera una huella digital (ubicación, fecha, hora y credenciales de seguridad para su acceso) que asegura una trazabilidad en la información.

Si bien la plataforma actualmente se utiliza para comunicación entre los funcionarios e informes de labores, es factible considerar una aplicación como repositorio para los diferentes proyectos que se desarrollen. Esta herramienta brindaría acceso a las diferentes unidades y, de ser necesario, a terceros que estén involucrados con los proyectos, de manera controlada y más fluida. Utilizar esta modalidad permitiría al Instituto mantener su estructura en el flujo de trabajo, a la vez que procuraría la suficiencia, consistencia, calidad e interoperabilidad de la información intercambiada, como lo propone el PlanBIM Chile en el apartado de flujos de información (Soto, Manríquez y Godoy, 2019). Además, se facilita el control y almacenamiento para futuras referencias, incluso en proyectos de otras instituciones gubernamentales.

En cuanto a subprocesos, dentro de los procesos de Gestión de mantenimiento, denominados GM-1, GM-2 y GM-3 (como se pueden observar en el Cuadro 2-2), se identificó un subproceso común que consiste en generar informes técnicos para el cierre del proceso. Estos informes deben contener, entre otras cosas: fecha, lugar exacto, labores realizadas y recomendaciones para evitar posibles eventos o para mitigarlos en caso de ocurrencia. Dentro de la metodología es indispensable tener la información siempre actualizada y que corresponda con la realidad, por lo que el informe técnico representa una herramienta de primera línea para cumplir este objetivo. A pesar de esto, no se identifica un subproceso que se refiera a la revisión documental de los sectores en caso de presentarse un reporte de avería, con lo que se podrían aprovechar de mejor manera los recursos utilizados.

De manera similar, los Procesos de Gestión de Servicio (GS-1, GS-2 y GS-3) cuentan con un subproceso para generar registro de eventos durante la operación de los trenes, facilitando la identificación de puntos conflictivos en los trayectos o fallas recurrentes de los equipos. La

información que surge de estos registros permite establecer mejores planes de mantenimiento preventivo, evitar suspensión del servicio en caso de eventos o lograr una respuesta más rápida y eficiente si ocurrieran.

Por último, se revisó el estado de desarrollo institucional para los tres apartados que establece la matriz de madurez utilizada en la investigación. En la Figura 2-3 se presentan de manera gráfica los hitos propuestos dentro de la matriz; con un contorno verde se señalan aquellos alcanzados por el INCOFER hasta el momento de esta investigación.

De acuerdo con estos hitos, la implementación es próxima al Nivel 0 de la matriz utilizada:

- Modelos, gráficos y datos no gráficos: los planos se desarrollan en programas de dibujo asistido por computadora, en dos dimensiones. Se preparan para ser impresos en formato digital (PDF).
- Estándares: actualmente, no se utiliza ninguna normativa para el dibujo de planos.
- Colaboración y procesos: la colaboración entre los participantes del proceso es muy baja y no se presenta de forma fluida. Cada participante genera su propia información y los intercambios son bajos o poco significativos.

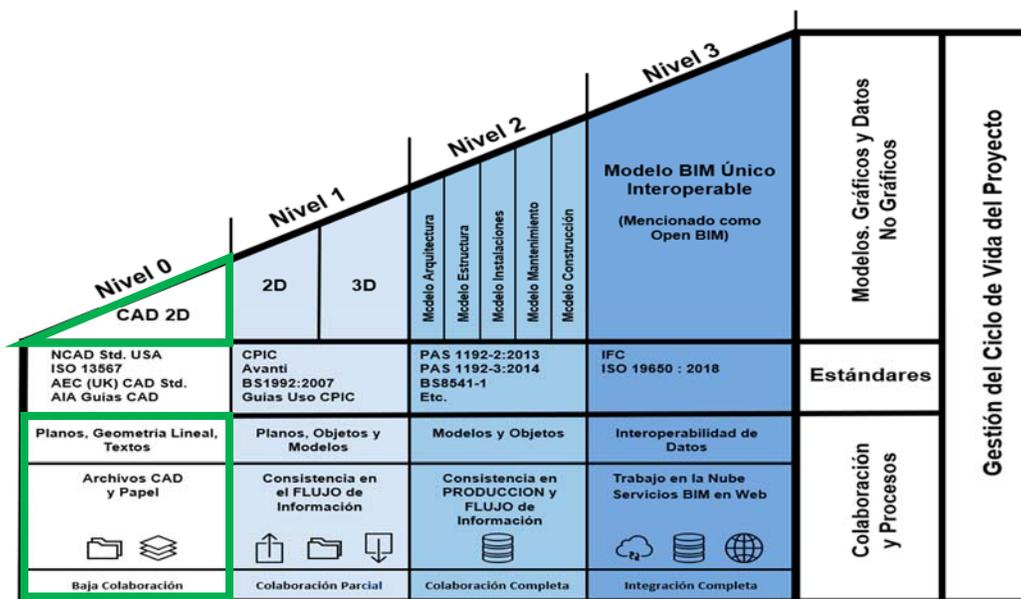


Figura 2-3. Modelo de Madurez BIM británico
Fuente: Rodríguez (2020), modificado por el autor.

Capítulo 3. Procedimiento propuesto para la implementación de la metodología BIM a nivel organizacional y nivel de proyectos en INCOFER

Al tener identificado el proceso actual que utiliza el INCOFER para el desarrollo de sus proyectos, se propuso una ruta para la implementación de la metodología BIM. La propuesta es acorde con la misión y visión del Instituto, siguiendo los esfuerzos del Gobierno central para establecer una hoja de ruta a nivel nacional entorno a la implementación.

Se observó que el Instituto, desde su función de institución que desarrolla obra pública, utiliza principalmente el modelo de licitación para concretar los proyectos. En esta medida se considera que, en un futuro, es posible centrar sus esfuerzos para implementar la metodología en la generación de los SDI, recepción y análisis de los PEB y la supervisión de los proyectos. En esta visión, se delegaría el diseño y la generación de modelos a organizaciones externas al Instituto. De esta manera, la mayor intervención del INCOFER será en las etapas de diseño y operación, limitándose a fiscalizar las etapas de diseño y construcción de las obras licitadas. Por esta razón, la propuesta de implementación que se realizó en esta investigación se acerca en gran medida a los aspectos y pasos iniciales para la preparación de una SDI en un proyecto.

Como se expone en el Marco teórico, los primeros aspectos a definir dentro de la formulación de un SDI son los objetivos por los que se utilizará la metodología BIM dentro del proceso de desarrollo de un proyecto, denominados PIR por sus siglas en inglés. Estos objetivos deben ser acordes con los objetivos BIM de mejora continua de la organización, conocidos como OIR por sus siglas en inglés, conocidos usualmente dentro del sector como objetivos BIM. La norma ISO/INTE 19650-1 (INTECO, 2020a), en su sección 5.1, señala que para generar de manera correcta los PIR se debe contar con los OIR de la institución que lo desarrollará.

En este sentido, resultó indispensable contar con un planteamiento de los OIR para la elaboración de esta propuesta de implementación. En el proceso de recolección de información, se hace evidente que el INCOFER se encuentra en un momento de oportunidad para definir sus OIR, debido al proceso de transformación y ordenamiento que realiza.

3.1. Descripción del modelo para la implementación a nivel del INCOFER

3.1.1. Propuesta de los OIR del INCOFER

Dentro de la línea de investigación, se propusieron los objetivos BIM de mejora continua institucional, que se presentan en el Cuadro 3-1. Estos se desarrollaron con la guía de las normativas ISO/INTE 19650, siguiendo lo propuesto por la misión y visión del INCOFER. Además, se tomó en consideración la información recabada con los colaboradores del Instituto, mediante una serie de entrevistas con las que se completa el formulario presente en el Apéndice 4. El ejercicio consistió en ordenar los posibles beneficios BIM según las prioridades y capacidades del INCOFER.

Cuadro 3-1. *Objetivos BIM de mejora continua (OIR) del INCOFER*

Objetivo general	
Garantizar el mejor uso de los recursos y administración de activos mediante el levantamiento de condiciones existentes, informes, presupuestos y cronogramas de obra precisos.	
Objetivos específicos	
Planificación	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de herramientas y modelos SIG para diseño de obra. • Control continuo de activos existentes. • Simplificación del análisis de alternativas preliminares.
Diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización del proceso de diseño. • Disminución del impacto ambiental negativo de los proyectos. • Facilidad para la coordinación de las diferentes áreas de diseño.
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementar la precisión en la planificación y control de obra. • Generación de cronogramas de obra detallados y veraces. • Registro de las condiciones reales de entrega de los activos.
Operación	<ul style="list-style-type: none"> • Transparencia institucional en el control y administración de activos. • Desarrollo de planes de mantenimiento preventivo y correctivo para los activos. • Establecimiento de planes para la atención de emergencia más eficaces y resilientes.

Continuando con el proceso descrito en la Guía de elaboración de una SDI (Comisión de Documentación BIM Forum Costa Rica, 2020), se parte de los OIR establecidos para definir los usos BIM pertinentes al proyecto. Los usos BIM son métodos que se aplican durante las fases de un proyecto; permiten explicar la forma en que los participantes del proceso pueden utilizar los modelos BIM para lograr los objetivos BIM específicos. Cada uso puede ser asociado a uno o más objetivos y es posible aplicarlo en más de una de las fases del ciclo de vida del proyecto.

Se realizó un análisis de los 25 posibles usos BIM plantados por la Universidad de Penn State en Estados Unidos (Messner *et al.*, s.f.). Se identificaron 14 de los usos BIM como los que mayor valor pueden aportar al Instituto para el cumplimiento de sus OIR. Esta selección se realizó en colaboración con personal del INCOFER, mediante la información recabada con el formulario (Apéndice 4). Se utilizó, además, la Guía para la elaboración de una SDI, la cual en su Tabla 4 (presente en la Figura 3-1) establece una relación entre los objetivos BIM y los usos de la metodología. En el Cuadro 3-2 se presenta la matriz BIM con los usos propuestos resultados en verde.

USOS BIM		OBJETIVOS BIM								
		MEJORAR CALIDAD Y EFICIENCIA DEL DISEÑO	EVALUAR EL PROGRESO DEL DISEÑO	ADMINISTRACIÓN DE ESCENARIOS	SOSTENIBILIDAD	PROMOCIÓN DE VENTAS	PRODUCTIVIDAD CONSTRUCCIÓN	AVANCE CONSTRUCCIÓN	TRANSPARENCIA OPERACIÓN	MANTENIMIENTO & OPERACIÓN
01	LEVANTAMIENTO DE CONDICIONES EXISTENTES									
02	ANÁLISIS DE EMPLAZAMIENTO									
03	USO DEL ESPACIO									
04	COORDINACIÓN 3D									
05	ESTIMACIÓN DE CANTIDADES Y COSTOS									
06	SOSTENIBILIDAD (EVALUACIÓN LEED)									
07	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN DE DISEÑO									
08	ANÁLISIS DE INGENIERÍA - CÓDIGOS Y NORMATIVAS									
09	ANÁLISIS DE INGENIERÍA - ESTRUCTURAL									
10	ANÁLISIS DE INGENIERÍA - ILUMINACIÓN									
11	ANÁLISIS DE INGENIERÍA - ENERGÍA									
12	ANÁLISIS DE INGENIERÍA - MECÁNICO									
13	ANÁLISIS DE INGENIERÍA - OTROS									
14	REVISIÓN DEL DISEÑO (EVALUACIÓN DE CUMPL. REQUISITOS)									
15	PLANIFICACIÓN 4D									
16	PLANIFICACIÓN DE SITIO PARA CONSTRUCCIÓN									
17	DISEÑO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS (EFICIENCIA DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS)									
18	PLANOS DETALLER									
19	CONTROL Y PLANIFICACIÓN 3D DE OBRA									
20	REGISTRO DEL MODELO (MODELO AS BUILT)									
21	GESTIÓN DE ACTIVOS									
22	ANÁLISIS DE SISTEMAS DEL EDIFICIO									
23	PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO DE LA EDIFICACIÓN									
24	GESTIÓN Y SEGUIMIENTO DE ESPACIOS									
25	PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE EMERGENCIAS									

Figura 3-1. Relación entre los usos y lo objetivos BIM
Fuente: Comisión de Documentación BIM Forum Costa Rica (2020).

Cuadro 3-2. *Matriz de usos BIM para INCOFER*

PLANIFICACIÓN	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN
1.Levantamiento de condiciones existentes			
2.Estimación de cantidades y costos			
3.Planificación de fases			
4.Análisis del cumplimiento del programa espacial (zonificación)			
5.Análisis de ubicación			
6.Coordinación 3D			
7.Diseño de especialidad			
8.Revisión de diseño			
9.Análisis estructural			
10.Análisis lumínico			
11.Análisis energético			
12.Análisis mecánico			
13.Otros análisis de ingeniería			
14.Evaluación de sustentabilidad			
15.Valoración de normativas			
16.Planificación de obra			
17.Diseño sistemas constructivos			
18.Fabricación digital			
19.Control de obra			
20.Modelación <i>as built</i>			
21.Gestión de activos			
22.Análisis de sistemas			
23.Mantenimiento preventivo			
24.Gestión y seguimiento de espacios			
25.Plan y gestión de emergencia			

 Usos BIM propuestos a utilizar por INCOFER

3.1.2. Usos BIM para INCOFER

Teniendo definidos los usos que presentan el mayor valor potencial para la institución, se consideró oportuno describirlos y numerar los recursos necesarios para su aplicación. Para cada uno de los catorce usos propuestos se presenta una descripción, el valor potencial para el INCOFER en cuanto al desarrollo de sus funciones, los recursos requeridos sugeridos y los conocimientos necesarios por el equipo involucrado. La información se presenta con base en el Estándar BIM para proyectos públicos del PlanChile (Soto, Manríquez y Godoy, 2019) y en el sitio web de la Pennsylvania State University sobre los usos BIM (Messner *et al.*, s.f.).

En cuanto a los recursos requeridos, cabe mencionar que en todos los casos será necesario equipo de cómputo de alto desempeño y que los involucrados sean capacitados en el uso de *software* para manipulación básica de modelos 3D.

1. Levantamiento de condiciones existentes

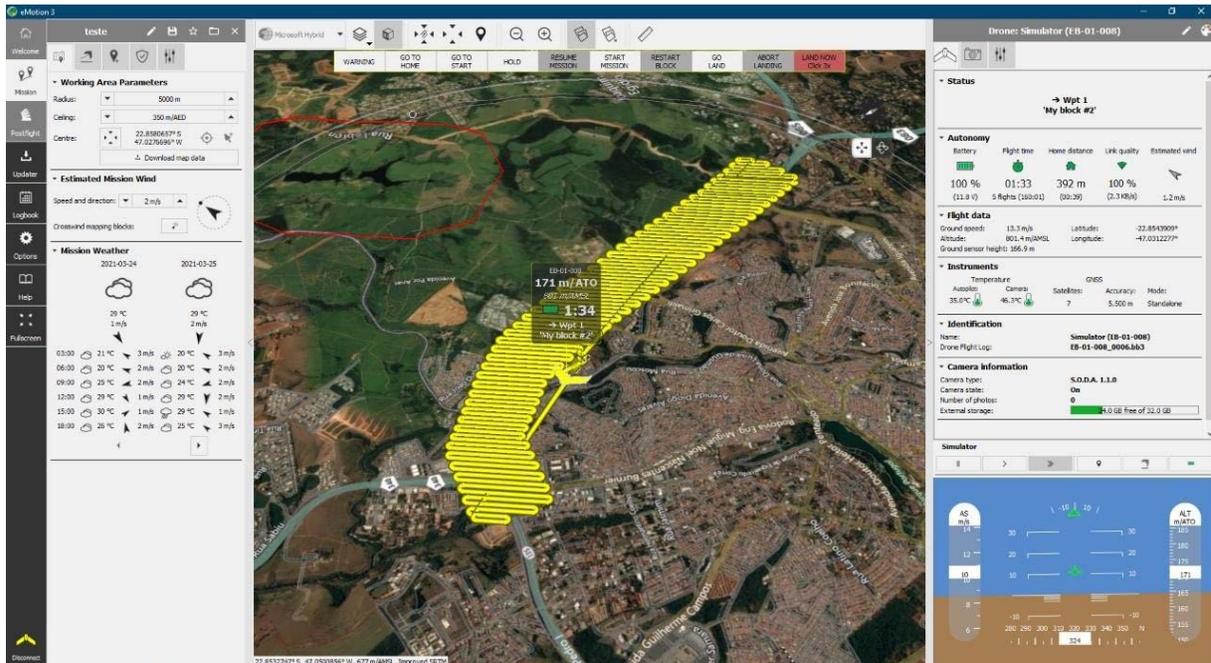


Figura 3-2. Interfaz de software para el levantamiento de sitio mediante drones de escaneo fotogramétrico
Fuente: senseFly (2022).

➤ Descripción

Creación de un modelo en tres dimensiones de las condiciones de un sitio, o una instalación. El proceso se basa en la recolección de información orientada al modelado, mediante escaneo láser, fotogrametría o métodos tradicionales de topografía. El nivel de detalle de los elementos presentes en el modelo dependerá del uso previsto para el modelo. Usualmente, se incluye la información geográfica, topográfica, activos presentes (edificaciones o equipos fijos), información registral de los predios cercanos, entre otros. En la Figura 3-2 se observa la interfaz de un *software* especializado para el control de naves remotamente controladas (drones), que permiten la recolección de imágenes aéreas para el levantamiento de sitio. Para esta tarea se consideran condiciones climáticas y georreferencias de posición y de altura.

➤ Valor potencial

- Condiciones existentes documentadas de manera más eficiente y precisa, incluyendo condiciones del derecho de vía y referencias a predios aledaños.
- Información de entorno para futuros usos, como ampliaciones o sitios vulnerables.
- Representación de trabajos realizados en sitio, como mejoras o rehabilitaciones.
- Planeamiento ante posibles eventos, como la caída de taludes cercanos a la vía o sectores críticos de la ruta actual.
- Registro e informe de eventos pasados, para considerarlo en la etapa de diseño.
- Propuesta para áreas de trabajo y almacenamiento.
- Identificación de rutas para acceso de personal y material a lo largo de la vía.

- Recursos requeridos
 - *Software* de modelado BIM.
 - *Software* para manipulación de escaneo fotogramétrico.
 - Equipo topográfico convencional.
 - Equipo LIDAR (*Light Detection And Ranging*) para el escaneo de la superficie terrestre.
 - Personal para levantamiento documental.

- Competencias requeridas del equipo de trabajo
 - Representación de la información gráfica y no gráfica de un proyecto en BIM, mediante planimetría, modelado, reportes, tablas, planillas y otros.
 - Desarrollar la información gráfica y no gráfica de un modelo BIM conforme el tipo de información, nivel de información y entregable BIM para cada etapa y especialidad del proyecto.
 - Conocimiento en herramientas de escaneo y fotogrametría.
 - Importación y exportación de información entre sistemas BIM y GIS.
 - Coordinación entre diferentes modelos BIM de un proyecto.

2. Estimación de cantidades y costos

- Descripción

Proceso en el que, con ayuda de las herramientas BIM, se genera el despliegue de cantidades de material y costo estimado de la obra a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. Permite visualizar el efecto en costos que podrían generar los cambios realizados en diseño, facilitando el proceso de toma de decisiones.

- Valor potencial
 - Cálculo de cantidad de materiales más preciso y de manera más rápida.
 - Estimado de costos de manera automática, facilitando ajustes de precios y tablas de pago.
 - Provee estimaciones de costos en etapas tempranas de diseño y a través de todas las etapas de vida del proyecto, inclusive durante la construcción.
 - Permite, junto con una planificación de obra, dar seguimiento al plan de gastos y pagos en el proceso constructivo licitado.
 - Facilita la comparación de costos entre diferentes opciones de diseño, como rutas alternas o diferentes opciones de vía.
 - Extrae las cantidades necesarias de insumos conforme los planes de construcción, permitiendo programar el abastecimiento para evitar atrasos de obra.
 - Disminución de modificaciones o adiciones, con efectos sobre el tiempo y costo de construcción.

- Recursos requeridos
 - *Software* para estimación de cantidades.
 - Modelo de construcción 3D preciso.

- Datos de costo de material e insumos.
- Competencias requeridas
 - Ordenar la información de los modelos según las etapas y secuencias constructivas, considerando predecesoras y antecesoras.
 - Cálculo de cantidades a partir de los modelos BIM.
 - Estimación de costos mediante tablas de precio, evaluación de costos y documentos asociados a los procesos de adquisición.

3. Planificación de fases

- Descripción

Es un proceso en que se incorpora el tiempo a un modelo 3D. Con esto se obtiene la cuarta dimensión (4D) del BIM. Este modelo es una herramienta de visualización que permite un mejor entendimiento de los hitos y la secuencia constructiva de una obra. En la Figura 3-3 se presenta una muestra para *software* que permite la manipulación de modelos 3D considerando el factor tiempo (la 4D de la metodología BIM), mediante la identificación de los elementos dentro de los cronogramas de trabajo.
- Valor potencial
 - Generación de planes dinámicos por etapa, que permiten establecer roles y tiempos de trabajo; en proyectos lineales (como la construcción de una vía férrea), se pueden definir etapas en función de los kilómetros de la vía.
 - Identificación y solución de posibles conflictos de espacio en las áreas de trabajo.
 - Creación y monitoreo de cronogramas para la adquisición de materiales y designación de trabajadores conforme el avance de obra.
 - Aumento de la productividad y disminución de los desperdicios de material en el sitio de trabajo, optimizando el uso de los recursos disponibles.
 - Publicación de información a la población y estado de avance de las obras de manera más precisa y transparente, al permitir un seguimiento dinámico de las labores.
- Recursos requeridos
 - *Software* de programación.
 - *Software* para modelado 4D.
 - Modelos BIM con NDI (Nivel de Desarrollo de Información) adecuados.
- Competencias requeridas
 - Representación de la información gráfica y no gráfica de un proyecto en BIM, mediante planimetría, modelado, reportes, tablas, planillas y otros.
 - Desarrollar la información gráfica y no gráfica de un modelo BIM conforme el tipo de información, nivel de información y entregable BIM para cada etapa y especialidad del proyecto.

- Ordenar la información de los modelos según las etapas y secuencias constructivas, considerando predecesoras y antecesoras.

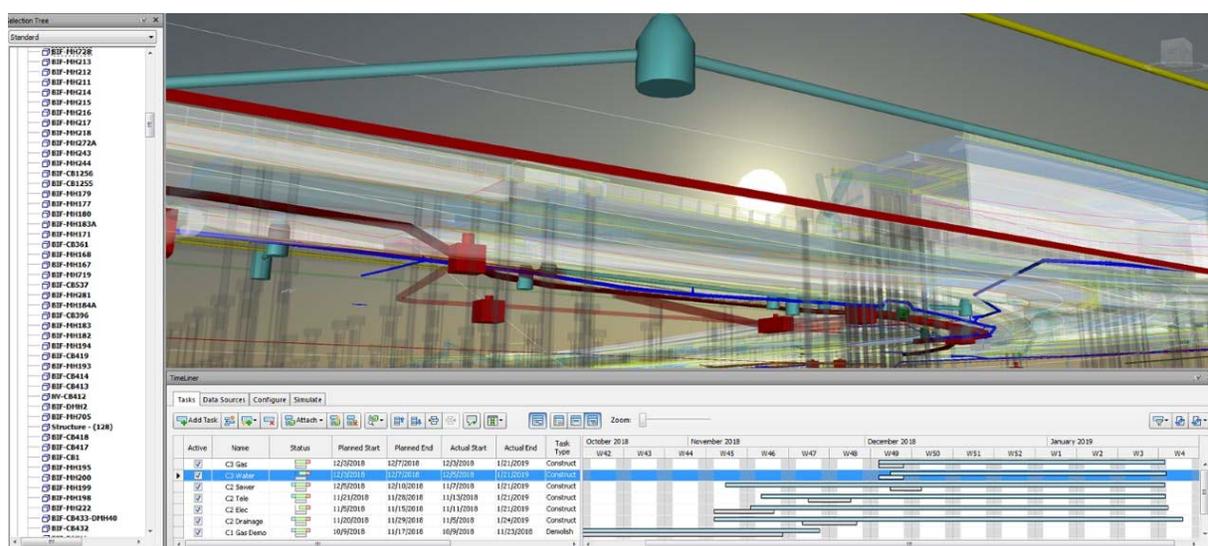


Figura 3-3. Interfaz de software para la manipulación de modelos 3D en relación con el factor tiempo
Fuente: Barone (2021).

5. Análisis de ubicación

➤ Descripción

Mediante herramientas BIM o GIS (Sistema de Información Geográfica, por sus siglas en inglés), se evalúan las propiedades de un área determinada para obtener la mejor ruta para la vía. En función de la información recolectada, se considera la seguridad del recorrido, costo asociado de construcción y operación y la vulnerabilidad ante eventos naturales como deslaves o crecidas de cuerpos de agua.

➤ Valor potencial

- Determinar el potencial de sitio para cumplir con los requerimientos de la ruta, como pendientes, radios de giro y vulnerabilidad ante eventos naturales.
- Disminución en costos de acondicionamiento de terreno, cortes y relleno.
- Identificación de alternativas para solventar accidentes geográficos, por ejemplo, la utilización de túneles o puentes para acortar la ruta.
- Incrementar la eficiencia en el consumo energético al realizar los viajes de tren.

➤ Recursos requeridos

- *Software* GIS.
- Modelos BIM con NDI adecuados.
- Datos de ubicación de sitio.

- Competencias requeridas
 - Representación de la información gráfica y no gráfica de un proyecto en BIM, mediante planimetría, modelado, reportes, tablas, planillas y otros.
 - Desarrollar la información gráfica y no gráfica de un modelo BIM conforme el tipo de información, nivel de información y entregable BIM para cada etapa y especialidad del proyecto.
 - Importación y exportación de información entre sistemas BIM y GIS.
 - Coordinación entre diferentes modelos BIM de un proyecto.

6. Coordinación 3D

- Descripción

Generación de un modelo en tres dimensiones (3D) del proyecto, para la planificación entre las distintas disciplinas, que incluye información adicional atribuida a los elementos modelados. Hace uso de bibliotecas que permiten realizar un diseño paramétrico, donde los elementos del modelo se coordinan y gestionan entre sí. De esa manera, al realizar un cambio en los parámetros de un elemento, todos los elementos del mismo tipo se modificarán, permitiendo actualizar el diseño de manera automática e identificando los posibles conflictos entre elementos (Autodesk, 2014).
- Valor potencial
 - Facilidad para la visualización de diseño por parte de todos los involucrados y la población en general.
 - Permite mejorar el control en el diseño, mediante el seguimiento de los diferentes actores y registro de cambios en los modelos.
 - Al establecer un único entorno de trabajo, promueve la colaboración de todas las partes interesadas.
- Recursos requeridos
 - *Software* de modelado BIM.
 - Normativa vigente de cada área de especialidad.
 - Guías de formato y nomenclatura (ISO/INTE).
- Competencias requeridas
 - Manejo de la normativa para el desarrollo y gestión de proyectos dentro de la metodología BIM.
 - Representación de la información gráfica y no gráfica de un proyecto en BIM, mediante planimetría, modelado, reportes, tablas, planillas y otros.
 - Desarrollar la información gráfica y no gráfica de un modelo BIM conforme el tipo de información, nivel de información y entregable BIM para cada etapa y especialidad del proyecto.
 - Coordinación entre diferentes modelos BIM de un proyecto.
 - Uso de elementos preconfigurados en BIM para lograr la estandarización e interoperabilidad de los modelos y proyectos.

8. Revisión de diseño

➤ Descripción

Proceso en que la parte contratante (en este caso INCOFER) hace revisión de las alternativas propuestas para satisfacer los requerimientos de diseño. La revisión puede incluir requisitos de programación de obra, trazo de ruta, modificaciones de terreno, materiales a utilizar y características propias de diseño, como ancho de vía y velocidad de diseño para el tránsito de los trenes. Existen *softwares* que permiten presentar el trazo de una vía en el sitio de emplazamiento; por ejemplo, en la Figura 3-4, se identifican las interferencias con infraestructuras cercanas, modificaciones de suelos y pendientes de la ruta propuesta.

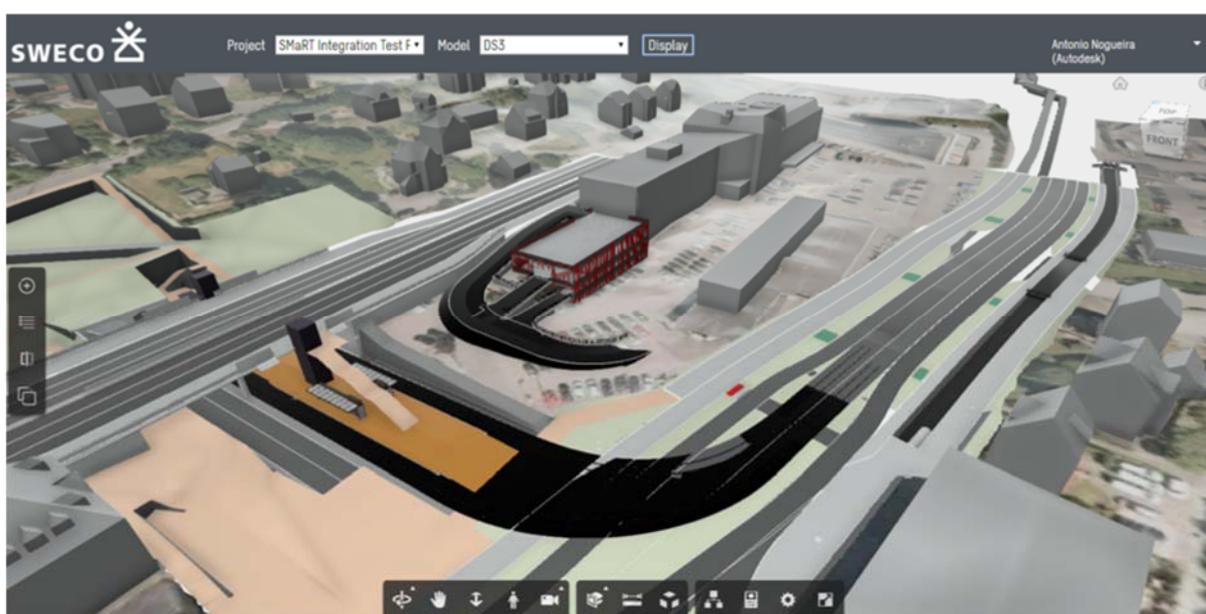


Figura 3-4. Software SWECO para la revisión de emplazamiento de la infraestructura
Fuente: Autodesk Inc. (2019).

➤ Valor potencial

- Procesos de revisión y aprobación más rápidos y eficientes, al presentar toda la información mediante un modelo unificado.
- Participación activa por parte de los diseñadores, lo que permite brindar soluciones o alternativas durante las reuniones de revisión.
- Creación de diferentes opciones de diseño en tiempo real durante reuniones de revisión por parte del contratante o el usuario final.
- Permite una comunicación más fluida entre los participantes de diseño, la parte contratante y el usuario final.

- Recursos requeridos
 - *Software* de revisión de modelos.
 - Modelos BIM con NDI adecuados.
 - Equipo interdisciplinario.
 - Normativa vigente de cada área de especialidad.

- Competencias requeridas
 - Sistema de trabajo colaborativo entre los diferentes actores y equipos de trabajo del proyecto, basado en un protocolo para el intercambio de información y los flujos de información.
 - Alto sentido de coordinación y comprensión de los diferentes roles y responsabilidades de los miembros del equipo de trabajo.
 - Entendimiento de los procesos constructivos y de los sistemas del activo.
 - Formatos e interfaz para la representación visual de la información en diferentes dispositivos fijos y móviles.
 - Importación y exportación de información a *software* de tablas de cálculo (como Excel) y otros formatos gráficos como DWG y DWF.

14. Evaluación de sustentabilidad

- Descripción

Proceso en que el proyecto es evaluado de acuerdo con criterios de sustentabilidad, como por ejemplo la certificación EDGE. El proceso debe ser aplicado durante todas las fases del proyecto, pero resulta más efectivo y eficiente si se aplica en las fases de planificación y diseño. De igual manera, es importante que desde la planificación del proyecto se ejecute este proceso, debido a que algunas certificaciones requieren de documentos, cálculos y verificaciones desde la primera etapa.

- Valor potencial
 - Aporte de información valiosa para la toma de decisiones en etapas tempranas de diseño.
 - Reducción en el tiempo de diseño y obtención de permisos medioambientales.
 - Facilitar la generación de documentos para certificaciones ambientales al realizar los cálculos simultáneamente con el diseño.
 - Incremento en la calidad del proyecto final.
 - Reducción en el costo operativo de la infraestructura y el equipo rodante.
 - Aumento del énfasis en diseño sostenible y ambientalmente amigable.
 - Cumplimiento de normativa nacional e internacional sobre contaminación ambiental.
 - Acceso a financiamiento con mejores condiciones, como el caso de "Prestamos Verdes" de organismos internacionales.

- Recursos requeridos
 - *Software* de revisión de modelos.
 - Modelos BIM con NDI adecuados.
 - Normativa vigente de cada área de especialidad .

- Competencias requeridas
 - Configuración de la interfaz de *software* BIM para obtener plantillas de visualización e información predeterminadas.
 - Automatización de tareas y funciones de *software* de modelado y administración de modelos BIM.
 - Importación y exportación de información en formatos IFC, XML, GIS, BCF, entre otros.
 - Plataformas para la gestión y almacenamiento de la información, en el Entorno Común de Datos del proyecto (CDE).
 - Análisis de sustentabilidad y rendimiento óptimo de consumo energético de un proyecto mediante herramientas BIM.
 - Manejo de la normativa ambiental nacional y de proyectos públicos.

16. Planificación de obra

- Descripción

Proceso en que se reúne la información de los diferentes modelos, para establecer un orden constructivo de obra. Esta planificación se realiza de manera gráfica, donde se incluye un cronograma de actividades con la ayuda de un *software* de modelado 4D. Al realizar una asociación de los diferentes elementos en un modelo con el cronograma de trabajo, es posible generar modelos de un momento específico de las obras, facilitando la visualización de avance.

Se puede incluir información como costo de mano de obra, materiales, equipos (partiendo del tiempo que será necesario) y la ubicación espacial de estos insumos en un periodo determinado.

- Valor potencial
 - Ubicación de instalaciones temporales y áreas de trabajo más eficiente, evitando la obstrucción de obras y traslados excesivos de insumos.
 - Evaluación de riesgo en áreas de trabajo, permitiendo generar los planes de emergencia más acordes a la realidad.
 - Comunicación más efectiva de los planes de trabajo a todos los involucrados.
 - Facilidad para identificar conflictos de espacio entre las obras y las áreas de trabajo.
 - Seguimiento del avance de obra más preciso y sencillo.
 - Reducción en los tiempos de planeamiento y facilidad para integrar cambios.

- Recursos requeridos
 - *Software* para planificación de obra.
 - *Software* para modelado 4D.
 - Modelos BIM con NDI adecuados.
 - Modelo detallado de sitio y condiciones existentes.

- Competencias requeridas
 - Representación de la información gráfica y no gráfica de un proyecto en BIM, mediante planimetría, modelado, reportes, tablas, planillas y otros.
 - Desarrollar la información gráfica y no gráfica de un modelo BIM conforme el tipo de información, nivel de información y entregable BIM para cada etapa y especialidad del proyecto.
 - Importación y exportación de información a *software* de tablas de cálculo y otros formatos gráficos como DWG y DWF.
 - Plataformas para la gestión y almacenamiento de la información, en el Entorno Común de Datos del proyecto (CDE).
 - Ordenar la información de los modelos según las etapas y secuencias constructivas, considerando predecesoras y antecesoras.
 - Estimación de plazos y tiempo de ejecución de un proyecto mediante herramientas BIM para la planificación, programación y control de obra.

17. Diseño sistemas constructivos

- Descripción

Se utiliza para el diseño y análisis de sistemas complementarios para la construcción de la obra. Incluye actividades como apuntalamientos, soportes temporales de taludes, protección de excavaciones, iluminaciones temporales, señalización (cierres de carreteras o modificaciones de vía) y otros sistemas temporales.

- Valor potencial
 - Incremento en la seguridad de los trabajadores y la obra en general.
 - Concientizar sobre los riesgos presentes en los sitios de trabajo, procurando mayor precaución por parte de todos los involucrados en las labores.
 - Facilitar la construcción de un sistema complejo, mediante diseños previos y detallados.
 - Programar la utilización de insumos temporales, garantizando la disponibilidad en el momento necesario.

- Recursos requeridos
 - *Software* de modelado y manejo de modelos BIM.
 - Cronograma de obras.
 - Normativa vigente sobre seguridad ocupacional.

- Competencias requeridas
 - Representación de la información gráfica y no gráfica de un proyecto en BIM, mediante planimetría, modelado, reportes, tablas, planillas y otros.
 - Desarrollar la información gráfica y no gráfica de un modelo BIM conforme el tipo de información, nivel de información y entregable BIM para cada etapa y especialidad del proyecto.
 - Importación y exportación de información a *software* de tablas de cálculo y otros formatos gráficos como DWG y DWF.
 - Configuración de la interfaz de *software* BIM para obtener plantillas de visualización e información predeterminadas.
 - Automatización de tareas y funciones de *software* de modelado y administración de modelos BIM.
 - Conocimiento de los métodos constructivos apropiados para cada componente.

19. Control de obra

- Descripción

Proceso que utiliza modelos BIM para realizar monitoreo, análisis y administración de las tareas de construcción. Se realiza para asegurar el cumplimiento de diseños, especificaciones, normativas y requisitos establecidos en la etapa de diseño. Permite documentar el estado de los trabajos para realizar el pago de avance y cumplimiento de hitos. A manera de ejemplo, en la Figura 3-5 se observa la utilización de un dispositivo móvil para corroborar la ubicación de sistemas de descarga en el sitio de obra, permitiendo una inspección más ágil y precisa, conforme los diseños actualizados.
- Valor potencial
 - Incremento en la calidad de los proyectos realizados.
 - Facilidad en el seguimiento de las obras constructivas.
 - Garantizar el cumplimiento de la normativa involucrada.
 - Respaldo de los pagos de avance realizados.
 - Verificación del cumplimiento de plazos, cronogramas de trabajo y entregables.
- Recursos requeridos
 - Instrumentos de medición y registro digital.
 - *Software* para manejo de modelos 3D.
 - Normativa vigente de cada área de especialidad.
- Competencias requeridas
 - Formatos e interfaz para la representación visual de la información en diferentes dispositivos fijos y móviles.
 - Importación y exportación de información en formatos IFC, XML, GIS, BCF, entre otros.
 - Plataformas para la gestión y almacenamiento de la información, en el Entorno Común de Datos del proyecto (CDE).

- Ordenar la información de los modelos según las etapas y secuencias constructivas, considerando predecesoras y antecesoras.
- Estimación de plazos y tiempo de ejecución de un proyecto mediante herramientas BIM para la planificación, programación y control de obra.



Figura 3-5. Utilización de dispositivo móvil para el control de obra
Fuente: Autodesk Inc. (2019).

20. Modelación as built

- Descripción
Proceso en que se genera un modelo que representa de manera exacta las condiciones físicas de todo elemento incluido en la infraestructura. Cada elemento debe incluir información sobre el material utilizado, identificación particular, como números de serie y modelos en caso de que existan; control de mantenimiento y ficha técnica. Adicionalmente, se incluye la información sobre el entorno a la edificación o infraestructura, sobre terreno, obras complementarias y vías.
- Valor potencial
 - El propietario o administrador cuenta con las condiciones reales de sitio.

- Generar planes de mantenimiento precisos.
 - Facilidad para realizar futuras modificaciones, reparaciones o sustituciones de los elementos.
 - Permite la integración con los programas de control de la infraestructura.
 - Disminución de la cantidad de documentos necesarios para la entrega de obra.
 - Proporciona información para futuros proyectos con características similares.
- Recursos requeridos
- *Software* para el manejo y modificación de modelos.
 - *Software* para análisis de datos.
 - Base de datos de los equipos incluidos en el proyecto.
- Competencias requeridas
- Representación de la información gráfica y no gráfica de un proyecto en BIM, mediante planimetría, modelado, reportes, tablas, planillas y otros.
 - Desarrollar la información gráfica y no gráfica de un modelo BIM conforme el tipo de información, nivel de información y entregable BIM para cada etapa y especialidad del proyecto.
 - Formatos e interfaz para la representación visual de la información en diferentes dispositivos fijos y móviles.
 - Importación y exportación de información a *software* de tablas de cálculo y otros formatos gráficos como DWG y DWF.
 - Uso de elementos preconfigurados en BIM para lograr la estandarización e interoperabilidad de los modelos y proyectos.
 - Información *as built* necesaria para la gestión, mantenimiento y uso de un activo.
 - Actualización de elementos, datos y modelos BIM de un activo.

21. Gestión de activos

- Descripción
- Este proceso consiste en ligar un *software* de gestión con un modelo *as built* de un activo. El principal objetivo es colaborar con el mantenimiento y la operación de la infraestructura y equipos. Se trata de una interacción bilateral, ya que los modelos deben mantenerse actualizados si se realiza cualquier modificación de un elemento o equipo. En la Figura 3-6 se observa una interfaz de *software* que muestra el estado de los diferentes activos, indicadores de cada uno y, a su lado izquierdo, el listado de próximas tareas, con fecha y responsable de ejecución.
- Además, permite identificar modificaciones realizadas respecto al diseño original, vinculado con la vida útil del activo. Con la información contenida en los modelos actualizados es posible determinar los costos de operación de un activo, facilitando la toma de decisiones respecto a modificaciones o usos del espacio.
- Valor potencial
- Almacenamiento de guías, manuales y fichas técnicas de los equipos y elementos de un activo.

- Mantener actualizados la información de equipos, los programas de mantenimiento, modelos e identificación particular, facilitando el control de activos de las instituciones.
 - Permitir el seguimiento del uso de la infraestructura.
 - Colabora con la planificación de presupuestos de operación requeridos para un activo y sus equipos.
 - Seguimiento de las modificaciones realizadas a un activo durante su vida útil.
- Recursos requeridos
- Sistemas para gestión de activos.
 - *Software* para modelado y manipulación de modelos BIM.
 - Modelos *as built* detallados.
- Competencias requeridas
- Información para el monitoreo del comportamiento de un activo.
 - Información *as built* necesaria para la gestión, mantenimiento y uso de un activo.
 - Datos para cálculo y seguimiento de uso y operación de un activo.
 - Actualización de elementos, datos y modelos BIM de un activo.
 - Monitoreo, seguimiento y reporte de datos para la adecuada operación y control de un activo.
 - Obtención y control de consumo de recursos durante el ciclo de vida de los proyectos, incluyendo la etapa de operación.

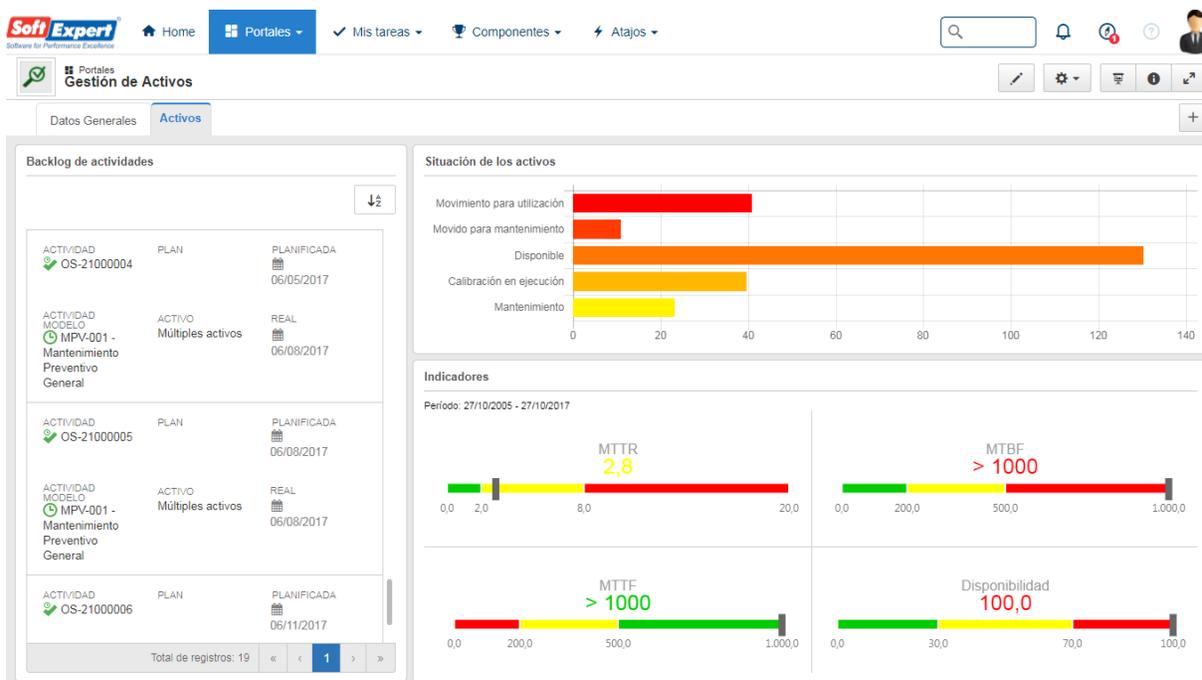


Figura 3-6. *Software para el control de activos*
Fuente: SoftExpert (2022).

23. Mantenimiento preventivo

- Descripción
Proceso en que se utiliza la información de los modelos BIM para monitorear el estado de los activos y generar planes de mantenimiento preventivo, tanto para los equipos como la infraestructura (rieles, durmientes, taludes puentes, entre otros). Se incluye además el mantenimiento preventivo de sistemas propios de la edificación como redes mecánicas o instalaciones eléctricas. Estos programas de mantenimiento, bien desarrollados y aplicados, permiten extender la vida útil de un activo y que opere de manera adecuada. Disminuye la cantidad de eventos que interrumpen la operación normal de la infraestructura, diluyendo los costos de reparación.

- Valor potencial
 - Colabora con la generación de planes de mantenimiento preventivo.
 - Disminución de mantenimientos correctivos inesperados.
 - Obtención de datos históricos para afinar programas de mantenimiento, tanto dentro del proyecto como de proyectos futuros.
 - Facilita la justificación de recursos para ser destinados a los programas de mantenimiento.

- Recursos requeridos
 - *Software* para modelado y manipulación de modelos BIM.
 - Modelos *as built* detallados.
 - Sistemas de administración de mantenimiento computarizado ligado a los modelos *as built*.
 - Interfaz de panel vinculada al modelo *as built* para proporcionar información sobre el rendimiento de los equipos, sistemas y elementos del activo.

- Competencias requeridas
 - Importación y exportación de información en formatos IFC, XML, GIS, BCF, entre otros.
 - Importación y exportación de información a *software* de tablas de cálculo y otros formatos gráficos como DWG y DWF.
 - Información para el monitoreo del comportamiento de un activo.
 - Información *as built* necesaria para la gestión, mantenimiento y uso de un activo.
 - Datos para cálculo y seguimiento de uso y operación de un activo.
 - Actualización de elementos, datos y modelos BIM de un activo.
 - Monitoreo, seguimiento y reporte de datos para la adecuada operación y control de un activo.
 - Obtención y control de consumo de recursos durante el ciclo de vida de los proyectos, incluyendo la etapa de operación.

25. Plan y gestión de emergencia

- Descripción
Proceso en el que el personal encargado de generar los planes de acción, en caso de emergencia, accede a información crítica de los activos, mediante un modelo *as built* actualizado. El propósito es mejorar la eficiencia en la respuesta ante una emergencia, minimizando los riesgos de seguridad para sus ocupantes y el activo. La información activa, o dinámica, es proporcionada por sistemas de automatización de edificaciones (BAS) y lo referente a distribuciones y esquemas de equipos y plantas se obtiene de los modelos BIM. En caso de un evento, el BAS proporciona la ubicación de zonas afectadas y con ayuda de los modelos se plantean las rutas de evacuación más adecuadas y que estén habilitadas.
- Valor potencial
 - Acceso a información crítica de la edificación o infraestructura en tiempo real por parte de los equipos de atención de emergencias.
 - Mejora en la respuesta ante eventos de emergencia.
 - Minimizar el riesgo para los equipos de primera respuesta.
 - Recolección y análisis de información sobre eventos para mejorar los planes de emergencia y ser aplicada en futuros eventos.
- Recursos requeridos
 - *Software* para modelado y manipulación de modelos BIM.
 - Modelos *as built* detallados.
 - Sistema automatizado de edificaciones (BAS), vinculado al modelo *as built*.
 - Sistema de mantenimiento y administración (CMMS), vinculado al modelo.
- Competencias requeridas
 - Formatos e interfaz para la representación visual de la información en diferentes dispositivos fijos y móviles.
 - Importación y exportación de información en formatos IFC, XML, GIS, BCF, entre otros.
 - Importación y exportación de información a *software* de tablas de cálculo y otros formatos gráficos como DWG y DWF.
 - Información para el monitoreo del comportamiento de un activo.
 - Información *as built* necesaria para la gestión, mantenimiento y uso de un activo.
 - Datos para cálculo y seguimiento de uso y operación de un activo.
 - Actualización de elementos, datos y modelos BIM de un activo.
 - Monitoreo, seguimiento y reporte de datos para la adecuada operación y control de un activo.
 - Obtención y control de consumo de recursos durante el ciclo de vida de los proyectos, incluyendo la etapa de operación.
 - Información para planificación de planes de respuesta ante posibles desastres o emergencias.

3.2. Aplicación al INCOFER del modelo para generar hojas de ruta

Como se expuso en las primeras secciones, en este documento se utilizó el modelo propuesto por Carmona (2019) para la elaboración de la hoja de ruta de implementación. Esta elección se realizó con el fin de dar continuidad a trabajos previos de investigación y lograr establecer una sola línea de trabajo, para una implementación más uniforme y realmente integrada.

El modelo propuesto se diseñó para una implementación a nivel nacional, por lo que se debe adecuar para utilizarlo al nivel institucional del INCOFER. Se han establecido treinta tareas a desarrollar dentro del Instituto, de manera secuencial conforme se presenta en la Hoja de Ruta de la Figura 3-7. Para facilitar su lectura, la hoja ha sido dividida en filas correspondientes a los tres campos de impacto que propone el método, que se refieren a las áreas en que es necesario modificar los flujos de trabajo tradicional.

En el campo de políticas, se desarrollan las tareas que guiarán el proceso de implementación. La mayoría de ellas son realizadas por un comité BIM institucional, que fungirá como el mayor responsable de todo lo relacionado con la metodología dentro de los procesos del INCOFER. Este comité será el enlace de la organización con la plataforma nacional para el desarrollo de obra pública. Dentro de sus alcances y responsabilidades se encuentran los aspectos de normativa, de supervisión, de capacitación del personal y de participación en los programas de investigación.

Las tareas del campo tecnología se orientan a identificar, suplir y administrar las necesidades de recursos tecnológicos para el desarrollo de los procesos. Estará a cargo de incorporar herramientas de *software*, *hardware* y métodos de trabajo acorde con los sistemas BIM, procurando la constante actualización e incorporación dentro de los flujos de trabajo. Se incluye también generar y dar soporte a plataformas para la gestión de la información de manera segura y documentada.

El campo de desarrollo se relaciona directamente con la aplicación de las herramientas BIM para la ejecución de los proyectos constructivos. Se encargará de analizar y documentar las experiencias del INCOFER al ejecutar los proyectos, iniciando con el desarrollo de proyectos piloto. Como parte de sus tareas debe establecer los indicadores y procesos de evaluación de proyectos, permitiendo identificar los beneficios, oportunidades de mejora y posibles faltantes de capacitación, recursos o normativa para una mejor ejecución de los proyectos.

Por otro lado, a cada tarea se le asignó un tono, de acuerdo con una clave de color en función del nivel de capacidad requerido para su desarrollo. Estos niveles hacen referencia a una secuencia lógica para la correcta ejecución de las tareas. El nivel de preparación para la implementación BIM se identifica con un color celeste. En esta etapa se conforman los equipos de trabajo y se les asignan responsabilidades y tareas para llevar a cabo el proceso de implementación. Se realiza una evaluación de las condiciones actuales en términos de legislación, recursos, capacidades y capital humano. Con la correcta ejecución de esta etapa, se promueve una implementación ordenada y completa.

En el nivel de modelación, la intención es adquirir los conocimientos y las capacidades propios de la metodología, completando una primera aproximación que permita realizar ajustes dentro de los flujos de trabajo propuestos. Incorpora también el uso de las herramientas para el desarrollo de proyectos piloto.

Posteriormente, a nivel de colaboración, se desarrollan las capacidades para la interacción y el intercambio de información entre los grupos de trabajo. Considera los programas de capacitación, para generar una línea de conocimiento común dentro de la organización. Por último, el nivel de integración se centra en la generalización de los flujos de trabajo propuestos, en donde todos los actores y proyectos adopten la metodología. En esta etapa, se logra la estandarización de los procesos a nivel institucional, que además sean acordes con los procesos a nivel nacional.

Referente a las fases de implementación que se utilizan en el modelo teórico para el desarrollo de hojas de ruta propuesto por Carmona (2019), se consideraron innecesarias cuando se aplica a una institución. En la teoría se plantea como una herramienta para ordenar de manera lógica el proceso, debido a la gran cantidad de organizaciones y actores que involucra; inicia con la fase de preparación, continúan la fase de proyectos piloto y la fase de aplicación voluntaria, y finaliza con la fase de aplicación obligatoria.

En el caso de estudio, se consideró que esta secuencia lógica es proporcionada por el orden brindado por las actividades predecesoras y sucesoras. De manera conjunta, los niveles de capacidades BIM necesarios para realizar las tareas complementan y, de alguna manera sustituyen, las fases de implementación. En cada caso particular, la fase de preparación para la implementación se asocia directamente con el nivel de capacidades inicial, con el que incluso comparte el nombre.

La fase de proyectos piloto se incluye dentro de las actividades recomendadas para el desarrollo del nivel de capacidades de modelación. Inclusive, se presenta una tarea específica para el planteamiento de estos proyectos y otra para su ejecución y evaluación.

En cuanto a las fases de aplicación voluntaria y la aplicación obligatoria, se consideraron fases implícitas del proceso de implementación; según la Hoja de Ruta para la adopción BIM en Costa Rica (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2022), para el momento en que se desarrolla esta investigación se estaba trabajando en la Estrategia para fomentar la implementación BIM a nivel público, por lo que cualquier avance que realice el Instituto será de manera voluntaria. Para finalmente lograr la obligatoriedad, se debe contar con toda una plataforma de tramitología en las instituciones que regulan la actividad de la obra pública, por lo que al INCOFER le compete amoldarse a estas plataformas.

Resulta difícil establecer un periodo de tiempo para el desarrollo de este proceso de implementación. Esta afirmación se justifica debido a las características específicas del Instituto. Además, no se encontró un proceso previo documentado para la implementación de la metodología BIM dentro de una institución pública en Costa Rica. Lo recomendable es que se realice en una sola administración. Es decir, debe completarse antes de las próximas elecciones, en el año 2026. Considerando la secuencia de tareas y la complejidad de ellas, se considera que el proceso puede demorar alrededor de dos años, dependiendo de los recursos con que se disponga y el avance en torno al uso de la metodología a nivel nacional. Cabe mencionar que, de acuerdo con la Hoja de Ruta Costa Rica, para mediados del año 2024 se completará el Estándar Nacional BIM, necesario para la conclusión de la adopción a nivel institucional.

La resistencia al cambio es un aspecto a considerar dentro del proceso de implementación, en especial al trabajar con una institución con gran trayectoria y que actualmente se encuentra en operación. Esta resistencia no se debe entender en todos los casos como una indisposición a nuevas metodologías; en la mayoría de las ocasiones, se debe a un desconocimiento por parte del trabajador sobre los beneficios esperados. Con esto presente, se considera la capacitación y divulgación de los dones de la metodología como las principales herramientas para allanar el proceso de cambio y lograr una mejor percepción por parte de los actores. Dentro de este enfoque, se puede involucrar a los colaboradores dentro de simulaciones de trabajo controladas, en los que se realicen talleres para el acercamiento a las nuevas herramientas y metodologías de trabajo, en un entorno controlado, apaciguando las inquietudes que genera todo cambio.

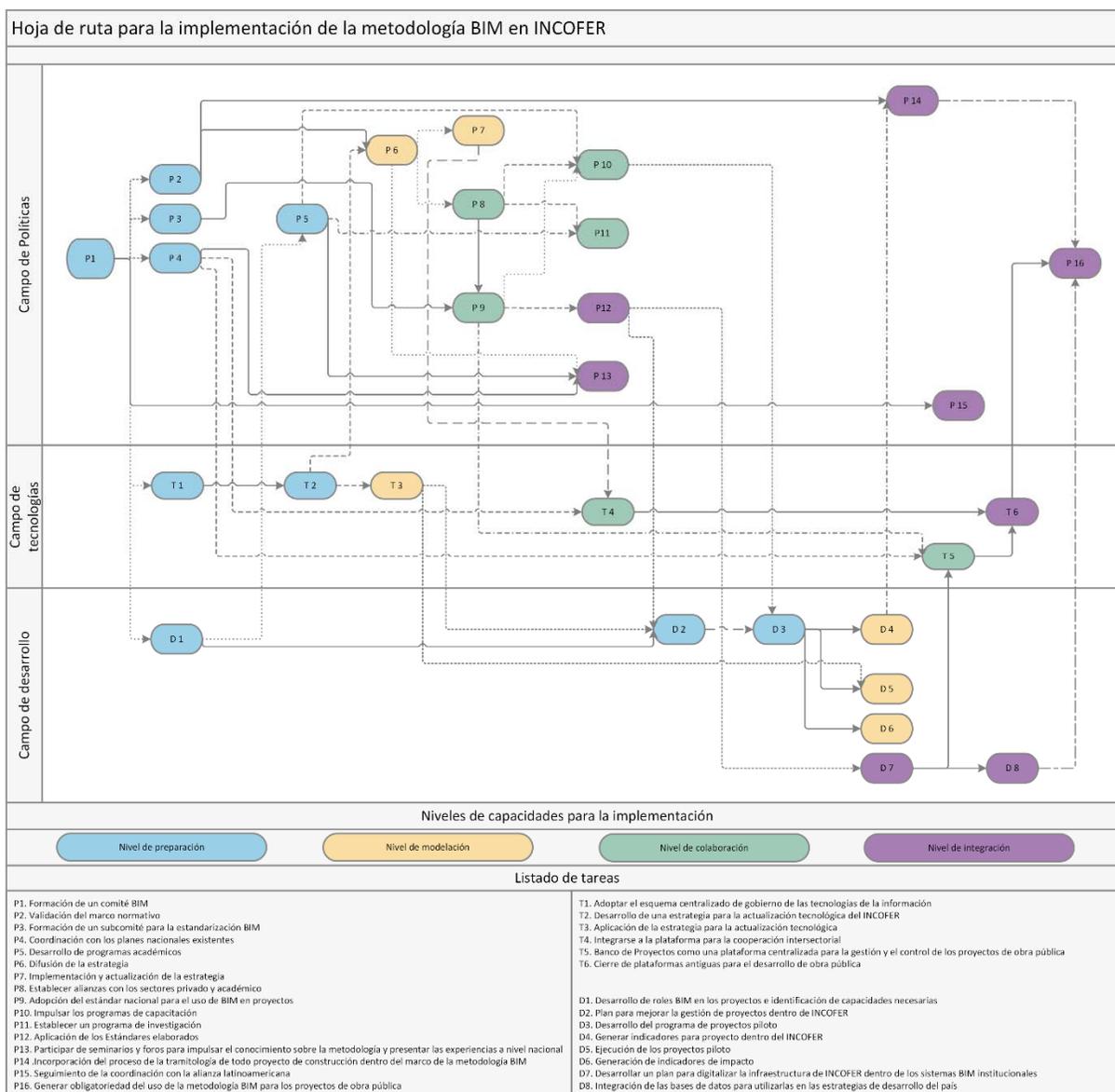


Figura 3-7. Representación gráfica de la hoja de ruta para implementación de la metodología BIM en INCOFER

A continuación, se exponen de manera detallada las treinta tareas que conforman la Hoja de Ruta para implementación de la metodología BIM en el INCOFER. Se presentan agrupadas en los tres campos de impacto, siguiendo el orden de las fases de implementación. Para cada una de ellas se presenta el objetivo, una descripción, los alcances o entregables al completar la tarea y un listado de las tareas con que se debe contar para poder completar la tarea de manera adecuada.

3.2.1. Tareas a realizar en el campo de las políticas

Tareas a desarrollar en la fase de Preparación para la implementación BIM

Tarea P1. Formación de un comité BIM

- a. **Objetivo.** Establecer una coordinación para la adopción de la metodología BIM en el INCOFER.
- b. **Descripción.** Se debe crear un grupo conformado por representantes de los diversos procesos del INCOFER. Debe guiar el proceso de implementación de forma eficiente y tener la facultad de buscar apoyo en el sector privado y la academia para sacar el mayor beneficio posible para el país. Dentro de sus principales tareas debe definir la visión, los objetivos de mejora y el de tiempo para la implementación de la metodología BIM. El grupo debe realizar un análisis de las capacidades de la institución, incluyendo la normativa propia y la nacional; partiendo del estado actual, formulará la estrategia que facilite la implementación, identificar los posibles obstáculos y la manera de superarlos. La institución deberá garantizar que este comité pueda trabajar de manera continua y que su trabajo no se vea afectado por otras tareas. Además, debe asignar la potestad para proponer normativa interna referente a la metodología y la facultad de acceder y supervisar la aplicación de los procesos en los diferentes departamentos.
- c. **Alcances/Entregables.** Establecimiento del comité para generar, guiar y supervisar la estrategia de implementación dentro del INCOFER.
- d. **Antecesoras.**
 - No tiene.

Tarea P2. Validación del marco normativo

- a. **Objetivo.** Comparar el marco normativo actual del INCOFER con las nuevas políticas nacionales de obra pública para determinar si se deben modificar las normas institucionales de acuerdo con los requerimientos para el uso del BIM.
- b. **Descripción.** El desarrollo de esta metodología impacta en las directrices, estándares y normativa dentro de la organización. Se debe analizar la legislación existente para que sea compatible con BIM y favorecer su implementación para hacer más eficientes los procesos de obra pública en el país.
- c. **Alcances/Entregables.** La creación o modificación de la legislación existente que permita integrar los flujos de trabajo BIM en los procedimientos de la institución.
- d. **Antecesoras.**
 - Tarea P1. Formación de un comité BIM.

Tarea P3. Formación de un subcomité para la estandarización BIM

- a. **Objetivo.** Crear un grupo de trabajo para desarrollar un estándar, protocolos y guías para la implementación de BIM en proyectos de obra pública.
- b. **Descripción.** Este subcomité estará integrado por personal técnico que forma parte del comité BIM. Debe establecer los estándares de la metodología BIM para el INCOFER, utilizando como recurso la normativa interna, procesos actuales y material externo como el generado por organizaciones normativas del país, como INTECO y el CFIA, que han iniciado investigaciones en esta materia.
- c. **Alcances/Entregables.** Se debe organizar un grupo de trabajo con actores de experiencia para el desarrollo de la estandarización de esta metodología en el país.
- d. **Antecesoras.**
 - Tarea P1. Formación de un comité BIM.

Tarea P4. Coordinación con los planes nacionales existentes

- a. **Objetivo.** Alinear la estrategia BIM dentro de los planes de desarrollo nacionales.
- b. **Descripción.** Se debe buscar la optimización de los recursos públicos alineando esta metodología a las políticas existentes sobre el tema.
- c. **Alcances/Entregables.** Se busca que esta metodología contribuya a los objetivos para la estrategia del desarrollo nacional en materia de inversión pública y desarrollo de proyectos.
- d. **Antecesoras.**
 - Tarea P1. Formación de un comité BIM.

Tarea P5. Desarrollo de programas académicos

- a. **Objetivo.** Capacitar a las personas relacionadas con los proyectos dentro del INCOFER para el uso de las tecnologías y la metodología.
- b. **Descripción.** En busca de una implementación exitosa, se debe desarrollar un programa de capacitación que no solo se centre en el uso de nuevo *software*, sino que se instruya sobre los flujos de trabajo y estándares que se utilizarán dentro de la metodología BIM. De acuerdo con Carmona (2019), la formación de capital humano es la mayor inversión que se debe realizar para la implementación; el INCOFER puede buscar e impulsar alianzas con la academia que faciliten la capacitación y la formación de nuevos profesionales que cuenten con las capacidades necesarias en la nueva metodología.
- c. **Alcances/Entregables.** Desarrollo de un plan de formación obra capital humano, en alianza con el sector académico.
- d. **Antecesoras.**
 - Tarea D1. Desarrollo de roles BIM en los proyectos e identificación de capacidades necesarias.

Tareas a desarrollar en la fase de Modelación

Tarea P6. Difusión de la estrategia

- a. **Objetivo.** Dar a conocer la existencia de la estrategia BIM y sus beneficios estimados.
- b. **Descripción.** La difusión de esta herramienta es importante con el propósito de aprovechar los recursos que se disponen en el sector público, generar interés de los distintos sectores a nivel país, de manera que todos los actores se preparen y participen de manera activa en los cambios que se van a desarrollar.
- c. **Alcances/Entregables.** Estrategia y plan de comunicación y atención a los cambios que favorezca la modernización en los proyectos de obra pública.
- d. **Antecesoras.**
 - Tarea P2. Validación del marco normativo.
 - Tarea T2. Desarrollo de una estrategia para la actualización tecnológica del INCOFER.

Tarea P7. Implementación y actualización de la estrategia

- a. **Objetivo.** Ejecutar la estrategia elaborada por el comité BIM para desarrollar la adopción de la metodología en los proyectos del INCOFER.
- b. **Descripción.** Se debe realizar un seguimiento en las diferentes líneas de trabajo para detectar posibilidades de mejora, errores o incluso omisiones, que deban modificarse para, mediante estrategia, lograr los objetivos planteados por la institución en cuanto a la implementación de la metodología BIM. Para este control, la estrategia debe contemplar el establecimiento de métodos de evaluación de manera constante y objetiva, para así lograr la mayor eficiencia de los recursos con que cuenta la institución.
- c. **Alcances/Entregables.** Plan de evaluación y actualización de la estrategia de implementación, para realizar ajustes en los flujos o modificar la forma en que se presentan en caso de encontrar puntos de resistencia.
- d. **Antecesoras.**
 - Tarea P6. Difusión de la estrategia.

Tareas a desarrollar en la fase de Colaboración

Tarea P8. Establecer alianzas con los sectores privado y académico

- a. **Objetivo.** Incorporar al sector privado y a la academia para lograr una implementación BIM unificada y organizada que permita a todas las partes alcanzar el mayor beneficio.
- b. **Descripción.** La efectiva implementación de la metodología BIM requiere la colaboración del sector público y el sector privado. Es necesario recordar que, debido a la forma de trabajo del sector público (principalmente mediante licitaciones), el sector privado es uno de los principales actores dentro de la nueva metodología. Además, este sector posee mayor experiencia, por lo que puede aportar gran valor en cuanto a la implementación y los primeros pasos a desarrollar.

- c. **Alcances/Entregables.** Articulación de esfuerzos entre los principales sectores involucrados.
- d. **Antecesoras.**
 - Tarea P6. Difusión de la estrategia.

Tarea P9. Adopción del estándar nacional para el uso de BIM en proyectos

- a. **Objetivo.** Establecer los requerimientos y flujos de trabajo institucionales en BIM, acordes con el marco de referencia estandarizado nacional.
- b. **Descripción.** Es necesario generar las guías y protocolos institucionales acordes con el marco de referencia gubernamental para lograr una comunicación y comprensión de todo el sector de la construcción. Tiene especial importancia para la interoperabilidad de la información y facilitar la coordinación de los diferentes actores en los proyectos. Se debe desarrollar estas guías durante los proyectos piloto para permitir realizar los ajustes como parte de una rigurosa supervisión y una revisión final de objetivos.
- c. **Alcances/Entregables.** Documento con el estándar adoptado en el INCOFER y guía para la ejecución de proyectos en BIM dentro de la institución.
- d. **Antecedentes.**
 - Tarea P3. Formación de un subcomité para la estandarización BIM.
 - Tarea P6. Difusión de la estrategia.

Tarea P10. Impulsar los programas de capacitación

- a. **Objetivo.** Establecer dentro de la Institución un programa de capacitación para el trabajo con la metodología BIM.
- b. **Descripción.** Debe capacitarse al personal que trabajará en los proyectos de manera directa o indirecta para poder ser incorporado a los flujos de trabajo. En busca de una implementación homogénea y coordinada se recomienda elaborar un programa de capacitación que involucre a todo trabajador de la Institución.
- c. **Alcances/Entregables.** Establecimiento de un programa de capacitación institucional que desarrolle las capacidades del capital humano para el desarrollo de las actividades en proyectos BIM.
- d. **Antecedentes.**
 - Tarea P5. Desarrollo de programas académicos.
 - Tarea P8. Establecer alianzas con los sectores privado y académico.
 - Tarea P9. Adopción del estándar nacional para el uso de BIM en proyectos.

Tarea P11. Establecer un programa de investigación

Esta tarea será realizada por el Gobierno central. Al INCOFER le corresponde participar en los programas de investigación según la designación del plan nacional. El comité BIM será el medio de comunicación entre el INCOFER y el programa de investigación al cual sea incorporado el Instituto.

- a. **Objetivo.** Generar una línea de investigación conjunta
- b. **Descripción.** Para optimizar recursos y evitar que se generen investigaciones en competencia, se debe desarrollar una línea de investigación unificada que tenga como objetivo evaluar aspectos de la metodología, buscar la solución a un problema existente o ampliar los conocimientos existentes. Para esto se puede desarrollar un banco de proyectos que sea alimentado por los tres sectores (público, académico, privado), bajo la competencia de MIDEPLAN, por ser el ente gubernamental a cargo de la implementación.
- c. **Alcances/Entregables.** Creación de una línea nacional de investigación. Establecimiento de un banco de proyectos a nivel nacional.
- d. **Antecedentes.**
 - Tarea P5. Desarrollo de programas académicos.
 - Tarea P8. Establecer alianzas con los sectores privado y académico.

Tareas a desarrollar en la fase de Integración

Tarea P12. Aplicación de los estándares elaborados

- a. **Objetivo.** Difundir las guías y los flujos de trabajo dentro de la metodología BIM para su aplicación en los proyectos institucionales.
- b. **Descripción.** Una vez desarrollados los estándares y ajustados con base en la experiencia obtenida de los proyectos piloto, se deben publicar para su uso general en todos los proyectos. Las directrices deben incentivar la aplicación de la metodología, no como una imposición, sino como un beneficio para las partes involucradas en los proyectos. Además, se debe hacer uso de las guías para la gestión de la información BIM, de tal manera que se controlen los procesos y se generen facilidades que disminuyan el riesgo de la aplicación de las herramientas BIM. Es importante generar la regulación para el control de los proyectos que apliquen la metodología BIM dentro del INCOFER.
- c. **Alcances/Entregables.** Incorporación y difusión del estándar generado por los sectores involucrados dentro de las prácticas existentes.
- d. **Antecedentes.**
 - Tarea P9. Adopción del estándar nacional para el uso de BIM en proyectos.

Tarea P13. Participar de seminarios y foros para impulsar el conocimiento sobre la metodología y presentar las experiencias a nivel nacional

- a. **Objetivo.** Difundir la metodología BIM en el sector de la construcción y homologar el conocimiento actual.
- b. **Descripción.** Conforme avance la implementación de la metodología BIM a nivel nacional, se espera generar espacios para la difusión de experiencias y búsqueda del mejoramiento continuo (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2020). El INCOFER debe coordinar con la institución a cargo de la implementación a nivel nacional para aportar en cuanto a información y colaboración para los espacios de difusión. Procurando un proceso unificado, se presentarán proyectos significativos a nivel nacional en que se aplicó la metodología y los planes a futuro de las instituciones. Estos puntos de reunión permiten continuar con la difusión de la metodología, disminuyendo la brecha de conocimiento y aclarando las ideas de los grupos participantes.
- c. **Alcances/Entregables.** Impulso de la adopción de la metodología BIM a nivel nacional.
- d. **Antecedentes.**
 - Tarea P4. Coordinación con los planes nacionales existentes.
 - Tarea P5. Desarrollo de programas académicos.
 - Tarea P6. Difusión de la estrategia.

Tarea P14. Incorporación del proceso de la tramitología de todo proyecto de construcción dentro del marco de la metodología BIM

- a. **Objetivo.** Alinear la tramitología para obtener los permisos de construcción en una forma de trabajo BIM.
- b. **Descripción.** Adaptar los procesos para la obtención de permisos conforme a los lineamientos que establezcan y soliciten las instituciones encargadas. Esta tarea será necesaria en el momento que se formule la nueva normativa a nivel nacional. Es importante definir si se requerirán recursos adicionales para la tramitología.
- c. **Alcances/Entregables.** Definición de tareas a seguir dentro del INCOFER para la obtención de los permisos de construcción en la gestión de proyectos con BIM.
- d. **Antecesoras.**
 - Tarea P2. Validación del marco normativo.
 - Tarea D4. Generar indicadores para proyecto dentro del INCOFER.

Tarea P15. Seguimiento de la coordinación con la alianza latinoamericana

- a. **Objetivo.** Cooperar con países de la región para transmitir experiencia y buscar el desarrollo conjunto de los países latinoamericanos.
- b. **Descripción.** La implementación a nivel nacional ha seguido de cerca la línea del Gobierno chileno y las guías que este país ha generado. Por esta razón, se ha dado un acercamiento con personas e instituciones de Chile y de la región (Ministerio de

Planificación Nacional y Política Económica, 2020). Se pretende aprovechar la experiencia de estos países para generar información e impulsar esfuerzos conjuntos que incrementen las capacidades de los colaboradores y permitan incrementar el nivel de madurez de la implementación de la metodología.

- c. **Alcances/Entregables.** Fortalecimiento continuo de las relaciones multinacionales desarrolladas para la cooperación en temas BIM.
- d. **Antecesoras.**
 - Tarea P1. Formación de un comité BIM.

Tarea P16. Generar obligatoriedad del uso de la metodología BIM para los proyectos de obra pública

- a. **Objetivo.** Eliminar viejas metodologías para desarrollar los proyectos en el INCOFER.
- b. **Descripción.** Al haber generado los nuevos procesos para la realización de los proyectos, se deben eliminar las antiguas prácticas empleadas. Para poder realizar este cierre de la metodología anterior se debe haber logrado una adopción de los nuevos flujos de trabajo por parte del sector público y privado. Deben existir la política, normativa, plataformas y madurez necesarias para cumplir con estos flujos. Es importante que se implementen procesos de mejora continua, para poder optimizar los recursos y evitar atrasos en la realización de los proyectos.
- c. **Alcances/Entregables.** Implementación completa de la metodología BIM en los proyectos desarrollados por el INCOFER.
- d. **Antecesoras.**
 - Tarea P14. Incorporación del proceso de la tramitación de todo proyecto de construcción dentro del marco de la metodología BIM.
 - Tarea T6. Cierre de plataformas antiguas para el desarrollo de obra pública.
 - Tarea D8. Integración de las bases de datos para utilizarlas en las estrategias de desarrollo del país.

3.2.2. Tareas a realizar en el campo de las Tecnología

Tareas a desarrollar en la fase de Preparación para la implementación BIM

Tarea T1. Adoptar el esquema centralizado de Gobierno de las tecnologías de la información

- a. **Objetivo.** Unificar las políticas de adquisición, uso y gestión de las herramientas de *software* y *hardware* en el sector público.
- b. **Descripción.** Se deben adoptar los lineamientos establecidos por el Gobierno central para la obtención de equipos tecnológicos. Para esto se establece un departamento de gestión tecnológica, para que sea el medio de comunicación constante con el MIDEPLAN, en su función de institución a cargo de la implementación nacional. Esta unidad estará a cargo de gestionar las necesidades de adquisición individual del INCOFER. Los recursos obtenidos deben colaborar con el cumplimiento de los objetivos estratégicos de INCOFER y mejorar la productividad del personal. Las funciones del departamento de

gestión tecnológica deben estar dentro de la estrategia institucional BIM y se enfocan en cumplir los lineamientos y tareas desarrolladas en las áreas de Procesos y Políticas.

- c. **Alcance/Entregables.** Políticas de centralización y estandarización de los recursos tecnológicos del sector público.
- d. **Antecesoras.**
 - Tarea P1. Formación de un comité BIM.

Tarea T2. Desarrollo de una estrategia para la actualización tecnológica del INCOFER

- a. **Objetivo.** Impedir la obsolescencia tecnológica del INCOFER.
- b. **Descripción.** Se debe desarrollar una estrategia para realizar evaluaciones en materia de *software*, *hardware* y redes dentro del INCOFER. Esta tarea debe ser realizada por el Departamento de Gestión Tecnológica, en busca de la mejora continua de la productividad y el mantenimiento eficiente de los recursos tecnológicos. Como señala Carmona (2019), se identificó que unos de los puntos que se deben tratar son la obsolescencia tecnológica del sector público y el bajo aprovechamiento de los recursos que se adquieren. Es importante incorporar dentro de las evaluaciones la percepción y opinión de los colaboradores que utilicen directamente las soluciones tecnológicas. Además, si se realiza una modificación de las herramientas utilizadas, es muy probable que le corresponda capacitar al personal para su uso, por lo que debe incluirse dentro del programa de capacitaciones del INCOFER.
- c. **Alcance/entregables.** Bases de datos y guías para la selección y gestión de los equipos tecnológicos y su renovación constante. Plan de actualización tecnológica del sector público.
- d. **Antecedentes.**
 - Tarea T1. Adoptar el esquema centralizado de Gobierno de las tecnologías de la información.

Tareas a desarrollar en la fase de Modelación

Tarea T3. Aplicación de la estrategia para la actualización tecnológica

- a. **Objetivo.** Ejecutar el Plan de actualización tecnológica del INCOFER.
- b. **Descripción.** La ejecución de la estrategia se debe planificar de manera gradual, iniciando por lo proyectos piloto. De esta manera, el cambio tecnológico y la capacitación en el uso de las nuevas herramientas se puede centrar en el personal que desarrollará los proyectos piloto. En esta etapa, se desarrollarán ajustes a las políticas, programas y guías, lo que permitirá modificaciones rápidas que garanticen una implementación exitosa a largo plazo. El plazo para desarrollar esta etapa dependerá de los proyectos elegidos para ser piloto y la duración de estos.
- c. **Alcances/Entregables.** Incluir de manera gradual la estrategia para la actualización tecnológica dentro del INCOFER. Facilitar la implementación de la metodología BIM dentro del instituto.
- d. **Antecedentes.**

- Tarea T2. Desarrollo de una estrategia para la actualización tecnológica del INCOFER.

Tareas a desarrollar en la fase de Colaboración

Tarea T4. Integrarse a la plataforma para la cooperación intersectorial

- Objetivo.** Unificar los esfuerzos del sector público con lo desarrollado en el sector privado y la academia mediante un instrumento de colaboración.
- Descripción.** El MIDEPLAN generará una plataforma intersectorial que permita compartir el conocimiento de los sectores público, privado y la academia e incorporar las experiencias del sector productivo en la fase de desarrollo de los proyectos. En esta plataforma, se pueden presentar las experiencias de implementación de las instituciones piloto que propone la Hoja de Ruta para la adopción BIM en Costa Rica (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2022). De manera complementaria, la plataforma brindará transparencia al proceso de implementación y optimizará el uso de los recursos estatales. Esta plataforma representa una fuente de información para el INCOFER, pues le permite identificar tareas y flujos de trabajo que puedan adecuarse a los requisitos del instituto y demostrar su utilidad en proyectos previos.
- Alcances/Entregables.** Formar parte de la plataforma virtual, como fuente de recursos y contribuyendo a las experiencias propias.
- Antecedentes.**
 - Tarea P4. Coordinación con los planes nacionales existentes.
 - Tarea P7. Implementación y actualización de la estrategia.

Tarea T5. Banco de Proyectos como una plataforma centralizada para la gestión y el control de los proyectos de obra pública

- Objetivo.** Centralizar la información de los proyectos de obra pública.
- Descripción.** El INCOFER debe velar por que los proyectos propios, que se presenten en el Banco de Proyecto de Inversión Pública (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2019) cuenten con la información completa y actualizada para procurar la total transparencia. Con el fin de cumplir con esta tarea, el Instituto debe establecer una plataforma de almacenamiento para los proyectos realizados, y mediante el comité BIM del INCOFER garantizar el acceso de la información a quien le compete. Al tratarse de recursos públicos, es importante que se difunda a la población las inversiones realizadas.
- Alcances/Entregables.** Plataforma institucional para el control de proyectos acorde con los flujos de trabajo de la metodología BIM y su coordinación con el Banco de Proyectos de inversión pública.
- Antecedentes.**
 - Tarea P4. Coordinación con los planes nacionales existentes.
 - Tarea P9. Adopción del estándar nacional para el uso de BIM en proyectos.

- Tarea D7. Desarrollar un plan para digitalizar la infraestructura del INCOFER dentro de los sistemas BIM.

Tareas a desarrollar en la fase de Integración

Tarea T6. Cierre de plataformas antiguas para el desarrollo de obra pública

- Objetivo.** Concluir con los flujos de trabajo utilizados hasta el momento y unificar los flujos de trabajo dentro de la metodología BIM.
- Descripción.** Al incorporarse los nuevos flujos de trabajo y adoptar la metodología nacional BIM, se deben descartar los flujos de trabajo utilizados hasta el momento. Para garantizar el cumplimiento de la nueva normativa y formar parte integral del esquema nacional planteado no se puede utilizar más herramientas que las que aporta la estrategia BIM. De esta manera, se pretende reducir costos y la obsolescencia de la información, al centrar la información en un repositorio común que sea más eficiente. Para garantizar que no se pierda información se debe preparar un plan de transición, donde se consideren los proyectos en desarrollo actual y futuro, así como el respaldo de la información de proyectos anteriores.
- Alcances/Entregables.** Plan de transición de la antigua metodología a los nuevos flujos de trabajo colaborativos y unificados para el desarrollo de proyectos de obra pública en INCOFER.
- Antecedentes.**
 - Tarea T4. Integrarse a la plataforma para la cooperación intersectorial.
 - Tarea T5. Banco de Proyectos como una plataforma centralizada para la gestión y el control de los proyectos de obra pública.

3.2.3. Tareas a realizar en el campo del Desarrollo

Tareas a desarrollar en la fase de Preparación para la implementación BIM

Tarea D1. Desarrollo de roles BIM en los proyectos e identificación de capacidades necesarias

- Objetivo.** Identificar en las necesidades de formación en la metodología BIM para los trabajadores de INCOFER en los proyectos.
- Descripción.** Se deben identificar y definir los perfiles profesionales de personal asociado al desarrollo de proyectos dentro del INCOFER. Dentro del perfil se deben establecer las características y capacidades que deben tener los colaboradores. El paso siguiente sería realizar una evaluación al personal con que se cuenta y definir, si cabe, las capacidades faltantes por grupos de trabajo para desarrollarlas mediante el programa de capacitación.
- Alcances/Entregables.** Establecimiento del perfil profesional y las capacidades necesarias para el desarrollo del trabajo dentro de la metodología BIM.
- Antecedentes.**

- Tarea P1. Formación de un comité BIM.

Tarea D2. Plan para mejorar la gestión de proyectos dentro del INCOFER

- a. **Objetivo.** Abordar las debilidades actuales en los proyectos desarrollados mediante la inversión pública.
- b. **Descripción.** De acuerdo con Carmona (2019), en el desarrollo actual de los proyectos las principales carencias se encuentran en las áreas de planificación y de mantenimiento durante el ciclo de vida. Para mejorar las condiciones de inversión, se propone implementar a nivel país una cultura de gerencia, dando especial énfasis a la parte de planificación y gestión de los proyectos. Esta implementación forma parte de la Estrategia Nacional BIM (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2020), liderada por el MIDEPLAN, y debe establecer estándares y regulaciones que permitan la mejora continua. El INCOFER debe prepararse para utilizar las guías nacionales, centrado en el mejor aprovechamiento de los recursos públicos con la premisa de centrar los esfuerzos en la etapa de planificación de los proyectos para agilizar las otras etapas y disminuir los costos.
- c. **Alcances/Entregables.** Participar de la cultura nacional única para gestión de proyectos con inversión pública.
- d. **Antecedentes.**
 - Tarea P12. Aplicación de los estándares elaborados.
 - Tarea T3. Aplicación de la estrategia para la actualización tecnológica.
 - Tarea D1. Desarrollo de roles BIM en los proyectos e identificación de capacidades necesarias.

Tarea D3. Desarrollo del programa de proyectos piloto

- a. **Objetivo.** Aplicar en proyectos la estrategia desarrollada para realizar ajustes dentro de un entorno controlado.
- b. **Descripción.** Desarrollar proyectos piloto dentro de la nueva estrategia permite obtener destrezas (por parte de todos los equipos involucrados) bajo un entorno supervisado. De esta manera, es posible identificar puntos de mejora y realizar ajustes que, al tratarse de proyectos puntuales, representen una menor inversión de recursos. Con las destrezas y experiencias que se acumulen, se incrementa el conocimiento y permite alinear las estrategias a los requerimientos reales del Instituto. Es importante mencionar que los resultados observados en los proyectos propios colaboran con el conocimiento de todo el sector, por lo que es importante que se transmitan mediante el programa nacional de investigación, la red de cooperación intersectorial y el Banco de Proyectos del MIDEPLAN.
- c. **Alcances/Entregables.** Listado de proyectos piloto a desarrollar, los principales criterios a evaluar junto con las guías para supervisar las labores.
- d. **Antecedentes.**
 - Tarea P10. Impulsar los programas de capacitación.
 - Tarea D2. Plan para mejorar la gestión de proyectos dentro del INCOFER.

Tareas a desarrollar en la fase de Modelación

Tarea D4. Generar indicadores para proyecto dentro del INCOFER

- a. **Objetivo.** Establecer los criterios y mecanismos para medirlos al realizar evaluaciones de los proyectos desarrollados por el INCOFER.
- b. **Descripción.** Es importante desarrollar los indicadores para evaluar los proyectos de acuerdo con los mismos criterios y poder realizar comparaciones de algunos de los valores. Se deben establecer indicadores para los aspectos de costos, duración, calidad, riesgo y flujos de trabajo.
- c. **Alcances/Entregables.** Establecer el mecanismo para la evaluación de los cambios en los indicadores de los proyectos según se aplique la metodología BIM, de manera que facilite identificar los puntos de posible mejora.
- d. **Antecedentes.**
 - Tarea D3. Desarrollo del programa de proyectos piloto.

Tarea D5. Ejecución de los proyectos piloto

- a. **Objetivo.** Desarrollar los proyectos piloto que se definieron previamente.
- b. **Descripción.** Partiendo del listado de proyectos, junto con los conceptos y criterios que se deben evaluar, se deben ejecutar los trabajos de manera controlada para minimizar el riesgo y lograr los ajustes necesarios. Al tratarse de proyectos de gran extensión, sería recomendable desarrollarlos por etapas; de esta manera, en caso de realizar ajustes o cambios, los costos serían menores a que si se realizan en toda la extensión del proyecto. Se recomienda establecer cierres parciales por sector para permitir evaluar de manera más temprana posibles puntos de mejora.
- e. **Alcances/Entregables.** Informes de proyectos y ajustes en la estrategia institucional para la implementación de la metodología BIM.
- c. **Antecedentes.**
 - Tarea T3. Aplicación de la estrategia para la actualización tecnológica.
 - Tarea D3. Desarrollo del programa de proyectos piloto.

Tarea D6. Generación de indicadores de impacto

- a. **Objetivo.** Valorar el impacto económico de la adopción de la metodología BIM en proyectos de obra pública.
- b. **Descripción.** Al aplicar la metodología se deben conocer cuáles son las variaciones de los criterios económicos del Instituto. Al tratarse de una institución pública (cuyos proyectos presentan mayor ganancia en el aspecto social que en réditos económicos para la institución), es difícil presentar parámetros para esta evaluación. Se recomienda utilizar una comparativa respecto a precios unitarios de proyectos anteriores, tomando en consideración el costo de tiempo, desperdicio y mantenimiento (preventivo y correctivo) de la infraestructura.
- c. **Alcances/Entregables.** Mecanismo para una evaluación de las variaciones económicas en el Instituto al aplicar la nueva metodología.

- d. **Antecedentes.**
- Tarea D3. Desarrollo del programa de proyectos piloto.

Tareas a desarrollar en la fase de Integración

Tarea D7. Desarrollar un plan para digitalizar la infraestructura del INCOFER dentro de los sistemas BIM institucionales

- a. **Objetivo.** Desarrollar una base de datos con la información de la infraestructura existente.
- b. **Descripción.** Para la aplicación de la metodología BIM a lo largo de toda la vida útil de los proyectos es necesario generar una base de datos segura, en donde se almacene toda la información existente de los proyectos del INCOFER. Se almacenará la información de estado actual, planes de mantenimiento, diseños y programas de mejora, así como documentos necesarios para la correcta operación y reparación. Cabe señalar que se deben incluir todos los proyectos de infraestructura pertenecientes al Instituto y no solamente los que se encuentren en desarrollo. Dentro de los flujos de trabajo, se debe incluir la tarea de actualizar la información de los proyectos en caso de que se realice alguna modificación o si se genera nueva información.
- c. **Alcances/Entregables.** Creación y constante actualización de una base de datos para el almacenamiento de la información de los proyectos propios del INCOFER.
- d. **Antecedentes.**
- Tarea P12. Aplicación de los estándares elaborados.

Tarea D8. Integración de las bases de datos para utilizarlas en las estrategias de desarrollo del país

- a. **Objetivo.** Incorporar dentro del proceso de planificación y gestión del INCOFER el uso de las bases de datos de generadas con la información de los proyectos.
- b. **Descripción.** Con esta herramienta se pueden conocer las necesidades de inversión en cada proyecto y permite priorizar los recursos conforme la ruta de desarrollo del Instituto. Se presentan de manera más ordenada y completa los planes de mantenimiento para infraestructura y equipo, colaborando con la planificación y ejecución de los presupuestos.
- c. **Alcances/Entregables.** Poner al servicio del personal encargado de la toma de decisiones información veraz, completa y eficiente de todos los proyectos con que cuenta el INCOFER.
- d. **Antecedentes.**
- Tarea D7. Desarrollar un plan para digitalizar la infraestructura del INCOFER dentro de los sistemas BIM.

3.3. Aplicación de la metodología a nivel proyecto del tren Puntarenas-Alajuela

3.3.1. Descripción del proyecto para la Rehabilitación del servicio ferroviario entre Puntarenas y Alajuela

En Consejo Directivo del INCOFER del 20 de mayo de 2019 se acuerda:

Aprobar la Visión de Reconstrucción de la Vía Férrea del Pacífico, presentada por la Presidencia Ejecutiva de INCOFER. Asimismo, se autoriza a realizar las gestiones que sean necesarias con el fin de realizar los estudios necesarios y poder contar con el financiamiento respectivo para este proyecto. (Instituto Costarricense de Ferrocarriles, 2019)

El proyecto tiene como objetivo: Rehabilitar el servicio ferroviario de carga y pasajeros del Pacífico Central en cuatro años, para mejorar la movilidad y competitividad del país. Dentro de este objetivo se consideró que el servicio sea competitivo y sostenible, para atender las necesidades que derivan de las operaciones en Puerto Caldera y la necesidad de prácticas de movilidad sostenible.



Figura 3-8. *Tramo de vía férrea a intervenir*
 Fuente: Instituto Costarricense de Ferrocarriles (2019).

Debido al cierre técnico del INCOFER en el año 1995, el 97% de la vía férrea entre Puntarenas y Alajuela se encuentra fuera de operación (Instituto Costarricense de Ferrocarriles, 2019). Se observa invasión del derecho de vía con carreteras que tapan la líneas y edificaciones, deslizamientos de terreno y falta de señalización e infraestructura por deterioro y robo. La intervención propuesta, que se puede observar en la Figura 3-8, comprende las vías férreas denominadas: Puerto Caldera-Ciruelas (70 km) y Km 88.4-Puntarenas (28 km) para un total de 98 km.

Dentro de los resultados esperados con el proyecto, el INCOFER señala:

1. Reconstruir la vía férrea en el Sector Pacífico, para restablecer los servicios de pasajeros y carga de manera competitiva y sostenible. Se estima completar la reconstrucción para el año 2023; el tramo Puerto Caldera-Ciruelas (70 km) tiene como meta el año 2022 y el tramo Puntarenas-Kilómetro 88.4 (28 km), el año 2023.
2. Restablecer el servicio de transporte de carga entre Puerto Caldera y un patio intermodal orientado al transporte de contenedores en Ciruelas de Alajuela para el año 2022.

3. Restablecer el servicio de transporte de pasajeros entre Puerto Caldera y Puntarenas, tanto para los pobladores de la zona como para turismo nacional e internacional. Se tendría en funcionamiento a partir del año 2023.

En la identificación del proyecto, se determinó el área de influencia a partir de la ubicación geográfica de la infraestructura, una distancia razonable de desplazamiento para personal del servicio ferroviario y la distancia de transporte carretero de carga para acceder al patio de modal del ferrocarril. En el Cuadro 3-3 se presenta el área geográfica de influencia y la población de cada distrito. La población beneficiada directa la conforman quienes laborarán en la reconstrucción y rehabilitación, y posteriormente en la operación del servicio ferroviario; de manera indirecta, se tiene el desarrollo habitacional, de transporte y comercial que impulsará la operación del proyecto. Resalta que, en general, se trata de una población social y económicamente vulnerable, donde 11 de los 15 distritos presentan más de 15% de pobreza y un desempleo cercano al 14% en la región Pacífico Central. Los beneficios directos e indirectos junto a los beneficiarios se listan en el Cuadro 3-4.

Cuadro 3-3. *Población y área de influencia de la vía férrea a intervenir*

Provincia	Cantón	Distrito	Población
PUNTARENAS	Puntarenas	Puntarenas	10 103
		Barranca	36 758
		Chacarita	19 927
		El Roble	19 954
	Esparza	Espíritu Santo (Caldera)	21 170
		San Juan Grande	8297
ALAJUELA	Orotina	Coyolar	7117
		Hacienda Vieja	1183
		La Ceiba	2405
		Mastate	2106
		Orotina	10 315
		Jesús	4250
	Atenas	Escobal	989
		Concepción	3473
	Alajuela	Turrúcares	9056
		San Antonio	24 971

Fuente: Instituto Costarricense de Ferrocarriles (2019).

Cuadro 3-4. *Beneficiarios del proyecto de tren Puntarenas-Alajuela*

Beneficiario	Beneficio directo o indirecto
Población área de influencia	Dinamización de la economía, pequeños emprendimientos, fuentes de trabajo, posibilidad de tren de pasajeros, desarrollo del turismo.
Instituciones área de influencia	Dinamización de la economía, mejora de infraestructura, opción de proyectos complementarios.
Medio ambiente	Posible cambio de energía fósil a energía limpia y renovable. Mejoramiento sonoro y de contaminación.
Productores agrícolas	Mejor alternativa de transporte de sus productos (tiempo y costo)
Industrias de la zona	Mejor alternativa de transporte de sus productos (tiempo y costo).
Navieras	Mejoramiento de condiciones logísticas
Usuarios Ruta 27	Alternativa de transporte reduce congestión. Se prolonga vida útil de la vía.
Constructores, proveedores de equipos y operadores del proyecto	Participación en las contrataciones.
Usuarios de transporte de carga externos al área de influencia	Posibilidad de transbordo de la carga a un medio más rápido y económico. Cadena logística moderna.
INCOFER	Contribución al desarrollo del país. Fortalece su actividad con un servicio estratégico y rentable.

Fuente: Instituto Costarricense de Ferrocarriles (2019).

De manera preliminar, se estima el costo del proyecto en USD\$100 millones, con un costo estimado de reconstrucción de USD\$600 000.00 por kilómetro, USD\$29 millones para un túnel cerca de Turrubares y USD\$2 millones para la corrección de deslizamientos. Este monto debe ser ratificado por los estudios de factibilidad, los cuales se estiman en USD\$500 000.00 (Instituto Costarricense de Ferrocarriles, 2019).

3.3.2. Definición de aspectos generales para la implementación de la metodología BIM en el proyecto del tren Puntarenas-Alajuela

En el apartado 3.3.1 se presentó un resumen de la Identificación de proyecto de rehabilitación del servicio de tren entre Puntarenas y Alajuela que ofrece el INCOFER (Instituto Costarricense de Ferrocarriles, 2019); en adelante, se hace referencia a este proyecto como *tren Puntarenas-Alajuela*. Utilizando esta información y los OIR del INCOFER, propuestos en el apartado 3.1.1, se procedió a definir los PIR del proyecto en estudio, que se presentan en el Cuadro 3-5. Estos objetivos fueron propuestos dentro de cada una de las fases del proyecto, para cumplir con los resultados y beneficios esperados para la población meta.

Cuadro 3-5. *Objetivos BIM de mejora continua (PIR) del proyecto Puntarenas-Alajuela*

Objetivo general	
Desarrollar el modelado de la información para que los cronogramas de los proyectos planteados no presenten modificaciones sensibles y se garantice el mejor uso de los recursos mediante los presupuestos y levantamientos de condiciones actuales que se presenten.	
Objetivos específicos	
Planificación	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar el trazo actual de la vía férrea y la situación de los terrenos en que se encuentra para su representación en un modelo SIG. • Identificar el estado de la vía existente y determinación del nivel de servicio que ofrece. • Generar propuestas para el trazo y especificaciones de la vía férrea. • Desarrollar un modelo preliminar para establecimiento de fases y áreas de trabajo. • Determinar un estimado de costo inicial conforme las necesidades del proyecto.
Diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar los modelos de información de sitio, geotécnico, de infraestructura, mecánico y de coordinación. • Analizar el impacto ambiental y sustentabilidad de las diferentes propuestas para desarrollar el proyecto. • Coordinar los trámites administrativos y requisitos legales para prevenir demoras en los cronogramas de trabajo.
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Generar planes y cronogramas de trabajo mediante los modelos de información. • Disminuir el desperdicio y tiempos de almacenaje mediante la solicitud de materiales y la implementación de elementos prefabricados. • Desarrollar planos <i>as built</i>, que permitan generar planes de mantenimiento y facilitar las labores de reparación durante la operación.
Operación	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar el control de los activos propios de la institución mediante la información archivada. • Generar planes de mantenimiento preventivo que prolonguen la vida útil de la infraestructura generada. • Generar planes de mitigación en caso de emergencia por desastres naturales o causados por el ser humano.

Retomando el proceso para la generación de una SDI, en el Cuadro 1-2 se mencionan los aspectos mínimos que conforman un SDI. Se señala que es necesario establecer los diversos entregables del proyecto, entre los cuales destacan: Modelos BIM, Información relacionada y el Estado de la información. Se observa que estos objetivos se aproximan a pasos o entregables del proyecto, que se relacionan estrechamente con los hitos de madurez BIM que presenta el modelo de madurez utilizado dentro de esta investigación y que se detalla en el apartado 3.2.2.

De manera similar al ejercicio realizado con los OIR, se tomaron los PIR y se identificaron los usos BIM que presentan el mayor valor potencial para lograr los objetivos del proyecto. En el Cuadro 3-6 se señalan estos usos, los cuales son consistentes con los usos propuestos para el nivel de organización. Es de esperar que los usos propuestos a nivel de organización y los usos a nivel de proyecto sean muy similares, esto debido a la estrecha relación entre los OIR y los PIR.

Cuadro 3-6. Matriz de usos BIM para el proyecto del tren Puntarenas-Alajuela

PLANIFICACIÓN	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN
1.Levantamiento de condiciones existentes			
2.Estimación de cantidades y costos			
3.Planificación de fases			
4.Análisis del cumplimiento del programa espacial (zonificación)			
5.Análisis de ubicación			
6.Coordinación 3D			
7.Diseño de especialidad			
8.Revisión de diseño			
9.Análisis estructural			
10.Análisis lumínico			
11.Análisis energético			
12.Análisis mecánico			
13.Otros análisis de ingeniería			
14.Evaluación de sustentabilidad			
15.Valoración de normativas			
16.Planificación de obra			
17.Diseño sistemas constructivos			
18.Fabricación digital			
19.Control de obra			
20.Modelación <i>as built</i>			
21.Gestión de activos			
22.Análisis de sistemas			
23.Mantenimiento preventivo			
24.Gestión y seguimiento de espacios			
25.Plan y gestión de emergencia			

 Usos BIM propuestos a utilizar por INCOFER

Para obtener el mayor beneficio de estos usos se requiere aportar información precisa y completa. Parte de la información recolectada se utiliza a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto y otra solamente se emplea en tareas puntuales en un momento dado. Por ejemplo, la información del sitio se utiliza a través de las cuatro etapas: para evaluar las condiciones actuales, generar planes de trabajo, para el plan de seguridad y para los planos *as built*. Por otro lado, datos como el soleamiento se suelen utilizar únicamente para el análisis de sustentabilidad ambiental. En el Cuadro 3-7 se expone el propósito con que se utilizará la información en las diferentes etapas del proyecto; al conocer el uso que se le dará, se obtienen los datos necesarios para cumplir los objetivos y evita la recolección de información innecesaria.

Cuadro 3-7. Propósito de la información solicitada en cada fase del tren Puntarenas-Alajuela

Etapa de Definición	Etapa de Diseño	Etapa de Construcción	Etapa de Operación
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de condición actual • Determinación de requerimientos • Presentación de alternativas • Evaluación y elección de las alternativas propuestas • Compromiso del INCOFER y la parte contratada 	<ul style="list-style-type: none"> • Compromiso del INCOFER y la parte contratada • Determinación de cantidades • Sectorización de las áreas de trabajo • Generación de planes de trabajo y cronogramas • Estimación de costos • Evaluación de sustentabilidad • Análisis de ingeniería • Determinación de requisitos especiales 	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de seguridad laboral • Plan de emergencia • Presupuesto definitivo • Control de avance • Encargo de elementos prefabricados • Coordinación entre las áreas de trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de planos <i>as built</i> • Verificación de especificaciones • Control y gestión de activos pertenecientes al INCOFER • Comprobación de trabajo realizado • Planes de mantenimiento • Planes de emergencia

Continuando con la propuesta de implementación a nivel de proyecto del tren Puntarenas-Alajuela, se planteó un organigrama de roles BIM para el desarrollo del trabajo. Se observa en la Figura 3-9 el organigrama de responsables BIM, donde se marcan en azul los roles BIM que asumiría personal del INCOFER y en verde, los roles BIM de personal externo a la institución.

Es relevante recordar que actualmente el INCOFER cuenta con poco personal para cubrir todas sus funciones, por lo que se propuso la delegación a organizaciones externas de algunos de los roles para el organigrama presentado. Como el proyecto es desarrollado por el INCOFER, el rol de Promotor recae sobre la Junta Directiva, al ser la que solicita y decide poner en marcha el proyecto y, en su momento, determinando el oferente al que se le adjudicarán las obras. La Gerencia de Operaciones tiene el rol de director de Proyecto, por lo que debe gestionar el proyecto de manera que se cumplan los objetivos establecidos por el Promotor. Se le suma la responsabilidad de generar los protocolos BIM, gestionar el plan de proyecto (incluyendo

cronograma, presupuesto y alcances) y hacer seguimiento del estado de avance y comunicar al Promotor.

Atendiendo la complejidad y magnitud del proyecto a desarrollar, se recomienda asignar el rol de director de Gestión de la Información a un grupo de personas y no solo a una en particular. En este caso, se propone al Comité BIM (formado en la Tarea P1 de la Hoja de Ruta propuesta) como el encargado de gestionar y controlar los flujos de información entre todos los actores del proyecto en BIM.

Debido al nivel de madurez BIM y al tratarse del primer proyecto que ejecuta el Instituto dentro de la metodología, se recomienda que el director BIM sea un grupo conformado por personal propio del INCOFER y un contratista externo. En la medida de lo posible, se trata de una organización extranjera con experiencia en el desarrollo de infraestructura ferroviaria mediante la metodología BIM. Se le atribuye como el responsable de la calidad y estructura de contenido para el proyecto en BIM durante todas sus fases de desarrollo. Además, genera el entorno común de datos (CDE) y establece los flujos de trabajo.

De manera general, los coordinadores se encargarán de coordinar el trabajo de su área en específico, debiendo realizar el control de calidad y asegurando la compatibilidad de su área con respecto a los requerimientos del director BIM. Por último, los diseñadores y modeladores serán proporcionados por la empresa adjudicada, debiendo cumplir con todos los aspectos establecidos en el BEP.

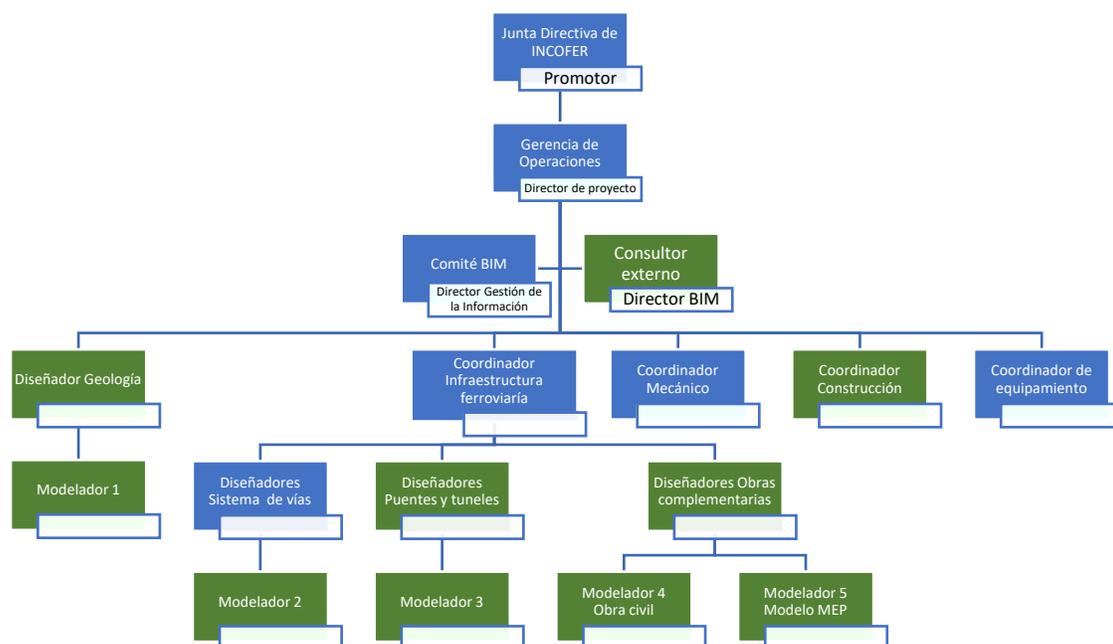


Figura 3-9. Organigrama de trabajo propuesto para el proyecto del tren Puntarenas-Alajuela

3.3.3. Identificación de hitos para un Nivel 2 de madurez BIM del proyecto Puntarenas-Alajuela

Se retomó el modelo de madurez BIM propuesto por Mark Bew & Mervyn Richards (2008). Como se observa en la Figura 3-10, el modelo define tres niveles de madurez para una implementación. Procurando el mejor aprovechamiento posible de la metodología BIM, se propuso orientar el proyecto para alcanzar un Nivel 2 de implementación.

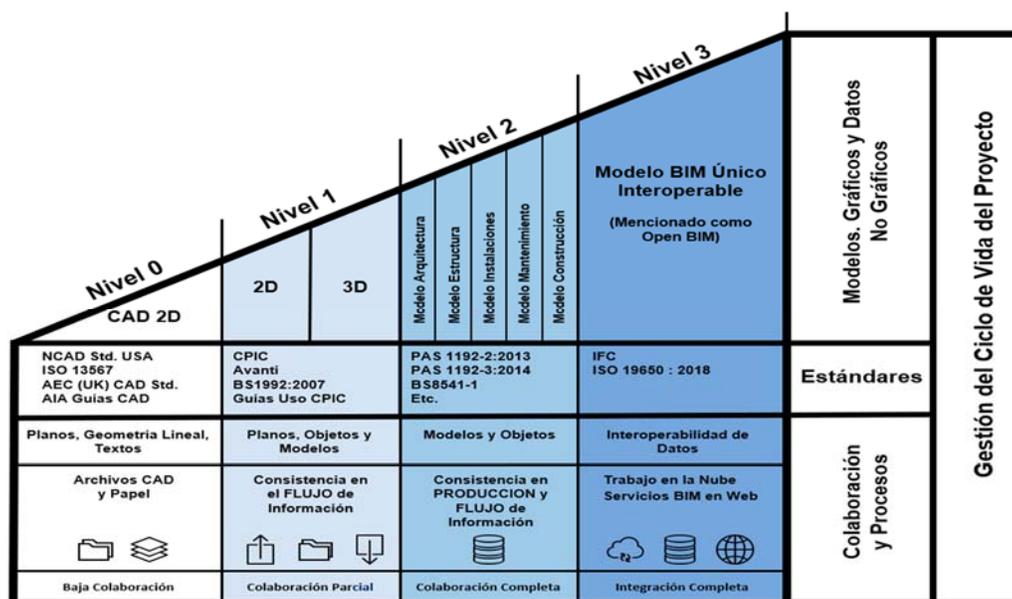


Figura 3-10. Modelo de Madurez BIM británico
Fuente: Rodríguez (2020).

Es importante aclarar que al momento en que se define un proyecto se debe establecer el nivel de madurez BIM con que se desarrollará. Visto de otra manera, el nivel de madurez de un proyecto no es escalonado a través de los niveles; por el contrario, se desarrolla en un nivel específico. Al momento en que cumpla con todos los hitos de ese nivel, se considera que ha alcanzado la madurez requerida. A manera de ejemplo, en lo referente a los estándares, en el Nivel 0 solamente se menciona un estándar para la nomenclatura de información gráfica generada en *software* CAD; para el Nivel 2 se propone el cumplimiento de estándares referentes a modelado y definiciones que competen a *software* de modelado. Resultaría poco productivo realizar diseños en CAD para posteriormente pasar a una etapa de modelado, por lo que, para cumplir con un Nivel 2 de implementación, el proyecto debe desarrollarse en *software* de modelado desde sus etapas de planificación.

Al tratarse de un proyecto muy extenso, en cuanto a tiempo, dimensiones y ubicación geográfica, se recomienda que se desarrolle por etapas. Se consideraría a cada una de esas etapas como proyectos piloto de dimensiones más reducidas, que se pueden ejecutar de manera individual. De esta manera, se pueden completar las etapas de manera secuencial, para que la experiencia acumulada en una sea beneficio para la siguiente. A su vez, se pretende que esto reduzca los costos en términos de la dimensión de posibles errores u omisiones y diluya la inversión necesaria para desarrollar el proyecto completo.

Por lo mencionado anteriormente, se propuso el grupo de hitos para cada uno de los Niveles que define el modelo de madurez BIM seleccionado. Se realizó de esta manera en caso de que se considere valioso desarrollar alguno de los proyectos piloto (como porción del proyecto total) en el Nivel 0 o en el Nivel 1, para adquirir experiencia y capacidades BIM de manera más gradual y menos exigente.

Nivel 0

Se estima que el proyecto actualmente se encuentra planteado para cumplir con este nivel de madurez. Destaca que de momento no se solicita ningún estándar para el dibujo en CAD.

- Información Gráfica y Datos no gráficos

Utilización de *software* de dibujo asistido por computadora (CAD) en 2D, *software* AutoCAD de Autodesk. Se genera información para compartir y publicar en formato de papel o impresión digital. La información se basa en representación gráfica plana (2D) y texto descriptivo de los elementos.

- Estándares

Se debe utilizar una norma para la realización de la información en *software* CAD. Se recomienda adoptar el Estándar Nacional CAD de los Estado Unidos (NCS) por facilidad de acceso al formato y por su implementación dentro de empresas norteamericanas a pesar de no ser obligatorio (National Institute of Building Sciences, 2020).

Como alternativa, se presenta la norma inglesa, centrada en la nomenclatura de las capas de trabajo para el agrupamiento de los elementos dibujados. El sistema de nomenclatura se basa en el sistema Uniclass. La propuesta es facilitar la identificación de calidades de los elementos dibujados como: responsable, área, tipo de información, entre otros (AECUK, 2011).

- Colaboración y procesos

En esta etapa, la comunicación se da a un nivel muy libre, sin facilidad de seguimiento o controles que garanticen la seguridad y trazabilidad de la información. La comunicación entre los equipos de trabajo, la parte constructora y la parte propietaria es lenta y desordenada. La colaboración entre las disciplinas es muy baja; la identificación de conflictos de diseño usualmente se da hasta la etapa de construcción.

Nivel 1

- Modelos Gráficos y Datos no gráficos

En este nivel, se da una combinación de dibujo de planos en 2D y modelado en 3D. Se propone utilizar el *software* Revit de Autodesk. A pesar de que no es especializado para el modelado de infraestructura férrea, su versatilidad permite realizar el modelado de elementos particulares y vincularse con otro *software*, como Navisworks, para la cuantificación de volúmenes y material, generación de cronogramas desde MS Project, listas de control y tabulación de información en MS Excel. El dibujo 2D se continúa trabajando mediante AutoCad, con la facilidad de vinculación a los modelos generados en Revit y migración de archivos al entorno de modelado.

- Estándares

El estándar propuesto en la matriz de madurez es el BS1992:2007. Esta normativa fue sustituida por la norma ISO 19650, por lo que se deberá aplicar la norma nacional INTE/ISO 19650-1; INTE/ISO 19650-2.

- Colaboración y procesos

Dentro de este nivel, se debe establecer un Entorno Común de Datos (CDE). Este CDE será administrado por el contratista a cargo del diseño. Se debe asignar un servidor propio, exclusivo para el proyecto y que se garantice la seguridad física del equipo. El personal de INCOFER a cargo de la supervisión debe tener acceso físico al servidor para corroborar el cumplimiento de lo acordado. Este servidor deberá estar disponible para acceso virtual en todo momento, desde la etapa de adjudicación hasta la entrega del proyecto. La asignación de credenciales de seguridad será responsabilidad del contratista, pero debe otorgarla al personal indicado por INCOFER. Al realizar la entrega del proyecto se deberá hacer entrega de una copia física (Unidad de almacenamiento externo) al INCOFER para su almacenamiento e integración al sistema propio de la institución.

A pesar de utilizar un CDE, la comunicación entre las partes puede dificultarse y ser unidireccional, por lo que todo archivo (ya sea de modelado, dibujo o información no gráfica) deberá manejarse en formatos universales y de libre acceso. Siguiendo el ejemplo planteado en la Guía para generar un SDI (Comisión de Documentación BIM Forum Costa Rica, 2020):

- Planos en formato PDF
- Modelos en formato IFC
- Presupuestos en formato XLS y PDF
- Especificaciones técnicas en formato PDF
- Imágenes en formato PNG
- Videos en formato MPEG

Para garantizar la trazabilidad de la información y el cumplimiento de la seguridad de la información, toda comunicación referente a la toma de decisiones se debe validar mediante correo electrónico autorizado en la contratación. Podrá ser variado mediante acuerdo mutuo de las partes y de manera escrita.

Nivel 2

- Modelos Gráficos y Datos no gráficos

Toda la información del proyecto se maneja en *software* orientado al modelado, dentro de un entorno común de datos. El modelado se realiza en un Modelo Federado (integrado por diversos archivos), asignado a cada una de las áreas de especialización de acuerdo con el siguiente listado:

- Modelo de Condiciones existentes
- Modelo de Sitio (taludes, quebradas, niveles)
- Modelo Arquitectónico
- Modelo de Estructura
- Modelo Electromecánico
- Modelo *as built*

Para realizar un modelado más preciso se puede incorporar el *software* OpenRail, de la compañía Bentley; en Costa Rica es representado por PCcad. Este *software* es específico para el modelado de infraestructura ferroviaria y permite interoperabilidad con otros *softwares* de la compañía para el modelado de infraestructura, el entorno y generación de modelos 3D para la presentación a público en específico.

- Estándares

De manera similar al nivel anterior, el estándar propuesto en la matriz de madurez (PAS 1192-2; PAS 1192-3) fue sustituido por la norma ISO 19650, por lo que se deberá aplicar la norma nacional INTE/ISO 19650-1; INTE/ISO 19650-2.

- Colaboración y procesos

El CDE se maneja de la misma manera que en el Nivel 1. El principal cambio es que todos los colaboradores deben acceder a la información directamente en el CDE; la información contenida tanto en los modelos como en los documentos complementarios debe estar actualizada en momento real, por lo que no deben existir varias versiones. Cada *software* especializado que utilicen los equipos de trabajo individualmente debe tener la capacidad de exportar los archivos y entregables en los formatos propuestos en el Cuadro 3-8.

Cuadro 3-8. *Formato, tamaño y software propuesto para cada tipo de información*

Tipo de entregable	Formato obligatorio	Formato editable (según contrato, última versión)	Tamaño máximo/unidad (MB)	Software disponible por la parte contratante
Informes técnicos	PDF	Aplicación de Microsoft office	50 MB	Aplicación de Microsoft office
Fichas técnicas	PDF	Aplicación de Microsoft office	25 MB	Aplicación de Microsoft office
Planificación	PDF, .mpp	Aplicación de Microsoft office	25 MB	Aplicación de Microsoft office
Presupuesto	PDF	Aplicación de Microsoft office	25 MB	Aplicación de Microsoft office
Modelos inteligentes	IFC	RVT, formatos del proveedor Autodesk, Bentley, propios de la herramienta de especialidad	400 MB	Autodesk: Colección Arquitectura, Ingeniería y Construcción versión 2021
Planos	PDF, DWG	DWG, DGN	25 MB	Autodesk: Colección Arquitectura, Ingeniería y Construcción versión 2021
Mapas	PDF, .shp, .sbn, .prj, .cpg	Shapefiles (SHP, SHX, DBF, PRJ)	15 MB	ARCGIS v2021
Fotografías	.bmp, .tiff	--	25 MB	Aplicación de Microsoft office
Videos	.mp4	mp4	300 MB	Aplicación de Microsoft office

Toda comunicación del proyecto se debe realizar dentro del CDE, mediante una plataforma de comunicación acordada por las partes al momento de la contratación. Esta plataforma debe permitir el almacenamiento de las comunicaciones para futuras referencias y lograr la trazabilidad de la información.

El acceso de cada parte al CDE se deberá realizar mediante usuarios individuales, con certificados de seguridad que permitan proteger la información ante terceros. El sistema debe conservar un registro de la interacción de cada usuario dentro del CDE.

Con estas medidas, se logra tener una interacción completa, donde todo cambio se ve reflejado en un único modelo federado, permitiendo la coordinación de las diferentes disciplinas de manera expedita y evitando confusión en el trabajo realizado.

3.4. Análisis de utilidad del plan propuesto por parte de los expertos en el uso de la metodología BIM

Para concluir la investigación se realizó la fase de evaluación. Con este objetivo se eligió un grupo de ocho personas, integrado por personal del Instituto Costarricense de Ferrocarriles, docentes de la Universidad de Costa Rica y otros profesionales familiarizados con la metodología BIM. El grupo elegido representa a los tres sectores: público, privado y académico.

Posteriormente, se preparó un resumen de la propuesta realizada en el trabajo y la guía de evaluación. En el Apéndice 5 se presenta la guía, en donde se planteó una serie de preguntas y se solicitó señalar qué tan de acuerdo se encuentra el evaluador en escala del 1 al 10, donde 1 representa si está totalmente en desacuerdo y 10, totalmente de acuerdo.

Debido a la heterogeneidad del grupo y algunas restricciones para desplazarse, la recolección de la información se hizo mediante reuniones en plataformas virtuales y entrevistas directas. Con el personal del INCOFER se realizó una reunión mediante la plataforma Microsoft Teams, en la cual se les presentó un resumen del trabajo realizado y el detalle de la propuesta planteada. Al concluir la presentación, se brindó un espacio para dudas, consultas e intercambio de opiniones entre los participantes. Posteriormente, se les solicitó completar la guía de evaluación de manera individual conforme lo expuesto.

Este ejercicio se repitió en una segunda sesión, con los profesionales del sector privado, y en una tercera sesión de la presentación y evaluación, con docentes de la Universidad de Costa Rica. Por solicitud de los participantes, se brindó un espacio de una semana para responder el formulario, haciendo el cierre de los resultados el día 5 de agosto.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del grupo evaluador. Se dividen las consultas en tres grupos, a saber: Preguntas referentes al planteamiento del trabajo; Preguntas en cuanto a la propuesta al nivel general del INCOFER y las preguntas relacionadas con la propuesta a nivel particular del proyecto del tren Puntarenas-Alajuela. Para algunos de los casos se aportó la síntesis de los comentarios específicos de los participantes.

En la Figura 3-11 se presenta el resultado del primer grupo de preguntas. Se obtiene en la primera pregunta un promedio de 8.60, con una respuesta por fuera del promedio. Se consideró que, de manera general, sí se presenta con claridad el modelo que actualmente se utiliza dentro del INCOFER para el desarrollo de los proyectos de infraestructura.

En cuanto al modelo teórico de hoja de ruta seleccionado, se obtuvieron valores muy homogéneos con un promedio de 8.60. Con esto se considera que el modelo elegido sí es adaptable a la estructura e implementación que requiere el Instituto. Aun así, queda un espacio para evaluar otras alternativas que se adapten de una manera más precisa.

Sobre los seis puntos que abarca la propuesta (OIR; Matriz de usos BIM; Hoja de ruta; PIR; Estructura organizacional, Hitos de madurez), el promedio obtenido es de 7.70. En este espacio se coincide que con la propuesta se deja por fuera una parte de la metodología BIM, específicamente la que se refiere al diseño. Se consideró que, por la forma en que se desarrollan actualmente los proyectos y el nivel de madurez BIM con que cuenta el Instituto, el no incluir el diseño facilitará la implementación inicial de la metodología. Se considera más oportuno incluir el área de diseño a futuro, ya con un mayor nivel de madurez institucional.

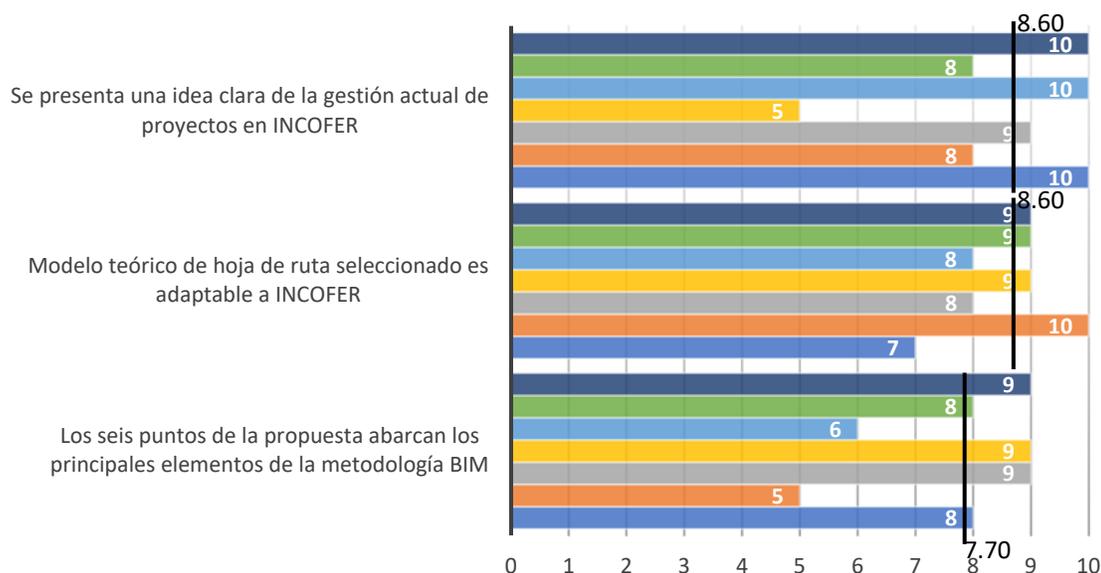


Figura 3-11. Resultados de la evaluación de preguntas sobre el planteamiento del trabajo

Continuando con el segundo bloque de preguntas, expuesto en la Figura 3-12, la aspiración institucional presentada para el INCOFER cuenta con un promedio de 8.60. En general, se percibe de buena manera por parte del grupo evaluador, pero se consideró que en el futuro cercano se debe ampliar hasta incluir las etapas de diseño.

En cuanto a los Objetivos de mejora continua del Instituto, se obtiene un promedio de 9.00, lo que confirma que son objetivos acordes con la misión y visión institucionales y se está orientando la propuesta hacia la ruta adecuada.

Los evaluadores señalaron una afinidad del 9.50 con los usos BIM propuestos para el INCOFER. Se demuestra que la elección realizada representa los usos con el mayor valor potencial para el Instituto. De manera consistente con los puntos anteriores, se señala que los usos de diseño pueden presentar una oportunidad en el futuro cercano.

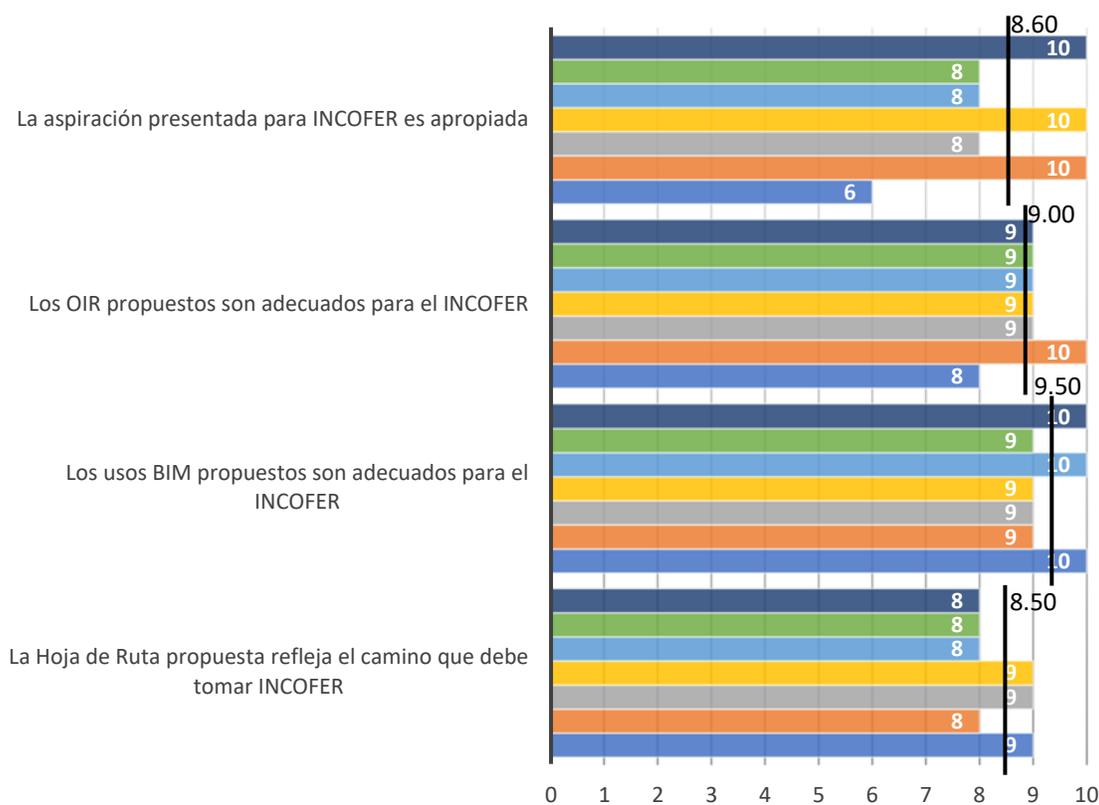


Figura 3-12. Resultados de la evaluación de propuesta a nivel de INCOFER

En el tercer bloque, que se presenta en la Figura 3-13, la evaluación se centra en la propuesta realizada a nivel de proyecto. Se observó que, de manera general, los Objetivos de mejora propuestos para el proyecto reciben una buena evaluación, con un promedio de 8.30. Con este resultado se consideró que el alcance de los objetivos es el adecuado y traza la ruta para el buen desarrollo del proyecto, procurando la optimización de los recursos que requiere.

La afinidad con la propuesta de estructura organizacional presenta un comportamiento interesante. Se presentan dos grupos: es bien recibida por parte del sector privado (los cuales le otorgan un 9), pero desde el sector de la academia y del INCOFER se consideró que puede mejorarse. Las observaciones se centran en que, si bien una estructura con alta participación de personal externo puede solventar la faltante de capacitación dentro del Instituto, a largo

plazo impide que la institución cuente con personal propio capacitado y con experiencia para el desarrollo de los proyectos, incrementando los costos y plazos para su ejecución.

En cuanto a los hitos de madurez propuestos, el promedio general es de 8.40. Esto representa que lo propuesto establece metas realizables, bien identificadas y que se podrían medir con alguna de las herramientas que ofrece la metodología. Cabe resaltar que algunos evaluadores señalan que para lograr el Nivel 2 de implementación se requiere un esfuerzo a escala nacional y de las demás instituciones, por lo que lograrlo no depende solamente del INCOFER ni sus actores. Con lo anterior es de esperar que una implementación a Nivel 2 se concrete en un periodo de tiempo más amplio.

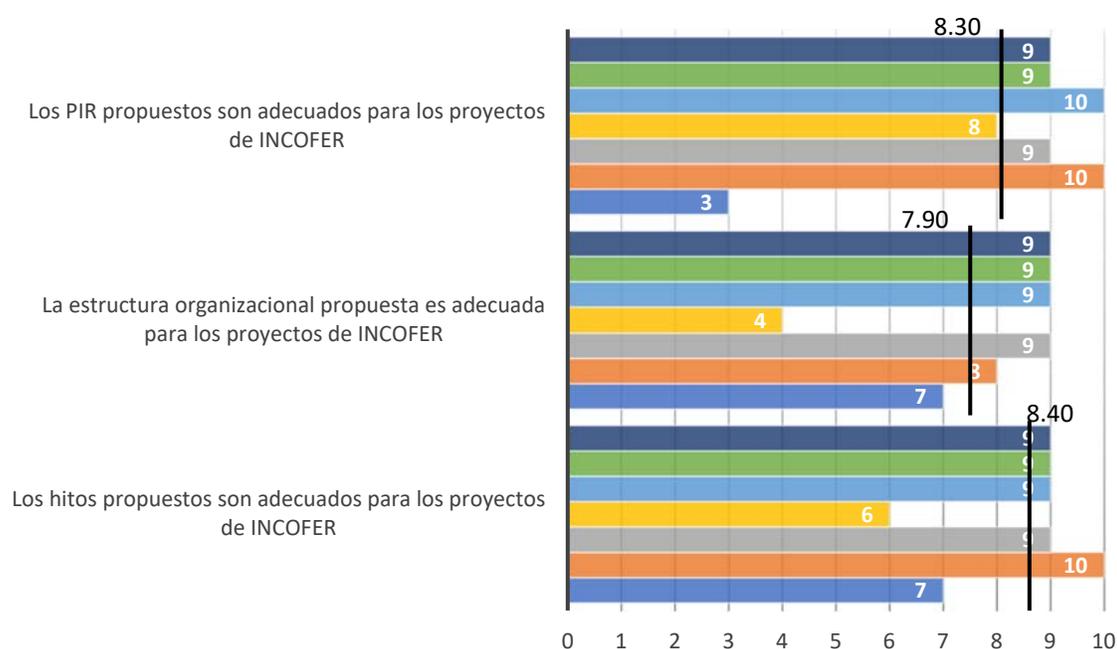


Figura 3-13. Resultados de la evaluación de propuesta a nivel de Proyecto

Finalmente, se solicitó al grupo brindar una evaluación general de la propuesta realizada y la utilidad que puede ofrecer al INCOFER en cuanto a sus funciones de desarrollar obra pública. Como se observa en la Figura 3-14, la percepción general es positiva, con un promedio de 8.40. De esta manera, se concluyó que la propuesta realizada representa una oportunidad de mejora para el Instituto y es posible presentarla como una primera implementación a nivel de institución pública.

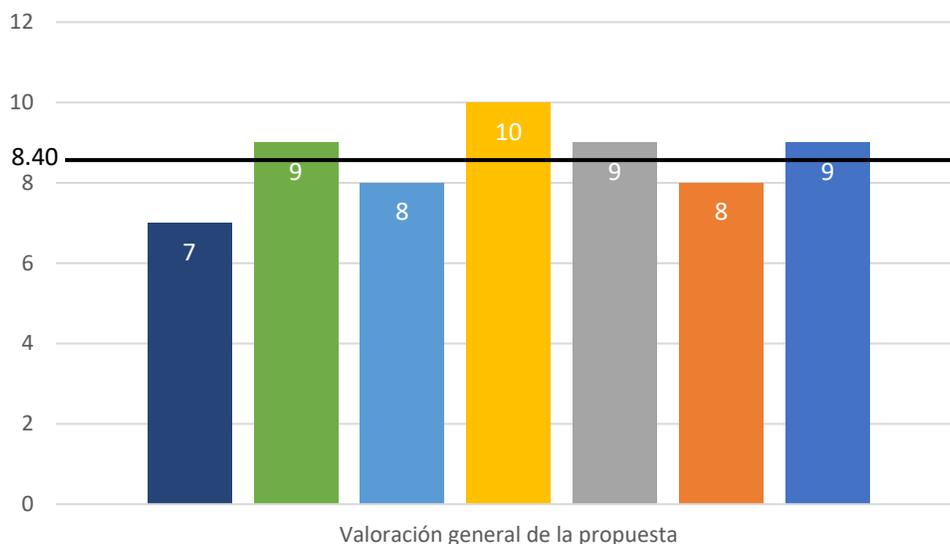


Figura 3-14. Resultados de la evaluación general de la propuesta

Dentro de las observaciones generales, destaca la postura del sector académico. Si bien consideran que se trata de una propuesta muy completa, existe la preocupación respecto a la cantidad de recursos necesarios para llevarla a cabo. Recomiendan realizar una implementación más escalonada, proponiendo las tareas en corto, mediano y largo plazo, con un EDT (estructura de descomposición de trabajo) que facilite su identificación. Como una de las preocupaciones se encuentra el tiempo, ya que se trata de un proceso complejo, el cual debe realizarse de manera completa por un equipo de trabajo consistente, lo cual es difícil de obtener en una institución con poco personal y altos puestos de confianza. Por otro lado, mencionan que es importante considerar la fuga de capital humano, siendo posible que el INCOFER invierta en capacitar personal que sea atraído fuera de la institución debido a los salarios poco competitivos y la fuerte presión del mercado por profesionales en el área del BIM.

Por su parte, el personal del INCOFER consideró que la propuesta debe ser completa, incluyendo además la fase de diseño y evaluación. Si bien consideraron que la propuesta es atinente a la condición y nivel actual de implementación del Instituto, tienen el criterio de que puede volverse obsoleta antes de completarla y requeriría de una nueva propuesta. Con esta justificación propusieron que es posible y beneficioso incluir dentro de la propuesta todas las fases de los proyectos.

Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

- El desarrollo de obra pública a nivel nacional presenta un rezago de hasta 30 años en algunos proyectos, como es el caso del arco de circunvalación norte.
- El atraso para desarrollar obra pública obedece, en alguna medida, a problemas de planificación y gestión de los recursos institucionales.
- Modificar la metodología utilizada actualmente podría agilizar los procesos y disminuir los tiempos de ejecución de proyectos en obra pública.
- Debido principalmente al cierre técnico del INCOFER, la infraestructura ferroviaria presenta estancamiento y un gran deterioro.
- Argentina, Uruguay, Bolivia, Colombia y especialmente Chile son países pioneros de la región en cuanto a implementación de la metodología BIM dentro de las instituciones públicas y sus proyectos.
- El Gobierno de Costa Rica ha formado una Comisión Interinstitucional (CII-BIM) encargada de supervisar la implementación de la metodología BIM en el sector público; esta se constituye como la mayor autoridad nacional en lo referente al tema.
- El Ministerio de Planificación Nacional y Políticas Económicas (MIDEPLAN) está a cargo de dirigir los esfuerzos gubernamentales y emitir directrices a las demás instituciones públicas en cuanto a la implementación de la metodología BIM.
- Las investigaciones académicas en torno al tema de metodología BIM han sido escasas y muy puntuales, centrándose principalmente en aplicaciones prácticas.
- Basado en la revisión bibliográfica realizada para esta investigación, se concluye que la propuesta realizada por Mauricio Carmona Zúñiga en el año 2019 es la primera investigación académica que evalúa el nivel de madurez BIM de los proyectos de obra pública en Costa Rica.
- El modelo de madurez BIM utilizado por el Gobierno británico cumplió con la evaluación requerida para la investigación, permitiendo identificar el nivel de implementación actual y establecer hitos para lograr el nivel deseado.
- Se concluye que el año 2023 es una fecha ideal para iniciar el proceso de adopción dentro de la institución, basado en que la Hoja de Ruta BIM Costa Rica indica que para ese año se ha implementado la estrategia para el financiamiento de iniciativas de Hoja de Ruta BIM.

- El sector privado de la construcción ha colaborado en la difusión y adopción de herramientas propias de la metodología BIM, a través de proyectos piloto y participando en programas como el BIM Fórum Costa Rica.
- De acuerdo con las condiciones observadas y el análisis realizado en esta investigación, se concluye que el INCOFER se encuentra en un momento de oportunidad para la implantación de la metodología BIM.
- Al considerar la información obtenida de las entrevistas guiadas, el organigrama institucional y la guía de proceso y procedimientos, se infiere que el Instituto no cuenta con el capital humano suficiente para asignarlo exclusivamente a tareas de planeamiento.
- El diagnóstico del proceso actual y la propuesta de los nuevos procesos puede sesgarse debido a que, como se observa al realizar las entrevistas y recolectar información, se presentan diferencias entre el organigrama institucional del INCOFER y la estructura real con que opera.
- El contar dentro de la estructura funcional del INCOFER con un departamento dedicado específicamente al diseño de proyectos puede agilizar el desarrollo de las obras. Actualmente, se recarga la responsabilidad de los proyectos directamente en la Junta Directiva, atrasando la labor de ese ente.
- Los objetivos principales de las unidades que componen la Gerencia de Operaciones son poco claros, muy ambiguos y presentan duplicidad entre los distintos departamentos.
- Siguiendo la investigación, con las funciones asignadas actualmente a cada departamento, se deduce que el diseño y la ejecución de proyectos ha tomado un segundo plano, por detrás de la supervisión, mantenimiento y operación de la infraestructura existente.
- Con las entrevistas guiadas, se torna visible la necesidad de generalizar el programa de capacitación institucional, debido a la poca o nula capacitación en torno al desarrollo de proyectos dentro de la metodología BIM que ha recibido el personal en el INCOFER.
- Al observar que el INCOFER ha establecido la plataforma Ágora, se concluye que cuenta con la capacidad para establecer y administrar sus propias bases de datos para el resguardo de la información institucional, facilitando el proceso para el resguardo de la información y generar el CDE de un proyecto.

- Con la recolección de información, se evidencia que a nivel institucional se han desarrollado procesos que son acordes con la metodología BIM, pero con el análisis llevado a cabo en esta investigación se concluye que estos procesos no se presentan de manera estructurada u orientada a la metodología.
- Con este trabajo se establece un conjunto de tareas que permitirán poner en marcha un proceso para una implementación paulatina dentro del INCOFER, optimizando los recursos institucionales.
- Debido a la limitada cantidad de proyectos del Instituto, se propone seccionar el proyecto de estudio en tramos más reducidos, a ejecutar en diferentes etapas, permitiendo desarrollar proyectos piloto para generar experiencia. Al tratar con proyectos de menor dimensión es posible realizar mediciones y estadísticas más precisas.
- Puede representar un gran aporte si se incluyen organizaciones extranjeras con conocimiento en el desarrollo de infraestructura ferroviaria dentro del proceso de proyectos piloto en el INCOFER.
- Se considera viable y beneficioso, para ambas partes, establecer una alianza entre el INCOFER y la academia que permita solventar la escasez de capacitación, tiempo y experiencia que sufren las instituciones públicas.
- Al someter la propuesta de implementación a la opinión del grupo evaluador, se concluye que es de utilidad para el INCOFER y representa una primera aproximación para implementar la metodología BIM dentro de otras instituciones que desarrollen obra pública en Costa Rica.

4.2. Recomendaciones

- Definir, a la mayor brevedad, un grupo institucional a cargo de todo lo referente a la metodología BIM dentro del INCOFER, con capacidades y facultades suficientes para desarrollar su labor de manera continua y fluida.
- Desarrollar dentro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica una línea de investigación en torno a la implementación de metodología BIM que permita generar, recolectar y difundir el conocimiento y prácticas referentes a las instituciones públicas.

- Es necesario aumentar la difusión de la Estrategia Nacional BIM Costa Rica (EN-BIM), ya que al momento de realizar esta investigación se torna evidente el poco conocimiento de ella por parte de los funcionarios públicos y la población en general, a pesar de haber sido publicada en el año 2020.
- Establecer una alianza entre la Universidad de Costa Rica y el Instituto Costarricense de Ferrocarriles.
- Aprovechar la oportunidad que presenta la reestructuración actual del INCOFER para proponer flujos de trabajo que incorporen la metodología BIM.
- Abordar la escasez de recurso humano del INCOFER en cuanto a generación de conocimiento y evaluación mediante proyectos de investigación y programas de práctica profesional.
- Establecer un programa de capacitación básico sobre metodología BIM dentro del INCOFER para su personal administrativo.
- Solicitar apoyo internacional para proyectos de infraestructura, propiciando la adquisición de conocimiento de profesionales con experiencia en el área.
- Aprovechar los programas nacionales de inversión para el planteamiento y desarrollo de los proyectos piloto.
- Tomar ventaja de las oportunidades que se presentan actualmente, con el incremento de la demanda de transporte público eficiente, de bajo costo y confiable.
- Aprovechar el conocimiento acumulado por las instituciones gubernamentales chilenas y el sector privado para establecer sesiones de capacitación y supervisión dentro de las instituciones costarricenses.
- Analizar la posibilidad de generar contratos laborales con funcionarios del INCOFER, que permitan invertir recursos en su capacitación y eviten la fuga de capital humano.

Referencias

- ACCA software S.p.A. (2019). *BIM en el mundo: Estados Unidos los inventores del BIM se han quedado atrás*. Recuperado de <https://biblus.accasoftware.com/es/bim-en-el-mundo-estados-unidos-los-inventores-del-bim-se-han-queda-do-atras/#:~:text=Como%20se%20mencion%C3%B3%20en%20la,del%20BIM%20en%20la%20construcci%C3%B3n.>
- ACCA software S.p.A. (2019b). *BIM en Rusia: el objetivo es ser el punto de referencia a nivel mundial*. Recuperado de <https://biblus.accasoftware.com/es/bim-en-rusia-el-objetivo-es-ser-el-punto-de-referencia-a-nivel-mundial/>
- ACCA software S.p.A. (2020). *BIM en el mundo: el Building Information Modeling está revolucionando el sector AEC*. Recuperado de <https://biblus.accasoftware.com/es/bim-en-el-mundo-el-building-information-modeling-sector-aec/>
- AECUK. (Agosto de 2011). *AEC CAD Standard*. Recuperado de <https://aecuk.files.wordpress.com/2011/08/aecukcadstandardsforlayernaming-v3-01.pdf>
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2002, 7 de setiembre). *Ley N.º 8292, Ley General de Control Interno*. Recuperado de <https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docsweb/documentos/leyes-reglamentos/ley-control-interno-8292.pdf>
- Autodesk Inc. (24 de enero de 2019). *Customer Success Hub*. Recuperado de <https://customersuccess.autodesk.com/success-stories/sweco-saves-150-hours-each-week-on-the-bergen-light-rail-project-using-the-forge-cloud-platform>
- Autodesk. (28 de abril de 2014). *Autodesk Help*. Recuperado de <https://knowledge.autodesk.com/es/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ESP/Revit/files/GUID-71F2C8EE-2A90-4076-A6C7-702082566DDF-htm.html>
- Barone, J. (21 de abril de 2021). *Mass Transit*. Recuperado de <https://www.masstransitmag.com/technology/article/21218777/four-reasons-why-3d-modeling-and-bim-are-the-future-of-infrastructure-design>
- BIM Construction. (2017). *BIM es trabajo en equipo*. Recuperado de <https://www.bim.cr/inicio>

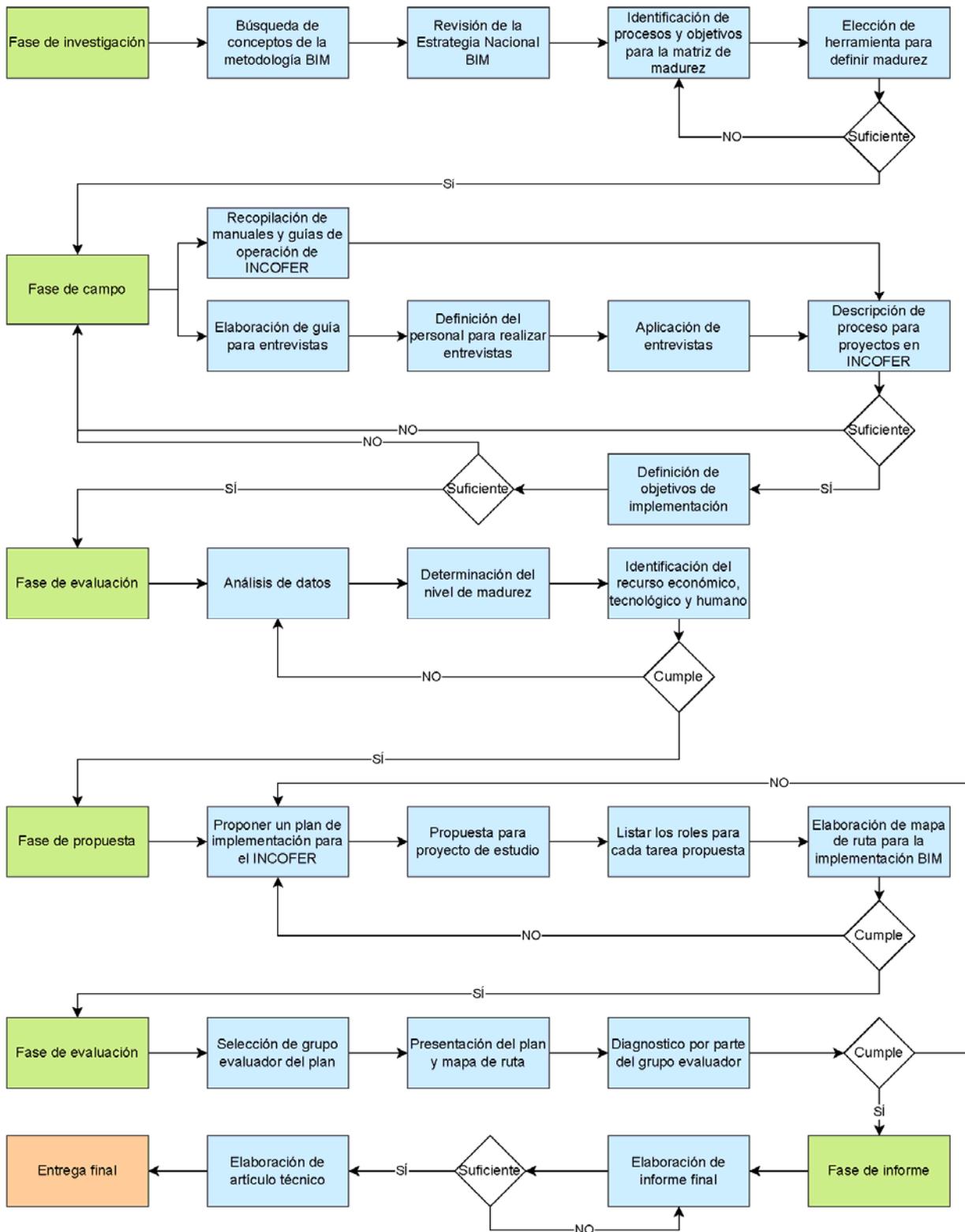
- BIMe Initiative. (2022). *BIM Dictionary*. Recuperado de <https://bimdictionary.com/>
- Cámara Costarricense de la Construcción. (2018a). *BIM Forum Costa Rica*. Recuperado de <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/8989>
- Cámara Costarricense de la Construcción. (2018b). *Guía de implementación BIM para las empresas*. Recuperado de <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/8989>
- Campos, I. (2019). *Guía para la creación de un modelo de quinta dimensión (costo) del BIM en un proyecto constructivo* [tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Recuperado de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/9131>
- Carmona, M. (2019). *Propuesta para la implementación de la metodología BIM en los proyectos de obra pública de Costa Rica* [tesis de licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
- Chonkan, L. J. (2016). *Modelado de información de edificios como herramienta en la programación de obra y mejoramiento de la constructibilidad* [tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Recuperado de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/8751>
- Comisión de Documentación BIM Forum Costa Rica. (2020). *Guía para la elaboración de una solicitud de información BIM (SDI BIM)*. San José: Cámara Costarricense de la Construcción.
- Coto, M. y Elizondo, M. (2021). *Manual descriptivo de los procedimientos de la Gerencia de Operaciones de INCOFER*. San José: Instituto Costarricense de Ferrocarriles.
- EUBIM Taskgroup. (2 de marzo de 2018). *Manual para la introducción de la metodología BIM por parte del sector público europeo*. Recuperado de <http://www.eubim.eu/wp-content/uploads/2018/02/GROW-2017-01356-00-00-ES-TRA-00.pdf>
- González, L. M. (2015). *Modelado de un edificio habitacional utilizando la herramienta BIM para la cuantificación de elementos de construcción* [tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Recuperado de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2956>
- Instituto Costarricense de Ferrocarriles (s.f.). *Organigrama*. Recuperado de <http://www.incofer.go.cr/organigrama/index.htm#>

- Instituto Costarricense de Ferrocarriles. (2018). *Plan estratégico institucional 2019-2023*. San José: Instituto Costarricense de Ferrocarriles.
- Instituto Costarricense de Ferrocarriles. (2019). *Identificación del proyecto: Reconstrucción de la vía y restablecimiento del servicio ferroviario entre Puntarenas y Alajuela*. Recuperado de <http://www.incofer.go.cr/proyecto-tren-pacifico-central/>
- Instituto Costarricense de Ferrocarriles. (2021). *incofer*. Recuperado de <http://www.incofer.go.cr/>
- Instituto Costarricense de Ferrocarriles. (2022). *Plan Operativo Institucional*. Recuperado de <https://drive.google.com/drive/folders/15AVSF6-ra1LIC6oRyrlzpskwXJaYVNuh>
- INTECO. (2020a). *Organización y digitalización sobre edificios e infraestructura, incluyendo modelado de la información con de la construcción (BIM) Parte 1*. San José: INTECO.
- INTECO. (2020b). *Organización y digitalización sobre edificios e infraestructura, incluyendo modelado de la información con de la construcción (BIM) Parte 2*. San José: INTECO.
- Jiménez Maroto, G. (05 de octubre de 2018). *Los atrasos en obra pública se deben a la mala gestión de MOPT y CONAVI*. Recuperado de <https://www.construccion.co.cr/Post/Detalle/24935/los-atrasos-en-obra-publica-se-deben-a-la-mala-gestion-de-mopt-y-conavi>
- Madrigal, L. M. (27 de junio de 2015). Hace 20 años, José María Figueres cerró el INCOFER y el país sufre hoy las consecuencias. *elmundo.cr*. recuperado de <https://www.elmundo.cr/costa-rica/hace-20-anos-jose-maria-figueres-cerro-el-incofer-y-el-pais-sufre-hoy-las-consecuencias/>
- McPartland, R. (2014). *The NBS*. Recuperado de <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>
- Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., . . . Zikic, N. (s.f.). *BIM Project Execution Planning Guide*, 3.0. (Computer Integrated Construction Research Program, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA) Recuperado de <http://bim.psu.edu>

- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (2022). *Hoja de ruta para la adopción de BIM en Costa Rica*. Recuperado de https://documentos.mideplan.go.cr/share/s/_eYKHoQvShu-I7imS1IKGA
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (2020). *Metodología BIM modernizará la construcción de infraestructura pública*. Recuperado de <https://www.mideplan.go.cr/metodologia-bim-modernizara-la-construccion-de-infraestructura-publica>
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (30 de abril de 2019). *Banco de Proyectos de Inversión Pública*. Recuperado de <https://www.mideplan.go.cr/banco-proyectos-inversion-publica>
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (febrero de 2020). *Estrategia Nacional BIM Costa Rica*. Recuperado de <https://documentos.mideplan.go.cr/share/s/MOQwz7ifQI6vwczIxnFldw>
- National Institute of Building Sciences. (2020). *NCS*. Recuperado de <https://www.nationalcadstandard.org/ncs6/>
- Rodríguez, A. (20 de marzo de 2020). *BIM en México*. Recuperado de <https://bimenmexico.blogspot.com/>
- Rodríguez, C. G. (2019). *Plan de Acción para la Implementación de la Metodología BIM en las Operaciones de Constructora Costarricense S.A.* [tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica] Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10988>
- senseFly. (2022). *eMotion*. Recuperado de <https://www.sensefly.com/es/software/emotion/>
- SoftExpert. (2022). *SoftExpert Activo*. Recuperado de <https://www.softexpert.com/es/produito/gestion-activos/>
- Soto, C., Manríquez, S. y Godoy, P. (2019). *Estándar BIM para Proyectos Públicos*. Santiago, Chile: Corporación de Fomento de la Producción.
- Soto, R. (2021). *BIM siendo una moda*. Recuperado de <https://www.construccion.co.cr/Post/Detalle/47038/bim-siendo-una-moda>

- Tilos Americas. (2020). *Petroglyph Project Analytics*. Recuperado de <https://tilosamericas.com/es/case-studies/>
- Torres, I. (febrero de 2020). *IVE Consultores*. Recuperado de <https://iveconsultores.com/diferencia-entre-proceso-y-procedimiento/>
- United-BIM. (s.f.). *UNITED BIM*. Recuperado de <https://www.united-bim.com/>
- Vargas, A. J. (2015). *Implementación del Modelado de Información de la Edificación (BIM) para detectar diferencias entre diseños de profesionales y facilitar el proceso constructivo* [tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Recuperado de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2820>
- Vásquez, A. (2020). *Propuesta de un plan para la implementación BIM en la empresa constructora Estructuras S.A.* [tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11541>
- Villalobos, F. (15 de marzo de 2017). Decálogo para el desarrollo de obra pública. *La Nación*. Recuperado de <https://www.nacion.com/opinion/foros/decalogo-para-el-desarrollo-de-obra-publica/K5G7JYM6LFFKNLMSGCCHIN26YA/story/>

Apéndice 2. Vista ampliada Metodología utilizada en la investigación



Apéndice 3. Cuestionario sobre estado actual del proceso

5/6/22, 13:56

Estado actual del proceso para el desarrollo de e implementación de la metodología BIM en el INCOFER



Estado actual del proceso para el desarrollo de e implementación de la metodología BIM en el INCOFER

2 respuestas

[Publicar datos de análisis](#)

Datos de participante

Nombre del participante

2 respuestas

[Redacted]

[Redacted]

Cargo que desempeña dentro del INCOFER

2 respuestas

Coordinador de Infraestructura Ferroviaria

Gerente

Correo electrónico

2 respuestas

[Redacted]@incofer.go.cr

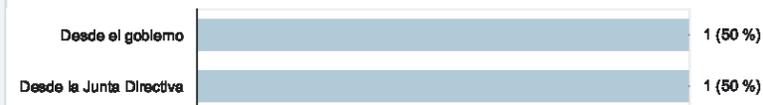
[Redacted]@incofer.go.cr

Procedimiento aplicado a los proyectos de INCOFER

¿Desde donde surgen los nuevos proyectos?

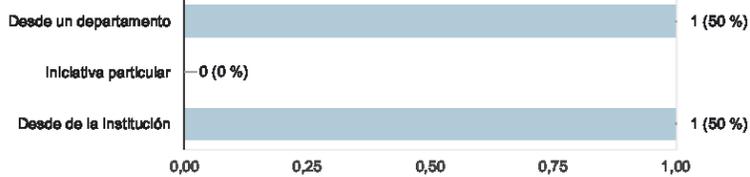
[Copiar](#)

2 respuestas



5/6/22, 13:56

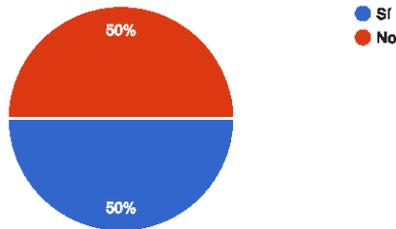
Estado actual del proceso para el desarrollo de e implementación de la metodología BIM en el INCOFER



¿El Incofer o el departamento cuenta con un protocolo para el desarrollo de nuevos proyectos?

Copiar

2 respuestas

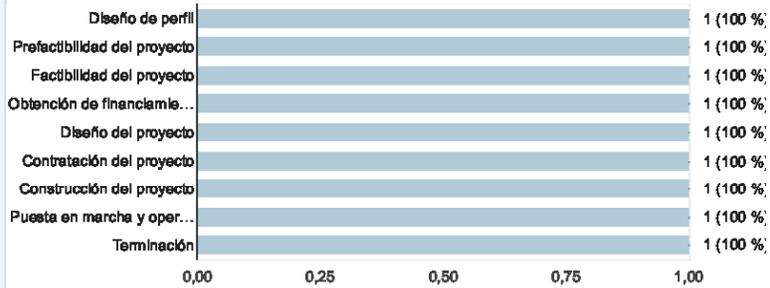


INCOFER cuenta con un protocolo para el desarrollo de nuevos proyectos

¿Cuáles etapas del proyecto se incluyen dentro del protocolo de trabajo?

Copiar

1 respuesta

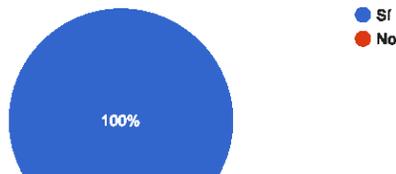


Continúa

¿Los proyectos se inscriben en MIDEPLAN?

Copiar

2 respuestas



5/6/22, 13:56

Estado actual del proceso para el desarrollo de e implementación de la metodología BIM en el INCOFER

Los proyectos se inscriben ante MIDEPLAN

¿Cómo se realiza ese proceso?

2 respuestas

por medio de unidad de planificación del INCOFER

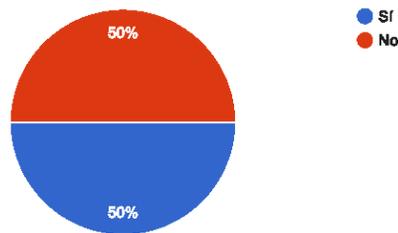
La persona encargada de Planificación Institucional realiza la inscripción con el procedimiento de Mideplan

Continúa

¿Se tiene una matriz de asignación de responsabilidades dentro de un proyecto?

 Copiar

2 respuestas



¿Quién debe revisar y aprobar las diferentes etapas de los proyectos?

2 respuestas

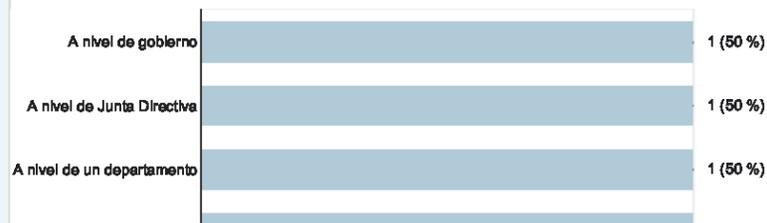
los jefes de departamento los gerentes y los de la prooveduria así como la junta directiva ya al final del proceso

El Administrador del proyecto

¿Dónde se define la prioridad de cada proyecto?

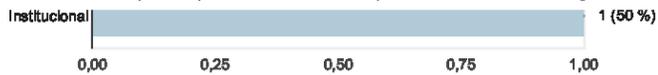
 Copiar

2 respuestas



5/6/22, 13:56

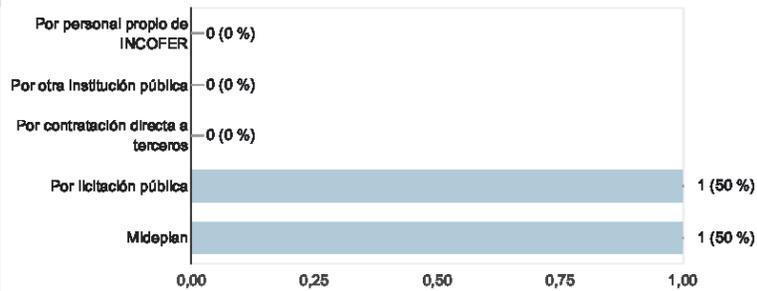
Estado actual del proceso para el desarrollo de e implementación de la metodología BIM en el INCOFER



¿Bajo cuál formato se realizan los estudios de prefactibilidad y factibilidad?

Copiar

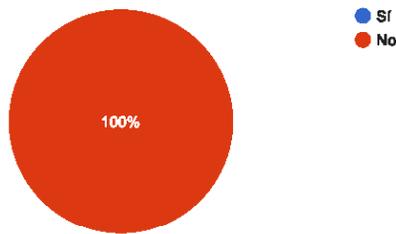
2 respuestas



¿Se cuenta con un departamento de Diseño?

Copiar

2 respuestas



¿Quién (o qué departamento) es el encargado de generar los carteles para el diseño y elaboración del proyecto?

2 respuestas

el personal que genera el proyecto

La unidad técnica encargada

¿Se cuenta con un formato para la presentación de la información?

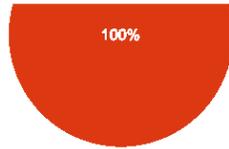
Copiar

2 respuestas



5/6/22, 13:56

Estado actual del proceso para el desarrollo de e implementación de la metodología BIM en el INCOFER



¿De qué manera se da seguimiento a la información?

2 respuestas

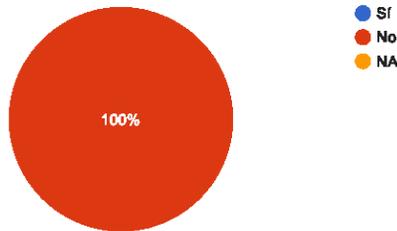
NA

Según el cronograma y entregables

Implementación de la Metodología BIM

¿Actualmente se utiliza de alguna manera la metodología BIM dentro de los proyectos de INCOFER? [Copiar](#)

2 respuestas



Se utiliza la metodología BIM

¿De que manera se utiliza la metodología BIM dentro de los proyectos de INCOFER?

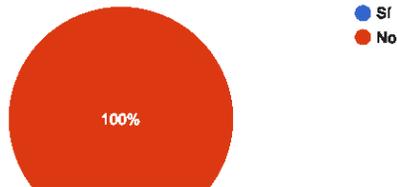
0 respuestas

Aún no hay respuestas para esta pregunta.

Continúa

¿Hay personal encargado para implementar la metodología BIM dentro de la institución, departamento o proyecto? [Copiar](#)

2 respuestas



5/6/22, 13:56

Estado actual del proceso para el desarrollo de e implementación de la metodología BIM en el INCOFER

Hay personal encargado para la implementación de la metodología BIM

¿Cuál es el personal encargado?

0 respuestas

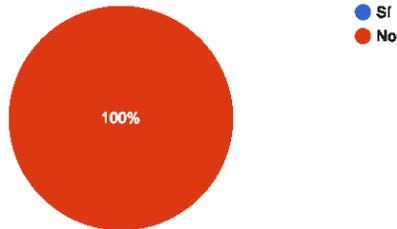
Aún no hay respuestas para esta pregunta.

Continúa

¿Se han establecido los objetivos para la implementación de la metodología BIM?

 Copiar

2 respuestas



Se establecieron los OIR

¿Cómo se pueden consultar estos objetivos?

0 respuestas

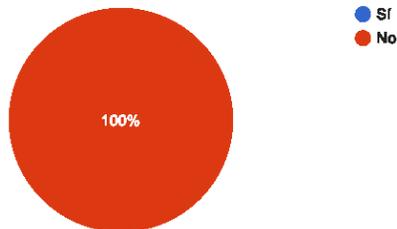
Aún no hay respuestas para esta pregunta.

Continúa

¿En estos momentos se ha destinado recursos para trabajar con la metodología?

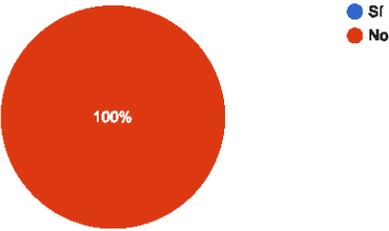
 Copiar

2 respuestas



¿Actualmente se cuenta con un plan para la implementación de la metodología dentro de la institución? Copiar

2 respuestas



Respuesta	Porcentaje
Sí	0%
No	100%

Se cuenta con un plan de implementación

¿Cómo se puede consultar el plan de implementación de la metodología BIM?

0 respuestas

Aún no hay respuestas para esta pregunta.

Comentario final

Comentarios u observaciones

1 respuesta

Se requiere diseñar un proceso junto capacitación y recursos físicos para la implementación, visualizando cual sería el alcance y

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google. [Notificar uso inadecuado](#) - [Términos del Servicio](#) - [Política de Privacidad](#)

Google Formularios



Apéndice 4. Respuesta a consulta técnica sobre OIR

5/6/22, 14:07

Consulta técnica sobre los OIR en INCOFER

Consulta técnica sobre los OIR en INCOFER

El objetivo de este formulario es determinar un orden de prioridad de los posibles beneficios obtenidos con la implementación de la Metodología BIM en INCOFER. Esta información se utilizará para el desarrollo del Trabajo Final de Graduación con el título "Propuesta para la implementación de la metodología BIM en el proyecto de Reconstrucción de la vía y restablecimiento del servicio ferroviario entre Puntarenas y Alajuela".

Se presentan los objetivos de mejora para las cuatro etapas principales de un proyecto; se pretende definir un orden según prioridad (siendo 1 el de mayor prioridad) en cada una de las etapas, para poder perfilar la mejor manera en que la metodología aporte a los procesos dentro del INCOFER.

Etapas de Planificación

	1	2	3
Facilidad de conceptualización, viabilidad y diseño	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Incremento de la calidad y eficiencia de la construcción	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mejora la comunicación mediante entregas conjuntas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5/6/22, 14:07

Consulta técnica sobre los OIR en INCOFER

Etapa de Diseño	1	2	3	4	5	6	7
Visualización de diseño más precisa y temprana	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Correcciones a bajo nivel automáticas, al realizar cambios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Planos en 2D precisos y consistentes	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Colaboración entre múltiples disciplinas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Obtención de estimados de costos en la etapa de diseño	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fácil verificación de la consistencia entre costo y diseño	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mejora en la sostenibilidad y la eficiencia energética	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					

5/6/22, 14:07

Consulta técnica sobre los OIR en INCOFER

Etapa de Construcción						
	1	2	3	4	5	6
Fabricación de componentes a partir del modelo virtual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fácil identificación de cambios en el diseño	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rápida reacción ante cambios en el diseño	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Concordancia ente el diseño y la planificación de obras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sincronización de adquisiciones con el diseño y construcción	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reducción de desperdicio y ordenes de cambio	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				

Etapa de Operación			
	1	2	3
Mejora en los procesos de mantenimiento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mejor manejo de la información de la obra	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Integración con los sistemas de administración y manejo de la obra	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

https://docs.google.com/forms/d/1FFowMM0JM1z60FwohIFV_zQ6YDYzR9pwyGLYotr2p8I/edit#response=ACYDBNIYbSW-zYuKzAH4Z0H7VWeD5D... 3/4

5/6/22, 14:07

Consulta técnica sobre los OIR en INCOFER

Espacio para comentarios

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Apéndice 5. Cuestionario sobre utilidad de modelo propuesto

TFG: Propuesta para la implementación de la metodología BIM en el proyecto de Reconstrucción de la vía y restablecimiento del servicio ferroviario entre Puntarenas y Alajuela
José González Montero

Cuestionario para estimar la utilidad del modelo propuesto para el INCOFER

A continuación, se presenta un listado de preguntas. Estas se plantean de forma que se respondan en una escala 1 a 10, donde 1 es totalmente en desacuerdo y 10 es totalmente de acuerdo.

1. ¿Con lo explicado cuenta usted con una idea clara del estado actual de la gestión de proyectos en INCOFER?

Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Totalmente de acuerdo

2. ¿Considera usted que el modelo teórico de hoja de ruta seleccionado en este trabajo es adaptable a una institución como INCOFER?

Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Totalmente de acuerdo

3. ¿Considera que los seis puntos de la propuesta presentada abarcan los principales elementos de la metodología BIM?

Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Totalmente de acuerdo

4. ¿Considera que la aspiración presentada para INCOFER es apropiada?

Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Totalmente de acuerdo

5. ¿Considera que los OIR propuestos son adecuados para el INCOFER?

Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Totalmente de acuerdo

6. ¿Considera que los usos BIM propuestos son adecuados para el INCOFER?

Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Totalmente de acuerdo

7. ¿Considera que la Hoja de Ruta propuesta refleja apropiadamente el camino que debe tomar una organización como INCOFER?

Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Totalmente de acuerdo

8. ¿Considera que los PIR propuestos son adecuados para los proyectos de INCOFER?

Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Totalmente de acuerdo

9. ¿Considera que la estructura organizacional propuesta es adecuada para los proyectos de INCOFER?

Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Totalmente de acuerdo

10. ¿Considera que los hitos propuestos son adecuados para los proyectos de INCOFER?

Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Totalmente de acuerdo

11. ¿Cuál es su valoración general de la propuesta presentada para INCOFER, dado el nivel de madurez BIM actual de la organización? (1 totalmente inadecuada, 10 totalmente adecuada)

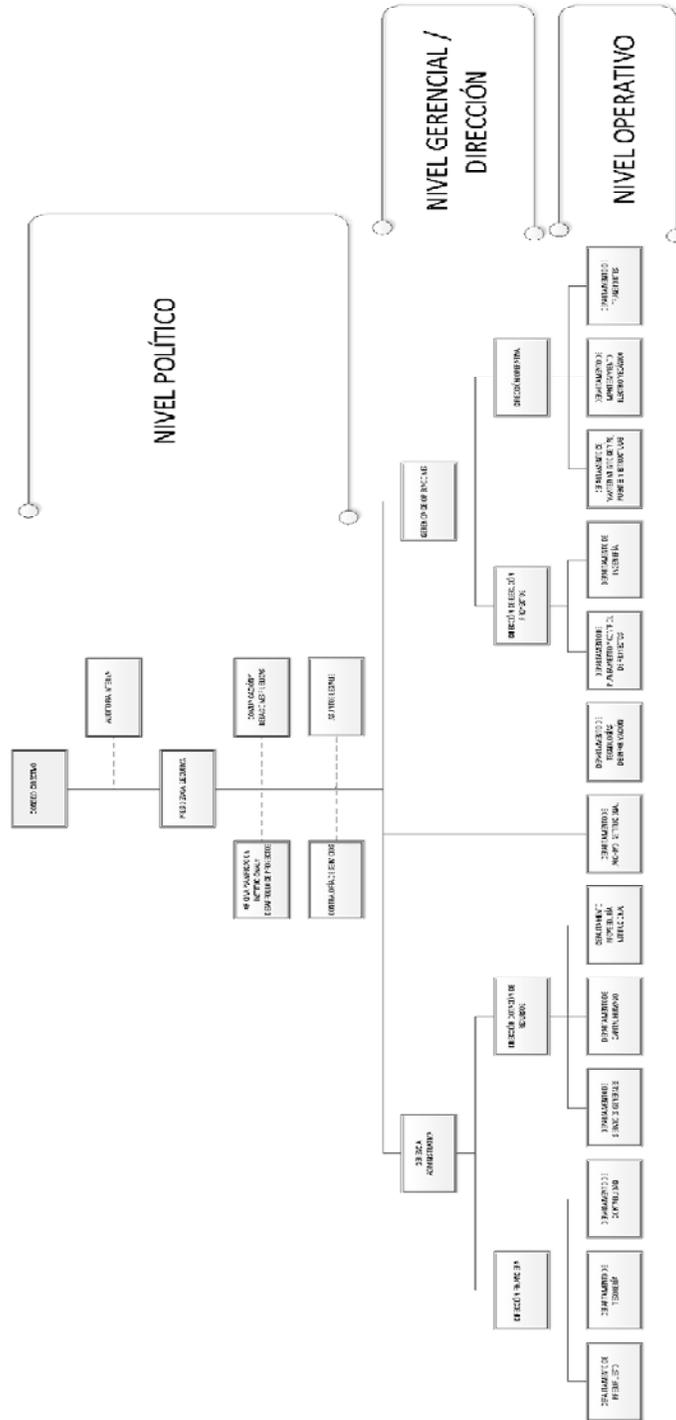
Totalmente en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Totalmente de acuerdo

TFG: Propuesta para la implementación de la metodología BIM en el proyecto de Reconstrucción de la vía y restablecimiento del servicio ferroviario entre Puntarenas y Alajuela
José González Montero

Comentarios u observaciones:

Anexos

Anexo 1. Organigrama de INCOFER



Fuente: Instituto Costarricense de Ferrocarriles (s.f.).

Anexo 2. Principales funciones de Gerencia de Operaciones y Dirección Operativa

Cuadro An-0-1. *Principales funciones a nivel Gerencia/Dirección*

Gerencia de Operaciones	Dirección Operativa
<p>1. Velar por la gestión del mantenimiento y transporte, asegurando el mejor uso de los recursos disponibles (humanos y materiales).</p> <p>2. Gestionar el equipo de trabajo de su gerencia con el fin de lograr el mejor resultado posible en la operación del material rodante para cumplir con los Objetivos Estratégicos del INCOFER. Le competen todas las decisiones técnicas y administrativas referidas a la gestión del equipo.</p> <p>3. Controlar el desempeño de las Direcciones con la finalidad de mantener la productividad en todas las actividades realizadas.</p> <p>4. Velar con la Gerencia de Proyectos por la construcción de la infraestructura ferroviaria para garantizar la seguridad, regularidad y optimización de los tráficos de trenes sean estos de pasajeros.</p> <p>5. Colaborar activamente, con los jefes indicados, en la aprobación y evaluación del desempeño de proveedores y contratistas de mantenimiento en colaboración con el Encargado de Proveeduría.</p> <p>6. Preparar el presupuesto de la Gerencia de operaciones, y las acciones y métodos de control para su cumplimiento.</p> <p>7. Apoyar a la Oficina de Planificación Institucional en la planificación y ejecución de proyectos.</p> <p>8. Asegurar el cumplimiento de los cronogramas de los proyectos que se desarrollen en la Institución, incluido la presentación de informes a la Presidencia Ejecutiva.</p>	<p>1. Coordinar con los Departamentos y supervisar la operación de los servicios prestados por el INCOFER, asegurando: la correcta gestión del control y monitoreo del tráfico ferroviario, la confiabilidad y disponibilidad de los servicios de pasajeros y carga con los que cuenta la Institución, la adecuada gestión del mantenimiento de las vías y estructuras, el buen desempeño, seguridad y mantenimiento del equipo rodante tractivo y remolcado, entre otros aspectos que se requieran para el normal desarrollo de los servicios del INCOFER.</p> <p>2. Establecer las metodologías para asegurar una gestión del mantenimiento y transporte efectiva con los recursos disponibles.</p> <p>3. Apoyar técnicamente a la Gerencia de Operaciones para la toma de decisiones relacionadas con la operación de los ferrocarriles o el mantenimiento.</p> <p>4. Controlar el desempeño de los Departamentos con la finalidad de mantener la productividad en todas las actividades realizadas.</p> <p>5. Contar permanentemente con la información del estado de las reparaciones</p> <p>6. Analizar y dar seguimiento a los índices de mantenimiento y a los índices de gasto tomando especial importancia a los consumos de combustible y lubricantes, para poder tomar las mejores decisiones y acciones correctivas/preventivas.</p> <p>7. Asegurar con el equipo de trabajo la organización y movilización del tráfico (carga y pasajeros) así como garantizar que el personal sea competente de acuerdo con sus funciones.</p>

Fuente: Coto y Elizondo (2021).

Cuadro (cont.) An-1. *Principales funciones a nivel Gerencia/Dirección*

Gerencia de Operaciones	Dirección Operativa
<p>9. Velar por una ejecución adecuada de los proyectos en cumplimiento de sus plazos y especificaciones del proyecto.</p>	
<p>10. Establecer, mantener, mejorar y evaluar permanentemente el sistema de control interno y gestión del riesgo de la dependencia a su cargo y realizar las acciones necesarias para garantizar su efectivo funcionamiento, en concordancia con la Ley General de Control Interno, así como evaluar y mejorar permanente el funcionamiento operativo de los procesos de la dependencia, mediante la investigación e implementación de modelos actuales y mejores prácticas a nivel nacional e internacional.</p>	<p>8. Asegurar con el equipo de trabajo la operación de las estaciones, predios y control de volúmenes de carga, etc. Interviene en caso de accidentes o interrupción de servicios.</p>
<p>11. Ejercer cualquier otra función acorde al objetivo o funciones de esta dependencia o que estando dentro de su ámbito de competencia le sea solicitada.</p>	<p>9. Velar con la Dirección de Ejecución de Proyectos por la construcción de la infraestructura ferroviaria para garantizar la seguridad, regularidad y optimización de los tráficos de trenes sean estos de pasajeros.</p>
<p>12. Apoyar al área Administrativa de la Institución en el desarrollo comercial y de nuevos negocios para incrementar la oferta y calidad de los servicios ferroviarios.</p>	<p>10. Apoyar en la gestión de planificación, licitaciones y adquisiciones a efectos de analizar, planificar, suministrar y coordinar las soluciones requeridas en la adquisición de equipos, repuestos y consumibles (lubricantes, combustible, entre otros) 11. Colaborar activamente, con los jefes indicados, en la aprobación y evaluación del desempeño de proveedores y contratistas de mantenimiento en colaboración con el Departamento de Proveeduría Institucional.</p>
<p>11. Establecer, mantener, mejorar y evaluar permanentemente el sistema de control interno y gestión del riesgo de la dependencia a su cargo y realizar las acciones necesarias para garantizar su efectivo funcionamiento, en concordancia con la Ley General de Control Interno, así como evaluar y mejorar permanente el funcionamiento operativo de los procesos de la dependencia, mediante la investigación e implementación de modelos actuales y mejores prácticas a nivel nacional e internacional.</p>	<p>11. Establecer, mantener, mejorar y evaluar permanentemente el sistema de control interno y gestión del riesgo de la dependencia a su cargo y realizar las acciones necesarias para garantizar su efectivo funcionamiento, en concordancia con la Ley General de Control Interno, así como evaluar y mejorar permanente el funcionamiento operativo de los procesos de la dependencia, mediante la investigación e implementación de modelos actuales y mejores prácticas a nivel nacional e internacional.</p>
<p>12. Ejercer cualquier otra función acorde al objetivo o funciones de esta dependencia o que estando dentro de su ámbito de competencia le sea solicitada.</p>	<p>12. Ejercer cualquier otra función acorde al objetivo o funciones de esta dependencia o que estando dentro de su ámbito de competencia le sea solicitada.</p>

Fuente: Coto y Elizondo (2021).

Anexo 3. Principales funciones de los departamentos operativos

Cuadro An-0-2. *Principales funciones a nivel Operativo*

Departamento de Mantenimiento Vías y Estructuras	Departamento de Mantenimiento Electromecánico	Departamento de Transportes
<ol style="list-style-type: none"> 1. Planificar, dirigir, organizar y asignar labores de las cuadrillas en la reparación y mantenimiento de la vía férrea, asegurando la mejor utilización posible de los recursos disponibles (humanos y materiales). 2. Velar por la elaboración y cumplimiento de los programas de mantenimiento preventivo del equipo rodante, vías, puentes y estructuras contribuyendo en la definición de criterios y prioridades de asignación de recursos para el correcto desempeño de las labores de mantenimiento. 3. Garantizar que cada intervención de mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo está respaldada por documentación mínima que asegure un adecuado control de costos, evidencie los efectos y características de esa intervención y sirva para análisis posteriores, a la vez que contribuya a la medida de la eficiencia del taller. 4. Garantizar que la vía se encuentre alineada, nivelada, afianzada, y trazada y que la cama de la vía se encuentre las condiciones necesarias para la operación. 5. Velar por el mantenimiento de las señales de la vía. 6. Organizar el trabajo con los coordinadores del Departamento de mantenimiento de las vías férreas y puentes. 7. Analizar y dar seguimiento a los índices de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad de las vías, puentes y estructuras. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planificar y controlar la ejecución de los procesos de reparación de los sistemas eléctricos, electrónicos, de seguridad y confortabilidad, controlando la ejecución de los mismos. 2. Planificar y controlar la ejecución de los procesos de reparación de los sistemas de transmisión de fuerza y trenes de rodaje. 3. Gestionar el mantenimiento del equipo rodante y la logística asociada, atendiendo a criterios de eficacia, seguridad y calidad. 4. Apoyar en el diagnóstico de averías complejas en los sistemas eléctricos, electrónicos y de control, seguridad y confortabilidad, utilizando documentación técnica e instrumentos de medida y control 5. Asegurar que se realice el mantenimiento ordinario tanto preventivo como correctivo del equipo rodante. 6. Implementar aquellos programas de capacitación de personal que se deriven de los planes de capacitación técnicos. 7. Apoyar los proyectos de mejora de mantenimiento de los trenes, que tienen por objetivo incrementar las prestaciones de seguridad, fiabilidad, disponibilidad, mantenimiento y confortabilidad. 8. Llevar a cabo pruebas eléctricas y mecánicas de los sistemas que conforman las unidades para asegurar su funcionamiento. 9. Asegurar que se genere la documentación sobre el mantenimiento efectuado tanto en 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conocer y observar la normativa vigente para el transporte de pasajeros y/o carga o procedimiento vigente que le permita disponer y dirigir la operación del tren, determinando su composición y la forma específica en que debe circular de manera segura y eficiente en cada sector de la red ferroviaria. 2. Supervisar la administración y operación del tren, velando por la seguridad, protección del tren y el cumplimiento de las normas establecidas. 3. Asegurar que se efectúen las pruebas necesarias para verificar el correcto funcionamiento de los frenos de aire a fin de detectar cualquier defecto en el equipamiento. 4. Mantener las disposiciones de planificación y programación de los servicios prestados por el INCOFER, así como la asignación de los recursos necesarios para su ejecución. 5. Constatar que sus subordinados estén familiarizados con sus obligaciones, verificando el nivel de experiencia y conocimiento de las normas e instruirlos, cuando sea necesario, sobre la forma más adecuada de realizar sus tareas, con seguridad y eficacia. 6. Velar por el correcto registro de actividades y transacciones con el fin de asegurar la confiabilidad de los datos que sirven como insumo para realizar estadística y elaborar indicadores de gestión.

las revisiones como en las reparaciones.

7. Atender la vigilancia y operación de los cambios y de las maniobras del tren.

Fuente: Coto y Elizondo (2021).

Cuadro (cont.) An-2. Principales funciones a nivel Operativo

Departamento de Mantenimiento Vías y Estructuras	Departamento de Mantenimiento Electromecánico	Departamento de Transportes
<p>8. Verificar que la contratación de la obra pública y los servicios relacionados con la misma, se realicen con estricto apego a lo dispuesto en la Ley de Adquisiciones y Obras Públicas y su Reglamento, así como a lo establecido en la Ley de Contratación Administrativa.</p> <p>9. Supervisar los trabajos de los contratistas, verificando que los servicios que presten se apeguen a las condiciones estipuladas en los contratos, a las especificaciones requeridas y a las buenas prácticas de mantenimiento generalmente aceptadas.</p> <p>10. Realizar visitas de supervisión para detectar necesidades de mantenimiento preventivo, correctivo o adaptación.</p> <p>11. Liderar análisis de causa raíz de las averías relevantes e incidentes que afecten la disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad de todos los elementos sujetos a mantenimiento.</p> <p>12. Apoyar técnicamente al área administrativa – financiera en la definición del nivel óptimo de inventario a mantener de repuestos y materiales necesarios para las actividades de mantenimiento.</p> <p>13. Realizar las demás actividades que le sean encomendadas por la Dirección Operativa, afines a las funciones y responsabilidades inherentes al cargo.</p>	<p>10. Garantizar que cada intervención de mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo está respaldada por documentación mínima que asegure un adecuado control de costos, evidencie los efectos y características de esa intervención y sirva para análisis posteriores, a la vez que contribuya a la medida de la eficiencia del taller.</p> <p>11. Liderar análisis de causa raíz de las averías relevantes e incidentes que afecten la disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad de todos los elementos sujetos a mantenimiento.</p> <p>12. Apoyar técnicamente al área administrativa – financiera en la definición del nivel óptimo de inventario a mantener de repuestos y materiales necesarios para las actividades de mantenimiento.</p> <p>13. Aportar información de consumos y rendimiento de equipos.</p>	<p>8. Supervisar la operación durante su recorrido y asegurar la buena conducción del tren. Observar y hacer cumplir las velocidades máximas permitidas y restricciones de velocidad indicadas, tanto en línea principal como en patios.</p> <p>9. Verificar el correcto funcionamiento del equipamiento, dispositivos de seguridad y mecanismos de control del material tractivo y rodante. Reportar de manera correcta y oportuna cualquier defecto o falla detectada.</p> <p>10. Controlar los servicios que son prestados por terceros al INCOFER, los cuales impactan directamente en la calidad.</p> <p>11. Participar de manera activa en el reporte e investigación de incidentes.</p> <p>12. Realizar otras funciones inherentes a su cargo, que le sean asignados por el Gerente de Operaciones.</p>

Fuente: Coto y Elizondo (2021).