

Propuesta para la implantación de BIM para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales en la empresa Eco Clean Water

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN
CONSTANCIA DE PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Propuesta para la implantación de BIM para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales en la empresa Eco Clean Water

Llevado a cabo por el estudiante:

Ramón Colindres Ronald Arturo

Carné: 2018105660

Trabajo Final de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el martes 02 de setiembre de 2025 como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En fe de lo anterior firman los siguientes integrantes del Tribunal evaluador:

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Firmado digitalmente por JOSE
ANDRES ARAYA OBANDO (FIRMA)
Fecha: 2025.09.17 13:36:42 -06'00'

Dr. Ing. José Andrés Araya Obando
Director de Escuela

**BRAULIO
ENRIQUE UMAÑA
QUIROS (FIRMA)**

Firmado digitalmente por
BRAULIO ENRIQUE
UMAÑA QUIROS (FIRMA)
Fecha: 2025.09.08
20:48:07 -06'00'

Ing. Braulio Umaña Quirós, MSc.
Profesor Guía

**LEONARDO JOSUE
TORRES HERNANDEZ
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por
LEONARDO JOSUE TORRES
HERNANDEZ (FIRMA)
Fecha: 2025.09.09 14:51:12
-06'00'

Ing. Leonardo Torres Hernández
Profesor Lector

**MILTON ANTONIO
SANDOVAL QUIROS
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por MILTON
ANTONIO SANDOVAL QUIROS
(FIRMA)
Fecha: 2025.09.08 17:57:06 -06'00'

Ing. Milton Sandoval Quirós, MAE
Profesor Observador

Resumen

En ECW se realizó un diagnóstico sobre el conocimiento BIM mediante una encuesta aplicada a los departamentos relacionados con el diseño. Los resultados mostraron que el 55.6% de los colaboradores había escuchado sobre BIM, pero solo una minoría conocía plataformas colaborativas digitales. A pesar de estas limitaciones, el 100% de los encuestados considera que la metodología puede mejorar su trabajo y están dispuestos a recibir capacitación. Como primer paso, se elaboraron dos presentaciones sobre BIM y el Plan de Ejecución BIM, acompañadas de videos y evaluaciones interactivas en Edpuzzle. Además, se definieron tres roles iniciales (Gerente BIM, Coordinador BIM y Modelador BIM) adaptados a la estructura actual de la empresa. Se optó por utilizar Revit® como software de modelado y continuar con Procore como plataforma de gestión de proyectos. La implementación BIM en ECW se plantea de forma progresiva, mediante capacitación continua, asignación de roles y aprovechamiento de las herramientas ya existentes, buscando optimizar los procesos de diseño y reducir errores en los proyectos de plantas de tratamiento.

Palabras clave: BIM, Eco Clean Water, Plan de Ejecución BIM, capacitación, diagnóstico BIM, implementación progresiva, roles BIM, Revit, Procore, plataformas colaborativas, metodología BIM, modelado 3D, tratamiento de aguas residuales, optimización de procesos, reducción de errores.

Abstract

ECW conducted a BIM knowledge assessment through a survey targeting departments involved in design. Results showed that 55.6% of employees were familiar with BIM, but few knew collaborative digital platforms. Despite this, 100% believe BIM can improve their work and are willing to receive training. As a first step, two presentations on BIM and the BIM Execution Plan were developed, along with videos and interactive evaluations on Edpuzzle. Three initial roles (BIM Manager, BIM Coordinator, and BIM Modeler) were defined, aligned with the company's current structure. Revit® was chosen as the modeling software, and Procore remains the main project management platform. BIM implementation at ECW will proceed gradually, through continuous training, role assignment, and full use of existing tools, aiming to optimize design processes and reduce errors in wastewater treatment plant projects.

Se recomienda escribirlo de último cuando el trabajo haya finalizado y el informe esté listo.

Keywords: BIM, Eco Clean Water, BIM Execution Plan, training, BIM assessment, progressive implementation, BIM roles, Revit, Procore, collaborative platforms, BIM methodology, 3D modeling, wastewater treatment, process optimization, error reduction.

Propuesta para la implantación de BIM para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales en la empresa Eco Clean Water

RONALD ARTURO RAMÓN COLINDRES

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Julio de 2025

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Resumen ejecutivo	VI
Siglas	8
Introducción	9
Capítulo 1: Marco teórico	14
Capítulo 2: Metodología	40
Capítulo 3: Resultados y análisis	43
Conclusiones y recomendaciones.....	58
Referencias.....	61
Apéndices	63

Resumen ejecutivo

La empresa Eco Clean Water (ECW), dedicada al diseño y construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, enfrenta actualmente problemas relacionados con inconsistencias en los planos, errores durante la ejecución en obra y desperdicio de recursos en tiempo y costos. Estas dificultades surgen por la falta de integración de metodologías modernas y colaborativas en sus procesos de diseño. Ante esta situación, surge la oportunidad de implementar la metodología Building Information Modeling (BIM), que ofrece una gestión integrada de la información y una coordinación más eficiente entre las distintas disciplinas involucradas en un proyecto, reduciendo así errores y mejorando la productividad.

Este trabajo de fin de grado se enfoca en diseñar un plan de ejecución BIM (PEB) para estandarizar e implementar esta metodología en el departamento de diseño de ECW, con el objetivo de modernizar sus procesos, aumentar la calidad de sus entregables y fortalecer las competencias del equipo. Además, esta iniciativa contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6 (agua limpia y saneamiento), 9 (industria, innovación e infraestructura) y 12 (producción y consumo responsables), fomentando un uso más eficiente de recursos y procesos constructivos más sostenibles. Como se muestra en la figura 1, no hay una carpeta en Procore relacionada a diseño por lo que parte de la problemática al no haber colaboración y estándares de documentación.

Figura 1. Carpetas estándar de Procore para proyectos en ECW.

The screenshot displays the Procore Documents interface. At the top, there is a search bar labeled 'Buscar en este proyecto' and a '+ Nuevo' button. The main content area shows a project folder named 'ACQUARELLO ALTO LAS PALOMAS 4K'. On the left, a sidebar lists the folder structure:

- ACQUARELLO ALTO LAS PALOMA
 - 01 Alcances del Proyecto
 - 02 Permisos
 - 03 Obra Civil
 - 04 Instalaciones
 - 05 Control Financiero
 - 06 Cierre de Proyecto
 - 07 Mantenimiento
 - 08 Fichas Técnicas de Equipos

Below the sidebar, there are three filter options: 'Documentos nuevos esta semana', 'Ítems que estoy siguiendo', and 'Bandeja de reciclaje'. The main table lists the folders with their creation dates:

Nombre	Creado el / Última versión
01 Alcances del Proyecto	21/02/2025 a las 13:38
02 Permisos	21/02/2025 a las 13:38
03 Obra Civil	21/02/2025 a las 13:38
04 Instalaciones	21/02/2025 a las 13:38
05 Control Financiero	21/02/2025 a las 13:38
06 Cierre de Proyecto	21/02/2025 a las 13:38
07 Mantenimiento	21/02/2025 a las 13:38
08 Fichas Técnicas de Equipos	21/02/2025 a las 13:38

Para alcanzar estos objetivos, se empleó un enfoque mixto de investigación, combinando métodos cualitativos y cuantitativos. Se realizaron encuestas y entrevistas al personal directamente involucrado en diseño y áreas relacionadas, complementadas con la revisión de documentación interna. Posteriormente, se elaboró un plan detallado que incluye la definición de roles, protocolos, herramientas tecnológicas y flujos de trabajo adaptados a la realidad y capacidades de ECW. Finalmente, se diseñaron materiales de capacitación y un programa formativo para el equipo.

Los resultados revelaron que solo un poco más de la mitad del personal encuestado conoce la metodología BIM, y que existe un bajo nivel de experiencia con plataformas digitales colaborativas. Sin embargo, el interés y la disposición para capacitarse y adoptar esta metodología fue unánime. Se identificaron como principales retos la falta de conocimiento y la posible resistencia al cambio, aspectos que se deben abordar en el plan de implementación.

El Plan de Ejecución BIM propuesto incluye una estructura organizacional simplificada con tres roles clave: Gerente BIM, Coordinador BIM y Modelador BIM, adecuados a la composición actual del equipo y enfocados en un proceso gradual y sostenible de adopción. Se seleccionaron Revit® como software principal para modelado y Procore como plataforma de gestión de documentos, basados en la familiaridad del equipo y la infraestructura tecnológica disponible. La inversión estimada para hardware y software es accesible dentro del presupuesto de la empresa, lo que facilita la viabilidad del proyecto.

Como parte de la capacitación, se desarrollaron presentaciones y videos explicativos con evaluaciones integradas, que serán la base para talleres prácticos presenciales, permitiendo al personal afianzar sus conocimientos y aplicar el plan en proyectos reales.

Entre las conclusiones principales destaca que, aunque existe un conocimiento parcial de BIM, la capacitación continua es indispensable para garantizar su adopción exitosa. La elección de las herramientas tecnológicas es viable, y la estructura propuesta permite iniciar la implementación de manera eficiente sin sobrecargar al equipo. Además, la voluntad y apertura del personal son factores clave para el éxito.

Finalmente, se recomienda fortalecer la formación en herramientas colaborativas digitales, desarrollar estrategias de comunicación interna para mitigar la resistencia al cambio, realizar talleres prácticos, establecer indicadores de seguimiento para medir el avance en la adopción de BIM y crear una biblioteca interna de recursos que facilite el aprendizaje constante.

Este proyecto permite establecer las bases para modernizar el departamento de diseño de ECW, alineando sus procesos con estándares internacionales y contribuyendo al desarrollo sostenible en el sector de la construcción.

Siglas

AEC/FM: Architecture, engineering, construction and facilities management

BIM: Building Information Modeling

CDE: Entorno Común de Datos

CII BIM: Comisión Interinstitucional BIM Costa Rica

EBAR: Estación de bombeo de aguas residuales

ECW: Eco Clean Water

EIR: Requisitos de Intercambio de Información

LOD UK: Nivel de definición modelo de Reino Unido

LOD US: Nivel de desarrollo modelo de

LOI: Nivel de información

PEB: Plan de Ejecución BIM

PTAR: Plajta de tratamiento de aguas residuales

*.db: Base de datos

*.dwg: DraWinG

*.dwt: Drawing Template

*.ifc: Industry Foundation Clases

*.json: JavaScript Object Notation

*.nc1: Archivo de control numérico

*.nwf: Archivo Navisworks

*.nwc: Archivo Navisworks de uso general

*.nwd: Archivo Navisworks con licencia

*.rfa: Familias Revit

*.rft: Plantillas de familias Revit

*.rte: Plantillas Revit

*.rvt: Autodesk Revit (formato para modelos en el software Revit ®).

*.sdf: Archivo de Datos Estructurados

*.shp: Shapefile

STEP: Standard for the Exchange of Product Data

*.xml: Lenguaje de marcado extensible

Introducción

La empresa Eco Clean Water (ECW), especializada en el diseño y construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), enfrenta actualmente dificultades en sus procesos de diseño, las cuales generan inconsistencias en planos, errores en campo y sobrecostos en recursos y tiempo. Estas problemáticas responden, en gran medida, a la ausencia de una metodología colaborativa estructurada, como lo es el Building Information Modeling (BIM). Frente a esta situación, se plantea la necesidad de desarrollar un plan de implementación progresivo de BIM adaptado a la realidad de ECW, caracterizada por contar con una estructura organizativa pequeña, departamentos unipersonales y escaso conocimiento previo sobre la metodología.

La incorporación de BIM en ECW representa una oportunidad estratégica, ya que permite innovar y mejorar los procesos de diseño y construcción, reducir errores y costos, mejorar la coordinación interdisciplinaria y gestionar de manera eficiente la información a lo largo del ciclo de vida de los proyectos. La originalidad de este trabajo radica en diseñar un Plan de Ejecución BIM (PEB) específico para una empresa con recursos humanos limitados y con experiencia inicial en la metodología, ofreciendo un modelo práctico y adaptable para empresas de características similares. Además, la implementación de BIM contribuiría a varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 6 relacionado con agua limpia y saneamiento, el ODS 9 vinculado con innovación e infraestructura, y el ODS 12 sobre producción y consumo responsables, al optimizar el uso de recursos y minimizar desperdicios durante la construcción.

El objetivo general de la investigación es diseñar una propuesta de Plan de Ejecución BIM (PEB) para Eco Clean Water, considerando su estructura actual y nivel de conocimiento en la metodología. Para alcanzar dicho objetivo, se plantean los siguientes objetivos específicos: diagnosticar el conocimiento BIM de los colaboradores, definir roles y responsabilidades BIM adecuados a la estructura organizativa, seleccionar el software y las plataformas digitales apropiadas, elaborar materiales de capacitación inicial, y establecer un esquema básico de procesos y flujos de información para los proyectos desarrollados bajo la metodología BIM.

Este trabajo abarca el diagnóstico organizacional, la definición de los roles iniciales, la selección de herramientas digitales, el desarrollo de materiales de capacitación y la elaboración de un primer Plan de Ejecución BIM. No se aborda la integración de procesos BIM avanzados, ni las fases de operación, mantenimiento o interoperabilidad total, los cuales se plantean para etapas posteriores de implementación.

Entre las limitaciones encontradas se destaca la escasa disponibilidad de los colaboradores para participar en los talleres presenciales, la baja participación en las encuestas por parte de los departamentos unipersonales y la carencia de personal con experiencia previa en BIM dentro de la empresa, lo que limitó la profundidad del desarrollo práctico durante esta fase inicial.

Finalmente, se agradece a Eco Clean Water por facilitar el acceso a la información interna, a los colaboradores que participaron en la encuesta y en el desarrollo de materiales, así como al Ing. Sequeira por su acompañamiento técnico y asesoramiento durante el desarrollo de esta investigación.

Objetivos

Los siguientes objetivos orientan el desarrollo del Plan de Ejecución BIM para su implementación en el departamento de diseño de Eco Clean Water. Se plantean con el fin de diagnosticar los procesos actuales, estandarizar el uso de la metodología BIM y asegurar su correcta aplicación mediante la capacitación del personal involucrado.

Objetivo general

Desarrollar una propuesta para la implantación y estandarización de la metodología BIM en el Departamento de diseño de la empresa Eco Clean Water.

Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de los procesos para el diseño de plantas de tratamiento para aguas residuales para identificar las actividades y su relación con BIM mediante investigaciones y consultas a personal involucrado en la empresa ECW.
- Desarrollar un plan de ejecución para la estandarización de los procesos de diseño en la empresa ECW aplicando la metodología BIM.
- Capacitar al personal de la empresa ECW para que puedan dar uso del plan de ejecución BIM, por medio de material audiovisual y un taller.

Alcances y limitaciones

A continuación, se presentan los alcances y limitaciones para este proyecto de acuerdo con sus objetivos específicos:

1. Para implementar BIM en Eco Clean Water, es fundamental analizar el historial de la empresa en este ámbito, identificando experiencias previas, desafíos y áreas de mejora. La única referencia documentada es el trabajo del ingeniero Kendall Sequeira, *"Desarrollo de un modelo para la implementación de la metodología BIM en los procesos constructivos y de mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la empresa Eco Clean Water"*, el cual servirá como base para esta investigación. Además, se evaluarán las deficiencias en el departamento de diseño, revisando procesos, herramientas y conocimientos del equipo.
2. Para implementar BIM en el departamento de diseño de Eco Clean Water, se creará una hoja de ruta que defina los pasos clave para su estandarización. Este plan incluirá la integración de BIM en los procesos actuales, la elección de herramientas adecuadas y la creación de normas internas que faciliten el trabajo en equipo. Además, se establecerán plazos y objetivos claros para asegurar un cambio organizado y efectivo hacia esta metodología.
3. Se implementará una capacitación para el personal del departamento de diseño de Eco Clean Water, para puedan dar uso del plan de ejecución BIM. La formación abarcará tanto aspectos teóricos como prácticos, garantizando que el equipo adquiera las habilidades necesarias para aplicar BIM de manera efectiva en sus proyectos.

Agradecimientos

Primeramente, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre, Tatiana, quien siempre estuvo a mi lado para apoyarme, guiarme y motivarme. Has sido un ejemplo constante de fortaleza y perseverancia, y siempre estaré agradecido por la dicha de ser tu hijo. A mi padre, Adrián, gracias por introducirme desde niño al mundo de la construcción, llevándome contigo a tus proyectos y enseñándome con el ejemplo. Fuiste quien despertó en mí la pasión por este campo y quien nunca dejó de recordarme que iba por buen camino. Los amo profundamente a ambos.

A mis amigos Adrián Cisneros, Jonathan Cartagena, Joshua Pineda, Paulo Salgado y Camila Salgado, gracias por mostrarme en todos estos años el verdadero valor de la amistad, estando presentes en las buenas y en las malas. Les agradezco por apoyarme cuando más lo necesitaba y por alegrar mis días con su compañía. Estoy en deuda con ustedes.

A Adrián Valverde y toda su familia, por recibirme siempre con los brazos abiertos y considerarme parte de su hogar, tanto así que yo los considero parte del mío. Les agradezco además por haberme brindado oportunidades de trabajo y por su comprensión y apoyo en mis estudios. Siempre los tendré presentes en mis logros.

A Liam Jiménez y Matías Masis, dos pequeños terremotos que llegaron a transformar mi vida y a enseñarme lo valioso que es la familia y la importancia de ser un buen ejemplo para quienes siguen mis pasos. Los quiero con todo mi corazón.

A mi hermosa y perfecta novia, Yuliana Masis, gracias infinitas por acompañarme durante todo este proceso universitario. Estuviste conmigo en mis peores momentos, cuando pensé en rendirme, y siempre encontraste la manera de levantarme y motivarme. Gracias también por ser mi mayor fan y celebrar cada uno de mis logros y animarme a alcanzar nuevas metas. No pude haber encontrado una mejor mujer para compartir mi vida.

A mi abuela Leyla "Agüita", ejemplo de fortaleza, valentía, servicio y amor incondicional, y a mi tía Mireya, quien siempre me esperaba con sus deliciosas comidas, mostrándome su cariño a través de la cocina. Llevaré siempre esos recuerdos en mi corazón.

A mi profesor Braulio Umaña, por su guía, paciencia y colaboración a lo largo de este proyecto, cuyo apoyo fue fundamental en este camino académico.

Al ingeniero Kendall Sequeira, quien comenzó siendo colega de clases y hoy también es colega de trabajo, pero sobre todo un gran amigo. Gracias por todas las enseñanzas y el apoyo que me has brindado durante este proceso.

A Eco Clean Water y a todos sus colaboradores, por abrirme las puertas al mundo laboral, confiar en mí y darme la oportunidad de crecer profesionalmente.

Finalmente, desde lo más profundo de mi ser, quiero agradecer a mi abuelo Arturo "Tito". Me abriste las puertas de tu casa y me acogiste como a un hijo más. Me llevaste donde necesitaba, me apoyaste incluso cuando no tenías cómo hacerlo, y soñaste conmigo el día en que me graduara. Lamento que no hayas podido acompañarme físicamente, pero estoy seguro de que donde estés lo celebras conmigo a lo grande. Este logro te lo dedico hasta el cielo. Te amo y siempre te llevaré en mi corazón.

Capítulo 1: Marco teórico

El marco teórico recopila los fundamentos necesarios para comprender la metodología BIM y su aplicación en proyectos de diseño. Este apartado permite contextualizar la creación del Plan de Ejecución BIM, apoyándose en conceptos clave, estructura y buenas prácticas del sector.

1.1 Plantas de tratamiento de agua residuales

Este proyecto se realizará en la empresa Eco Clean Water (ECW) con apoyo del departamento de diseño para obra civil. ECW es una empresa transnacional que se dedica al diseño, construcción y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), pero ¿qué es una PTAR? Como menciona Marín [1], son sistemas diseñados para purificar el agua contaminada quitándole la carga de materia orgánica. Estas aguas contaminadas se les llama aguas residuales debido a que es agua potable que debido a diferentes procesos ha cambiado sus propiedades físicas y/o químicas, y dependiendo de su tipo de contaminación se les identifica de dos maneras:

- Aguas residuales especiales: Son aquellas provenientes de actividades industriales, comerciales o institucionales.
- Aguas residuales domésticas: Aguas generadas a partir de actividades cotidianas en hogares (Agua de lavado de platos, duchas, inodoros, lavadoras).

De acuerdo con Marín [1], existen maneras para separar la contaminación del agua y así purificarla con ayuda de sustancias químicas llamadas floculantes y coagulantes, a esto se le conoce como tratamiento químico. Además, Marín [1] explica que también es posible purificar el agua con ayuda de sistemas aeróbicos o anaeróbicos, las cuales son identificadas como tratamientos biológicos. ECW es una empresa cuyas plantas de tratamiento usan el sistema aeróbico, o sea que usa oxígeno en su proceso de descontaminación.

Para purificar el agua que llega a la PTAR se necesitan de una serie de tratamientos que se mencionarán a continuación. De acuerdo con Marín [1] existen 4 etapas de tratamientos para el agua residual, el pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y el tratamiento terciario.

1.1.1 Pretratamiento

El pretratamiento consiste en remover todos los sólidos grandes que contaminan el agua, ya que pueden ser una fuente del mal funcionamiento de los equipos en los procesos sucesores. Para evitar que los lodos de mayor tamaño accedan a la planta se colocan rejillas de cribado, tamices, cribas o mallas, que son objetos de fácil instalación y fácil mantenimiento. Marín [1] recomienda el uso de más de una rejilla, lo cual es una práctica que se realiza en ECW, donde en cada entrada se colocan 2 rejillas, la primera con aberturas de 5mm y la segunda con aberturas de 2.5mm como se observa en la figura 2.

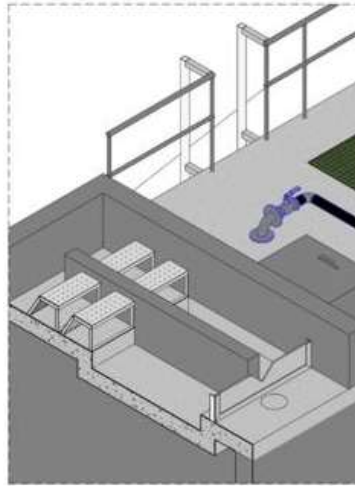
Figura 2. Rejillas de cribado.



1.1.1.1 Trampa de sólidos y grasas

Marín [1] menciona que las aguas residuales de origen ordinario contienen altos porcentajes de grasas, aceites, restos de comida, cabello y arenas, por lo que el pretratamiento de la trampa de grasas es recomendable debido a que atrapa a estas mismas y los aceites que causen mal funcionamiento en los equipos y las bacterias se acostumbrarán a estos residuos mejorando su eficiencia de digerir materia fecal. Un ejemplo de una trampa de grasa se observa en la figura 3.

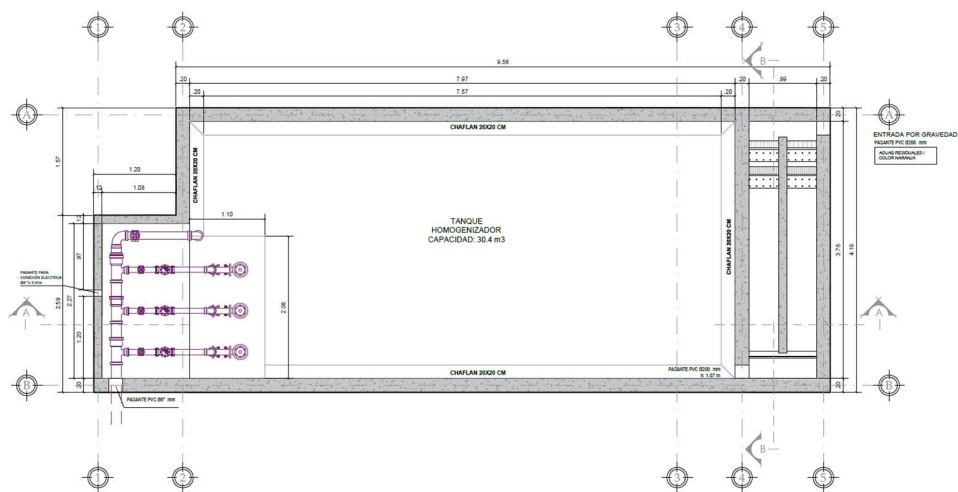
Figura 3. Trampa de grasa.



1.1.1.2 Tanque Homogeneizador

Como menciona Marín [1] estos tanques tienen la misión de homogeneizar el flujo entrante, tanto en el caudal como en su composición, para asegurar la entrada a la planta tenga un caudal constante, amortiguando las variaciones de caudal durante el tiempo. Y también funcionando como sitio de medición y remediación del pH si así lo necesitara, reduciendo costos por mantenimiento o daños más grandes en los procesos siguientes. En la figura 4 se observa un plano de la distribución arquitectónica de un tanque homogeneizador.

Figura 4. Tanque homogeneizador.



1.1.2 Tratamiento primario

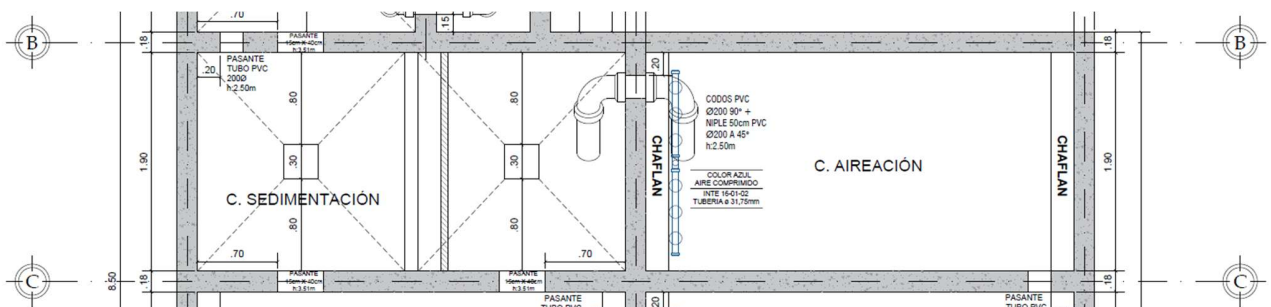
Siguiendo lo mencionado por Marín [1] el tratamiento primario tiene la función de reducir sólidos en suspensión mediante sistemas como los sedimentadores o procesos químicos como la floculación o coagulación.

1.1.2.1 Sedimentadores

Los sedimentadores son tanques donde se reduce la velocidad del agua afluyente para que los sólidos (lodos primarios) puedan asentarse mediante la gravedad y los flotantes (lodos secundarios) puedan ser recogidos y recirculados.

En el caso de las plantas de tratamiento construidas por ECW los sedimentadores pasan a ser tratamientos secundarios debido a que después de los pretratamientos los lodos son tratados en cámaras de aireación o reactores. En la figura 5 se puede observar un reactor y un sedimentador.

Figura 5. Tanque sedimentador y cámara de aireación.



1.1.3 Tratamiento secundario

Como menciona Marín [1] en los tratamientos secundarios se dan todos los procesos biológicos donde las bacterias degradan la materia orgánica produciendo los lodos gases y agua. Estos procesos pueden ser aerobios o anaerobios. Como se mencionó anteriormente el sistema aerobio usa oxígeno para degradar la materia orgánica mientras que el sistema anaerobio realiza este proceso sin presencia de oxígeno, en la figura 6 se puede ver ventajas y desventajas de ambos sistemas.

Figura 6. Ventajas y desventajas de las PTAR con digestión aerobia y anaerobia.

	Ventajas	Desventajas
Aerobio	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil operación. • Produce menos olores ofensivos. • No produce gases explosivos. • Mejor calidad del sobrenadante. • Alcanza reducciones de sólidos volátiles semejantes con tiempos de retención menores. • Sistemas compactos 	<ul style="list-style-type: none"> • El lodo tiene más agua y es difícil de deshidratar. • Es muy sensible a la temperatura, localización y tipo de tanque. • Costos de operación mayores (Mantenimiento más frecuente, mayor consumo energético)
Anaerobio	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtiene un producto final, lodos, con un secado más rápido. • El gas metano generado en la estabilización de los sólidos puede emplearse como fuente de energía. • Se da una remoción más alta de la carga orgánica que contamina el agua. • Durante el proceso de estabilización se eliminan los elementos patógenos y ciertos organismos parásitos, esto dependerá del tiempo de digestión y el tipo de microorganismo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo inicial de equipos e instalaciones (Biodigestor cerrado línea de gases como inversiones extra) • Los microorganismos presentes, responsables de la digestión son muy sensibles a los cambios que se producen en el digestor. • Se necesitan tiempos de retención elevados para estabilizar la materia orgánica (15-30 días). • Requieren mayor espacio físico • Pueden generar malos olores

[1]

Existen diferentes tecnologías de aireación para los reactores de las plantas de tratamiento, como las superficiales que se basan en agitadores y aireadores, y las sumergidas que se produce la aireación por medio de difusores [2]. Esta última tecnología es la que se usa en la empresa ECW, que dependiendo de las dimensiones del reactor se consideran si son difusores de platos o de conos. La diferencia entre estos 2 difusores es que el difusor de cono genera una burbuja gruesa (figura 7), mientras que el difusor de plato genera una burbuja fina y está distribuida de manera uniforme en toda el área de la losa del reactor (figura 8).

Figura 7. Difusor de cono Jet AIR-SEAL.



[3]

Figura 8. Difusor de plato SSI ECD350-E.



[4]

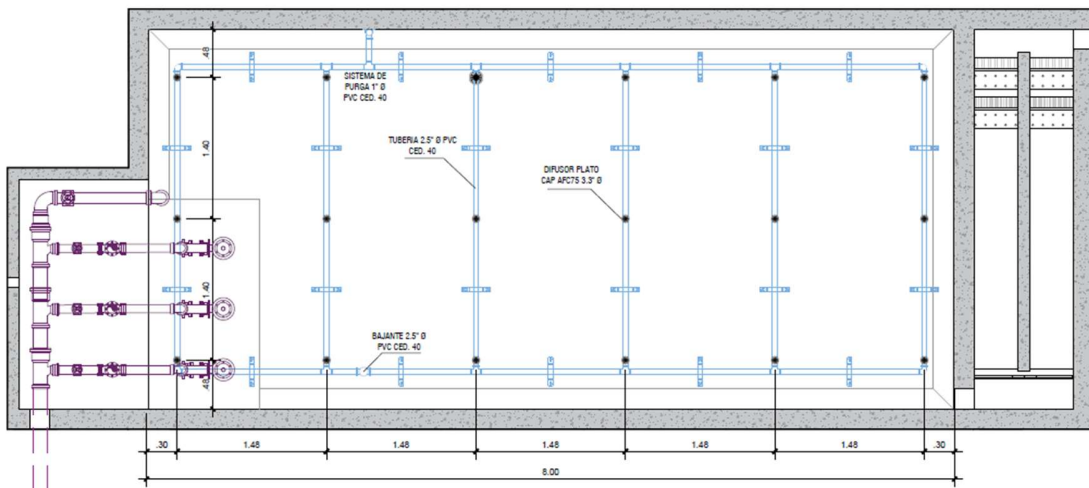
Durán [5] menciona que los difusores sumergidos pueden ser colocados en profundidades de hasta 10 metros, pero en la empresa ECW los niveles de agua no pasan los 5 metros debido a que no se desea un mal funcionamiento de los difusores y/o un sobre esfuerzo de los motores sopladores. Los difusores de discos son relativamente planos y sus diámetros varían entre los 18 y 24 cm con espesores de 13 a 19 mm. Estos se pueden construir con materiales como la cerámica, plásticos porosos y membranas perforadas, la instalación de estos discos se realiza montando el difusor en una base plástica y se fija con un tornillo o anillo roscado. Además, el aire que fluye a través de estos ronda los 0.25 y 1.5 l/s./difusor [5]. Los difusores de cono están hechos de plástico, tienen un diámetro de 5", se conectan a un tubo de 1/2" enroscado y tienen un largo de 4 1/2" [3].

También se usa un tipo de difusor tipo plato de burbuja gruesa (figura 9), estos se usan para conseguir una mezcla homogénea de todas las aguas que se tratarán. Este difusor se puede colocar en tanques de homogenización (figura 10), tanques de ecuilización, tanques de mezcla y en procesos de separación de aceites. [6]

Figura 9. Difusor de plato CBD80-3"



Figura 10. Tanque de homogenización con difusores de discos de burbuja gruesa.



1.1.3.1 Tratamiento de lodos

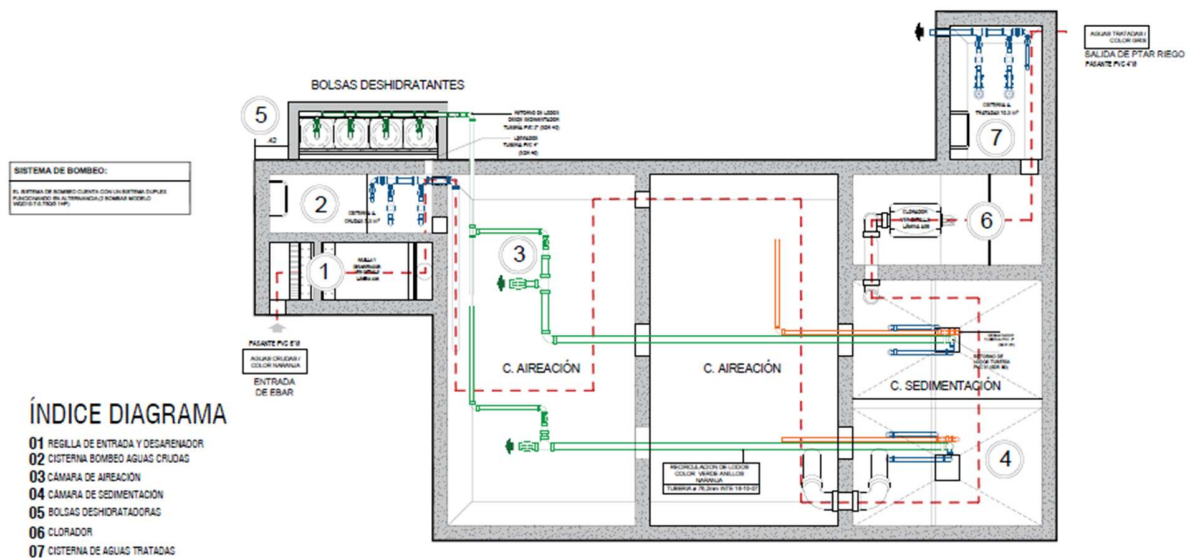
Como explica Marín [1], en el proceso de tratamiento de aguas residuales en todas las fases se crean lodos, ya sean primarios que son la mezcla de materia orgánica e inorgánica que no ha sido tratada biológicamente, o secundarios que son los resultados de la descomposición biológica. En el caso de los lodos activados el movimiento y recirculación de estos, así como el mantenimiento de parámetros como el pH temperatura entre otros son fundamentales para mantener las bacterias activas para descomponer la materia orgánica.

El tratamiento de lodos tiene como función disminuir el volumen de estos principalmente quitándole toda el agua que sea posible y aumentar su estabilidad biológica dando como resultado un residuo compacto que pueda desecharse de manera adecuada. Existen varios métodos para hacer este proceso como son:

- Recirculación de lodos: para aprovechar el funcionamiento de las bacterias y hacer que los lodos sean cada vez más volumétricos los lodos del sedimentador se envían a una segunda digestión.
- Lechos de secado: ese es el método más común en Costa Rica debido a que se aprovecha la energía solar para deshidratar los lodos, aunque también existe un sistema similar llamado bolsas de deshidratación. Estos métodos consisten en deshidratar los lodos por medio de la luz solar.
- Estabilización con cal: en este proceso se Añade cal hidratada o cal viva a los lodos para elevar el pH a 12, esto con el fin de eliminar las bacterias que causan la pudrición n y ha sido obtener los estabilizados. Esta práctica se realiza cuando los lobos estaban en el lecho de secado y se recomienda solo si el lugar es bien ventilado y realizarlo en solución líquida.
- Espesamiento de lodos por gravedad: esto se realiza en un tanque diseñado para este proceso en específico donde existe un agitador lento que espesa los lodos reduciendo el volumen de agua en estos. Como recomendación los lodos no se deben dejar mucho tiempo en este tanque debido a que tienden a poder irse y emanar un olor muy fuerte por no mencionar qué causa problemas al bombeo.

En la figura 11 se puede observar un diagrama que muestra el proceso del tratamiento de estos lodos.

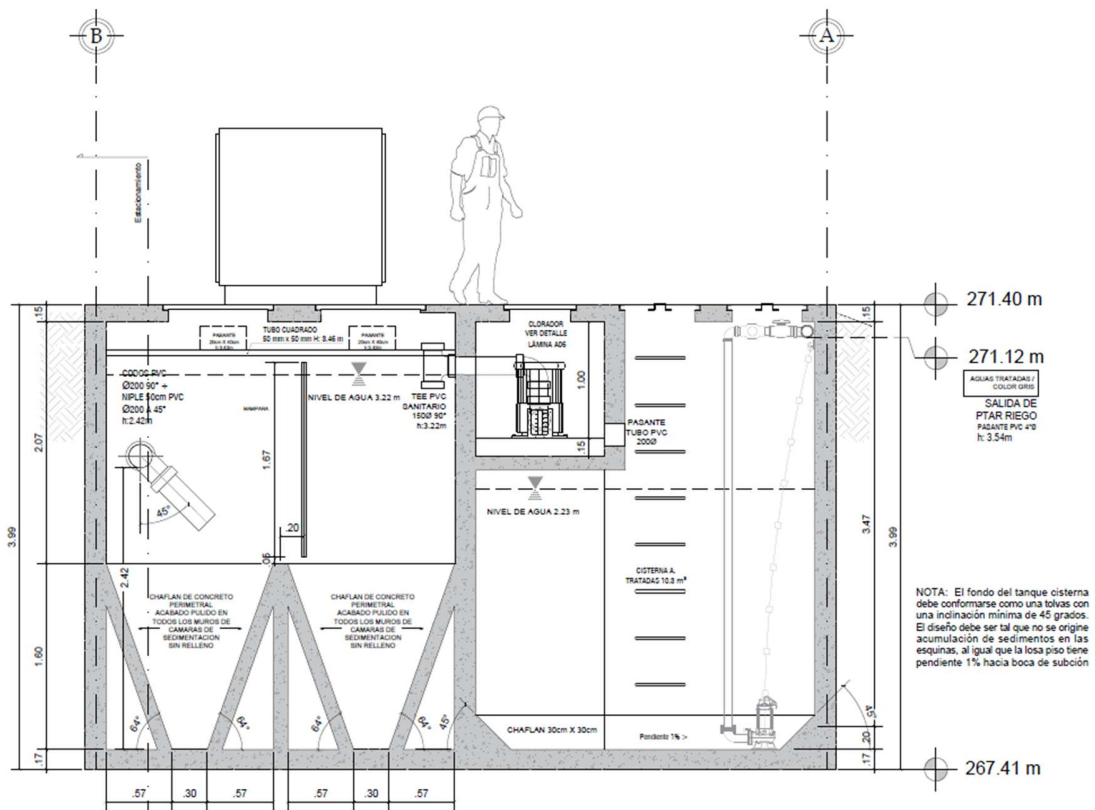
Figura 11. Diagrama de flujo de una PTAR.



1.1.4 Tratamiento terciario

Por último, siguiendo lo mencionado por Marín [1] el tratamiento terciario es opcional, ya que el efluente obtenido debe cumplir con los parámetros establecidos para que el agua tratada sea vertida a un cuerpo receptor. En este proceso, por medio de desinfección se reducen microorganismos esto por directrices del ministerio de salud para reusar el agua para riego. La desinfección es el método más común para purificar el agua y consiste en eliminar o inactivar los microorganismos patógenos o cualquier otro microorganismo vivo con el fin de que sea seguro usar el agua tratada. El principal proceso de desinfección es por medio de la cloración que es el mismo proceso que se usa en esta empresa. El agua tratada que sale del sedimentador pasa por gravedad al clorador para salir purificada para que pueda reusarse para riego o bien para depositarse en un cuerpo de agua. En la figura 12 se muestra un corte transversal de un plano donde se observa el paso del agua residual por el tanque sedimentador hacia el clorador para ser depositada en el tanque de aguas tratadas que en este caso se trata de un tanque para aguas de riego.

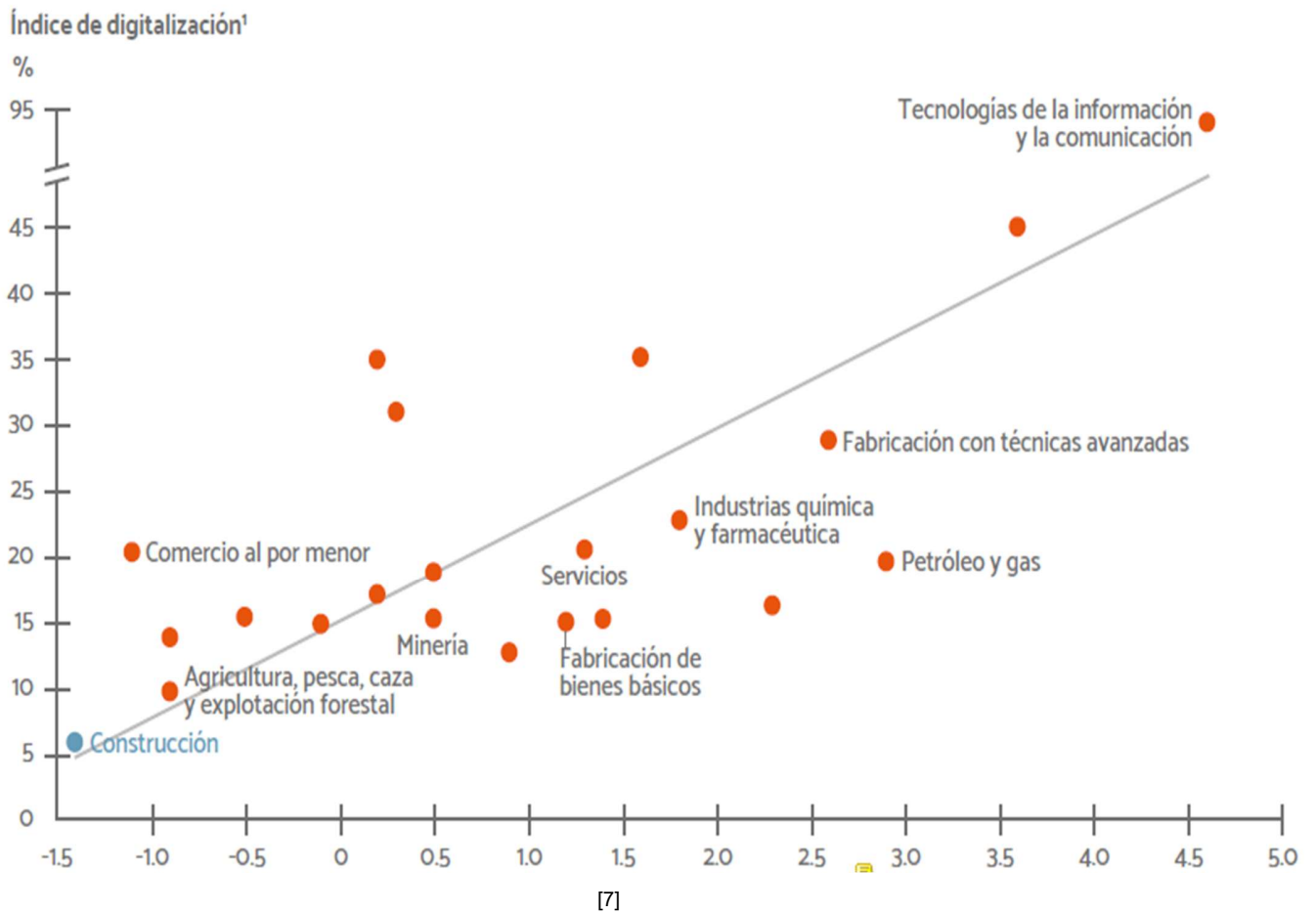
Figura 12. Tanque sedimentador, clorador y tanque de aguas tratadas para riego.



1.2 Building Information Modeling (BIM)

De acuerdo con Soto y Manríquez [7] el sector construcción es de las industrias que menos digitalización han implementado en sus procesos, lo cual significa que esto es una causa a la baja productividad, además de ser la industria con el porcentaje de producción y digitalización más bajo, por debajo de sectores como la agricultura, caza y pesca.

Figura 13. Crecimiento de la productividad, 2005-2014

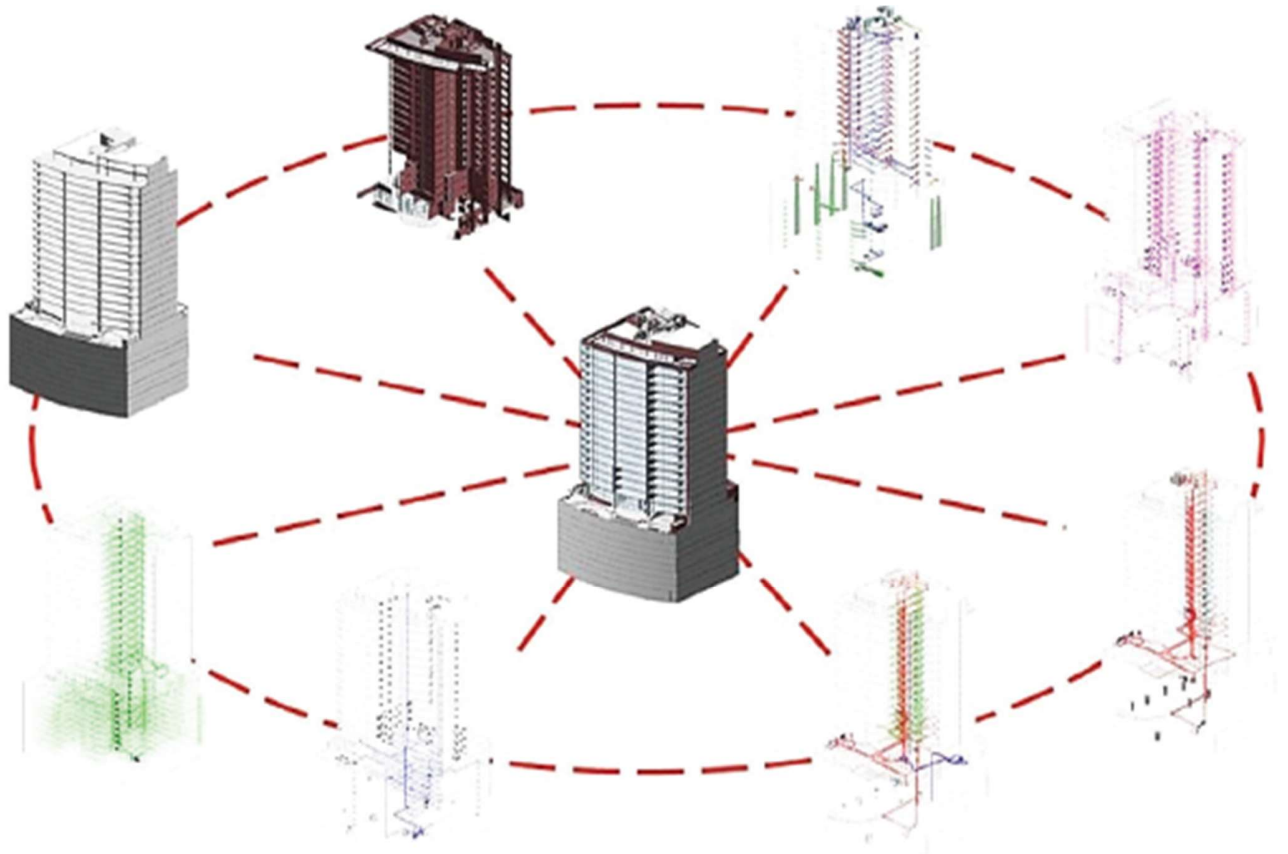


Existe una necesidad y oportunidad de aumentar la producción y la sostenibilidad en la industria constructora, y dicha necesidad significa que se puede o debe hacer un cambio de paradigma en la manera de que se realizan los procesos, integrando los diferentes colaboradores en un mismo diseño inteligente para que en

conjunto se obtenga como resultado un modelo que abarque las diferentes disciplinas necesarias para su buen funcionamiento, como el diseño arquitectónico, estructural y electromecánico [8].

Por lo tanto, este proyecto buscará implementar, estandarizar y generar un BEP en la empresa Eco Clean Water, con el fin de optimizar procesos constructivos y reducir las posibles malinterpretaciones que se puedan presentar en campo, además de impulsar la innovación.

Figura 14. BIM integrado.



[9]

Como menciona [9] Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa que permite la creación y gestión de un proyecto de construcción y su principal objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo inteligente que permite albergar información digital creada por todos sus agentes.

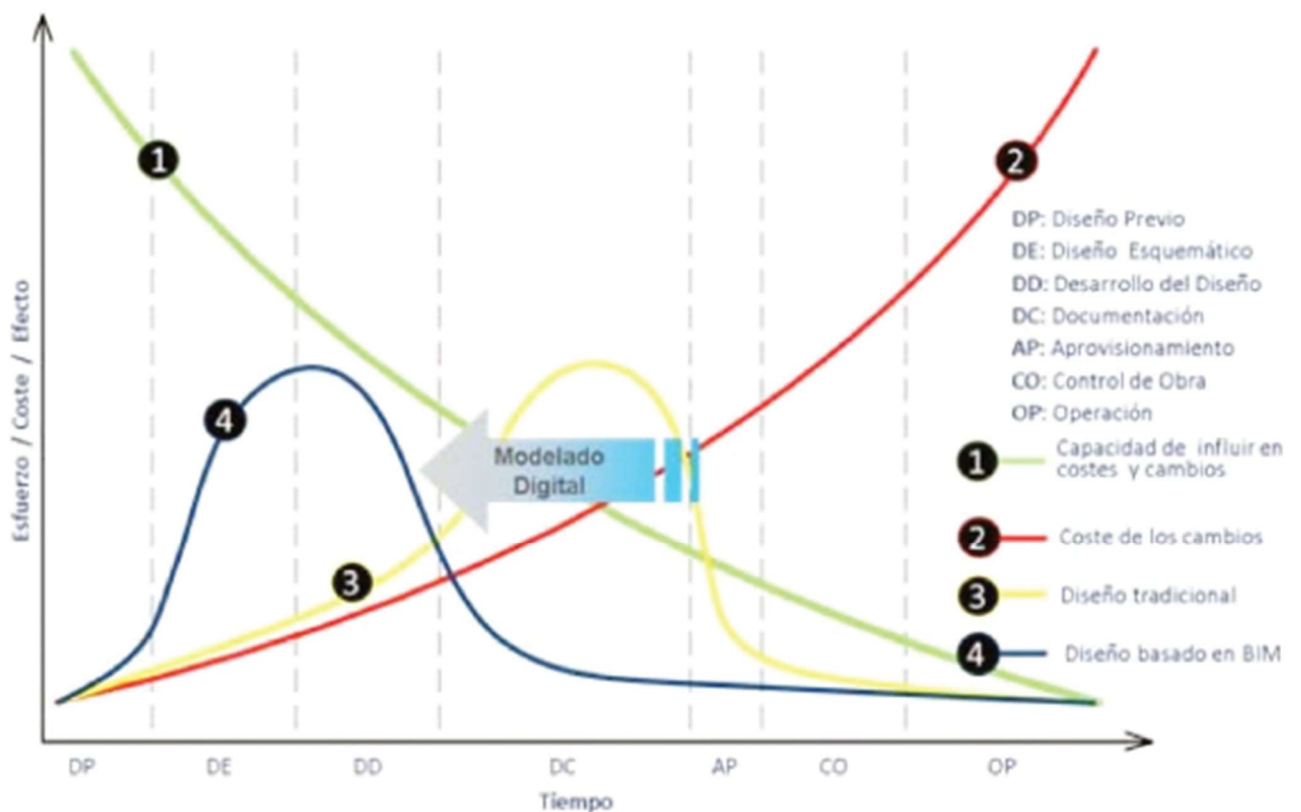
La implementación BIM en el sector construcción ha sido un catalizador para la creación de nuevos roles y responsabilidades, por lo que al unificar la información de todos los aspectos del proyecto en un modelo digital exige habilidades específicas y la colaboración de todos los actores [10].

La Comisión Interinstitucional BIM Costa Rica (CII BIM) resalta 3 pilares clave para el desarrollo de los roles y las responsabilidades. Dichos pilares son el liderazgo, la colaboración y coordinación, y el técnico, y cada pilar identifica roles esenciales para su cumplimiento, como los roles del líder BIM, líder de Innovación y líder de Diseño [10].

Dicho esto, la implementación BIM cuenta con una basta cantidad de beneficio. BIM Forum Costa Rica [9] identifica beneficios para los usuarios como la mejora de la producción, mayores rendimientos, menores plazos, mayor control del desarrollo de las actividades, obtener cuantificaciones y planimetrías en poco tiempo, menores modificaciones o cambios de versiones, menores consultas por falta de información, entre otros.

La implementación BIM en los proyectos requiere de un mayor esfuerzo en la fase de diseño, como se muestra en la figura 15. Pero a largo plazo trae beneficios como la disminución de inconsistencias e interferencias en el proceso constructivo, se reducen los atrasos al cronograma y los imprevistos, y permite tener múltiples alternativas de diseño [9].

Figura 15. Curva del esfuerzo del proceso constructivo.



[9]

1.3 Protocolo BIM y Plan de Ejecución BIM

Este apartado reúne los conceptos esenciales que sustentan la elaboración del Plan de Ejecución BIM y su diferencia con un protocolo BIM. Se abordan los principios de la metodología BIM y sus beneficios en la gestión de proyectos, con el fin de establecer una base sólida para su correcta aplicación en el contexto empresarial.

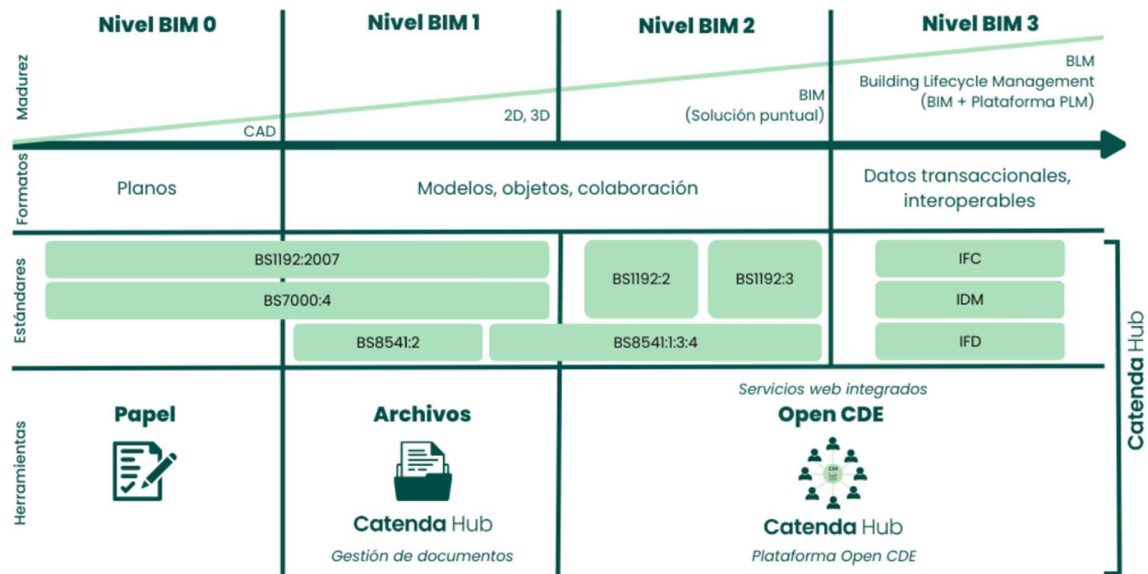
1.3.1 Protocolo BIM

En el ámbito de BIM, existen dos conceptos que suelen generar confusión: el "Protocolo BIM" y el "Plan de Ejecución BIM". Global BIM Network define el Protocolo BIM como una base para registrar las disposiciones contractuales específicas de cada proyecto en torno a BIM, mientras que el Plan de Ejecución BIM es una plantilla que los equipos de proyecto pueden utilizar para registrar sus acuerdos mutuos de trabajo BIM [11]. También Catenda define el Protocolo BIM como un acuerdo legal estandarizado suplementario ampliamente utilizado en el nivel BIM 2, para modificar contratos de construcción existentes. Sin embargo, bajo influencia de una fuerte digitalización este protocolo puede progresar hasta el nivel BIM 3 [12].

Catenda define los niveles BIM como [13]:

- Nivel BIM 0 – Colaboración baja: Este nivel del Building Information Modeling solamente incluye planos en 2D utilizando AutoCAD. Los participantes solo comparten archivos, documentos, planos, etc. a través de impresoras electrónicas y papel. No hay colaboración.
- Nivel BIM 1 – Colaboración parcial: Aquí no solo hay planos en 2D, también se consideran vistas tridimensionales. En el nivel BIM 1, los equipos comparten información empleando un Entorno Común de Datos (CDE). Esto les permite colaborar fácilmente en proyectos. Aun así, no hay colaboración (o colaboración baja) entre diferentes disciplinas, cada uno tiene sus propios datos y no los comparte.
- Nivel BIM 2 – Colaboración total: Todos los participantes emplean sus propios modelos CAD en 3D, pero no trabajan necesariamente en un único modelo compartido. Hay colaboración entre diferentes disciplinas empleando un formato de archivo único, por ejemplo, IFC. El IFC permite a todos los participantes acceder a los datos, por lo que todos pueden trabajar en el modelo.
- Nivel BIM 3 – Integración total: El nivel BIM 3 consiste en una colaboración completa, esto significa que todos los colaboradores de cualquier disciplina trabajan sobre el mismo modelo compartido. Esto incluye 4D, 5D y 6D. Todos pueden acceder a los datos y editarlos.

Figura 16. Modelo de madurez BIM.



[13]

1.3.2 Plan de Ejecución BIM (PEB)

El Plan de ejecución BIM es un documento elaborado por el ente contratado que define como serán llevados a cabo los aspectos de modelado y gestión de la información [14]. Este plan detalla cómo se implementará BIM en un **proyecto específico**, estableciendo protocolos, estándares, roles y responsabilidades, así como los procedimientos para la creación, intercambio y gestión de la información digital para dar respuesta a los Requisitos de Intercambio de Información (EIR, por sus siglas en inglés) de la Parte Contratante. El PEB es una herramienta dinámica que guía a todos los involucrados en el proyecto, asegurando que la información sea precisa, oportuna y útil para todas las fases del proyecto, desde su concepción hasta su operación y mantenimiento [15].

El plan de ejecución BIM o como se le conoce en inglés BIM Execution Plan, es uno de los aspectos más importantes cuando se va a comenzar una implementación BIM en una empresa dependiendo del tipo de proyecto y las capacidades de los involucrados. Para poder hacer esta implementación el BEP debes contar como mínimo con los siguientes aspectos [9]:

- Objetivos del proyecto y usos de BIM asociados.
- Descripción general de procesos BIM y procedimientos de la planificación.
- Diseño del proceso e intercambio de información BIM.
- Diseño del flujo de trabajo en el proceso y procedimientos de colaboración.
- Definir la estructura de soporte para la implementación del BIM.
- Ejecución del procedimiento de Implementación BIM.

- Procedimientos de control de calidad y definición de entregables.
- Anexos (protocolos, guías, estándares internacionales, etc.)

1.3.2.1 Plan de Ejecución BIM de Oferta

El Plan de ejecución BIM de Oferta es una versión inicial del BEP, desarrollada durante la etapa de propuesta del proyecto. Su objetivo es demostrar la capacidad del oferente para utilizar BIM de acuerdo con los requisitos del cliente, detallando cómo se planea implementar BIM en las diferentes etapas del proyecto. Es un documento clave para demostrarle al cliente la competencia y el enfoque en la gestión de información digital en la empresa [15].

1.3.2.2 Plan de Ejecución BIM de Contrato

Una vez adjudicado el proyecto, el Plan de Ejecución BIM de Oferta se desarrolla y se convierte en el Plan de Ejecución BIM de Contrato, que es un documento más detallado y específico adaptándose a los requisitos contractuales y a las necesidades específicas del proyecto. En este se incluye información detallada sobre los procesos de trabajo, asignación de roles y responsabilidades, estándares de modelado, estructura de información y procedimientos de control de calidad [15].

1.4 Roles y Responsabilidades BIM

Debido a que la metodología BIM consolida información detallada de todos los aspectos de un proyecto en un modelo digital, exige habilidades especializadas y colaboración entre diversas personalidades, y por consecuencia aparecen roles específicos que no existían o no eran tan relevantes en la construcción [10]. La CII BIM enlista una serie de posiciones que han aparecido debido a la implementación BIM [10]:

- Gerente BIM (BIM Manager)
- Coordinador BIM (BIM Coordinator)
- Modelador BIM (BIM Modeler)
- Especialista en Información BIM (BIM Information Specialist)
- Arquitecto/Ingeniero BIM (BIM Architect/Engineer)
- Analista de Sostenibilidad BIM (BIM Sustainability Analyst)
- Especialista en Visualización BIM (BIM Visualization Specialist)
- Coordinador de Integración BIM (BIM Integration Coordinator)
- Gestor de Datos BIM (BIM Data Manager)
- Especialista en Simulación BIM (BIM Simulation Specialist)

- Facilitador de Colaboración BIM (BIM Collaboration Facilitator)
- Consultor BIM (BIM Consultant)
- Técnico de Soporte BIM (BIM Support Technician)
- Especialista en Cumplimiento Normativo BIM (BIM Regulatory Compliance Specialist)

Además, la CII BIM identifica tres pilares claves para estructurar roles y responsabilidades relacionadas al BIM [10]:

- **Liderazgo:** Esta área se centra en la dirección y gestión estratégica del uso de BIM en una empresa. Incluye roles que se encargan de establecer la visión, los objetivos y las políticas para la implementación de BIM, asegurando que se alineen con los objetivos generales de la compañía. Los líderes en BIM toman decisiones clave, gestionan recursos, y son responsables de la supervisión y el éxito global de la implementación de la metodología.
- **Colaboración y Coordinación:** Esta categoría abarca los roles que facilitan la comunicación efectiva y la colaboración entre los diferentes equipos y disciplinas involucradas en un proyecto BIM. La coordinación y colaboración son esenciales para garantizar que los modelos BIM sean precisos, coherentes y que reflejen adecuadamente las necesidades de todas las partes interesadas. Los roles en esta área trabajan para resolver conflictos, integrar aportes de diversas fuentes y mantener a todos los equipos alineados y actualizados.
- **Técnico:** Los roles técnicos en BIM se enfocan en los aspectos prácticos de la creación y gestión de los modelos BIM. Esto incluye la modelación detallada, el análisis de datos, la gestión de la información y el soporte técnico. Los profesionales en esta área poseen habilidades especializadas en software y tecnologías que apoyan la metodología, y son responsables de asegurar que los modelos sean precisos, detallados y técnicamente sólidos.

De acuerdo con la CII BIMC cada uno de estos pilares cuenta con una serie de responsabilidades que se deben cumplir para poder asegurar que cada rol se desempeñe de manera óptima, estas responsabilidades se encuentran en las tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1. Roles y responsabilidades del área de enfoque Liderazgo

Área de enfoque de roles	Liderazgo	Roles	Líder BIM Líder de Innovación Líder de Diseño/Construcción Tecnológica
Responsabilidades			
Establecer la Visión y Estrategia de BIM: Definir cómo BIM se alinea y apoya los objetivos generales de la empresa.			

<p>Desarrollo de Políticas y Estándares de BIM: Crear y mantener políticas y estándares que guíen la implementación de BIM en la organización.</p> <p>Gestión de Recursos: Asegurar la asignación y gestión eficiente de recursos para proyectos BIM, incluyendo personal, software y hardware.</p> <p>Formación y Desarrollo: Promover la formación continua y el desarrollo de habilidades en BIM dentro de la organización.</p> <p>Comunicación y Promoción de BIM: Facilitar la comunicación efectiva sobre las iniciativas y beneficios de BIM a todos los niveles de la empresa.</p> <p>Supervisión de Proyectos BIM: Monitorear y evaluar la implementación de BIM en proyectos específicos para asegurar la coherencia con los objetivos estratégicos.</p> <p>Gestión del Cambio: Liderar y gestionar el cambio organizacional asociado con la adopción de BIM, asegurando una transición suave y efectiva.</p> <p>Colaboración Interdepartamental: Fomentar la colaboración entre diferentes departamentos para integrar BIM en diversas áreas de trabajo.</p> <p>Evaluación y Mejora Continua: Evaluar regularmente la efectividad de BIM en la organización y buscar oportunidades de mejora continua.</p> <p>Gestión de Riesgos y Solución de Conflictos: Identificar y gestionar riesgos asociados con la implementación de BIM, y resolver conflictos que puedan surgir.</p>

[10]

Tabla 2. Roles y responsabilidades del área de enfoque Colaboración y Coordinación

Área de enfoque de roles	Colaboración y Coordinación	Roles	Gestor de Información Gestor BIM Coordinador BIM
Responsabilidades			
<p>Facilitar la Comunicación entre Equipos: Asegurar una comunicación fluida y efectiva entre los diferentes equipos y departamentos involucrados en proyectos BIM.</p>			

<p>Coordinar la Integración de Modelos BIM: Supervisar la integración y coherencia de los modelos BIM aportados por diferentes disciplinas y especialistas.</p> <p>Gestionar la Interoperabilidad: Asegurar que los diferentes sistemas y software utilizados por los equipos sean compatibles y funcionen de manera integrada.</p> <p>Resolver Conflictos en el Modelo BIM: Identificar y resolver discrepancias o conflictos que surjan en el modelo BIM entre diferentes disciplinas.</p> <p>Mantener la Coherencia del Proyecto: Velar por que todas las contribuciones al modelo BIM estén alineadas con los objetivos y estándares del proyecto.</p> <p>Organizar Reuniones de Coordinación: Convocar y dirigir reuniones regulares de coordinación BIM para discutir avances, desafíos y estrategias.</p> <p>Capacitación y Soporte en BIM: Proporcionar orientación y apoyo a los miembros del equipo en aspectos relacionados con BIM.</p> <p>Monitoreo y Reporte de Progreso: Realizar un seguimiento continuo del progreso en la implementación de BIM y reportar a la dirección.</p> <p>Promover Mejores Prácticas de Colaboración: Fomentar un ambiente de trabajo colaborativo y compartir mejores prácticas en el uso de BIM.</p> <p>Gestión de Documentación y Datos: Asegurar que toda la documentación y datos relacionados con BIM estén correctamente gestionados y sean accesibles para los equipos pertinentes.</p>
--

[10]

Tabla 3. Roles y responsabilidades del área de enfoque Técnicos

Área de enfoque de roles	Técnicos	Roles	Técnico BIM Modelador BIM Revisor BIM
Responsabilidades			
Creación y Mantenimiento de Modelos BIM: Desarrollar modelos BIM precisos y detallados, y asegurar su mantenimiento y actualización a lo largo del proyecto.			

Gestión de Datos en el Modelo BIM: Administrar y organizar la información dentro de los modelos BIM, garantizando su precisión y relevancia.

Análisis Técnico y Resolución de Problemas: Realizar análisis técnicos de los modelos BIM y resolver problemas técnicos que surjan durante el proceso de modelado.

Cumplimiento de Estándares y Protocolos BIM: Asegurar que todos los trabajos técnicos cumplan con los estándares y protocolos BIM establecidos por la organización.

Colaboración con Otros Equipos: Trabajar en colaboración con otros equipos para integrar sus aportes y necesidades en el modelo BIM.

Soporte Técnico a Otros Usuarios de BIM: Proporcionar asistencia y soporte técnico a otros usuarios de BIM dentro de la organización.

Detección y Gestión de Colisiones en el Modelo: Identificar y gestionar colisiones o incompatibilidades dentro del modelo BIM.

Capacitación y Actualización en Herramientas BIM: Mantenerse actualizado con las últimas herramientas y tecnologías BIM y, si es necesario, capacitar a otros en su uso.

Preparación de Documentación Técnica: Elaborar documentación técnica relacionada con los modelos BIM, incluyendo especificaciones, manuales y reportes.

Evaluación de Nuevas Tecnologías y Procesos BIM: Evaluar y recomendar nuevas tecnologías y procesos para mejorar la implementación de BIM en la organización.

[10]

1.5 LOD y LOI

Los niveles de desarrollo LOD hoy tienen más de una interpretación que dependen de la base que se haga referencia y del año de publicación, esto debido a que cada cierto período de tiempo se actualizan lo cual afecta las definiciones [9].

De acuerdo con el estándar de EUS (National BIM Standard – US) el LOD Significa nivel de desarrollo o Level of Development. Pero, de acuerdo con el estándar de Reino Unido (National BIM Standard NBS - UK) el LOD significa nivel de definición o Level of Definition [9].

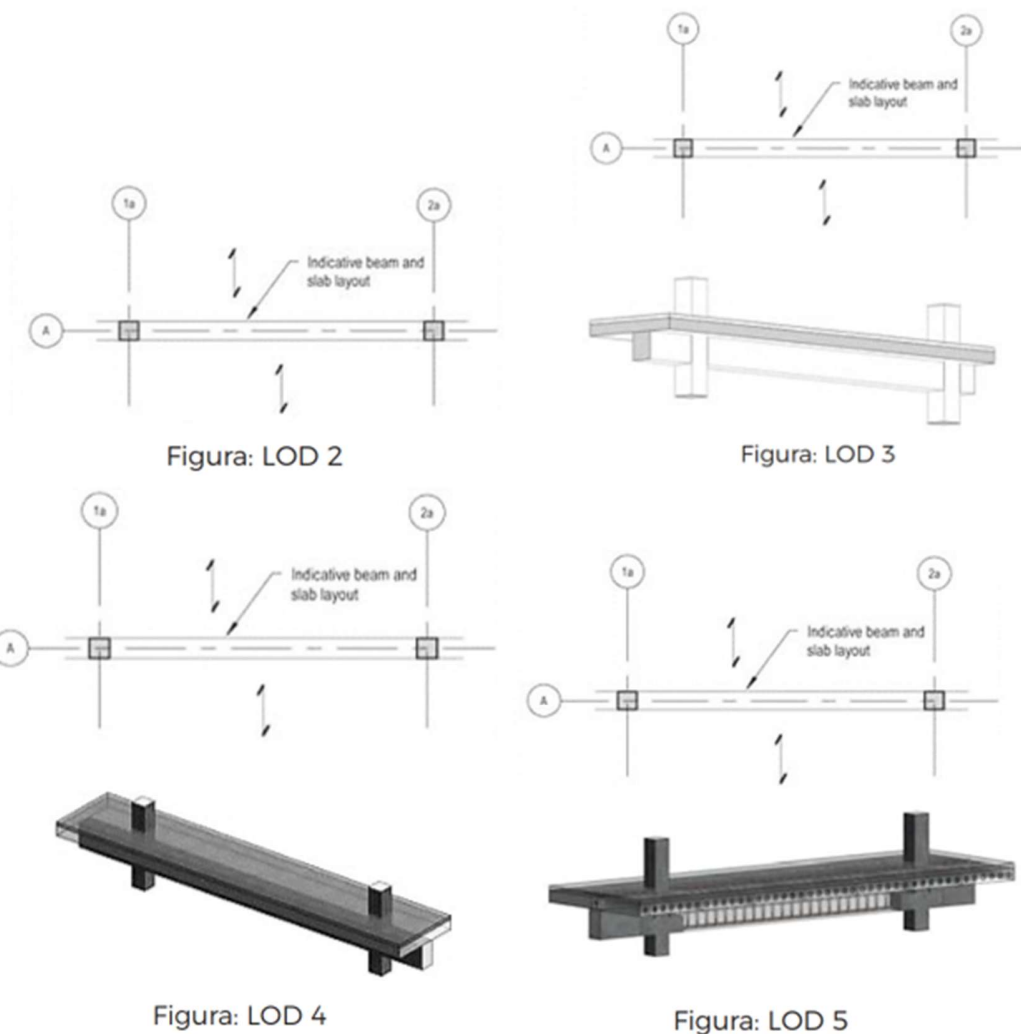
Estas dos definiciones de LOD tienen diferencias considerables, como por ejemplo en el modelo del Reino Unido hoy se incluye el nivel de detalle del elemento, mientras que en el de Estados Unidos considera la geometría e información del elemento [9].

1.5.1 Nivel de definición (LOD UK)

De acuerdo con [9], el modelo de Reino Unido el término nivel de definición se refiere a dos conceptos, el nivel de detalle (LOD) que describe gráficamente los modelos en cada una de sus etapas y al nivel de información (LOI) que describe el contenido no gráfico de los modelos:

- LOD 2: el elemento de construcción modelado proporciona una indicación visual en su etapa conceptual. Identifica los requisitos como el acceso o zonas libres para su futuro mantenimiento.
- LOD 3: el elemento modelado proporciona definiciones técnicas del elemento.
- LOD 4: el elemento de construcción modelado brinda una representación visual completa para su etapa de diseño y su coordinación espacial.
- LOD 5: el elemento modelado brinda una representación visual del elemento construido e instalado y brinda una referencia para su futuro uso y mantenimiento.
- LOI 1 y 2: El elemento modelado proporciona una descripción inicial para una entrega para el diseño.
- LOI 4: el elemento modelado proporciona información suficiente para la selección del producto que cumpla con los requisitos. Esta información también puede ser útil para reemplazar un elemento durante su ciclo de vida.
- LOI 5: Cuál es el elemento modelado brinda información específica del producto seleccionado o construido. En este nivel se indica información extra que se haya añadido durante el proceso constructivo.
- LOI 6: el elemento modelado proporciona información acumulada de los niveles anteriores y además considera información detallada del mantenimiento efectuado.

Figura 17. Nivel de definición (LOD UK).



[9]

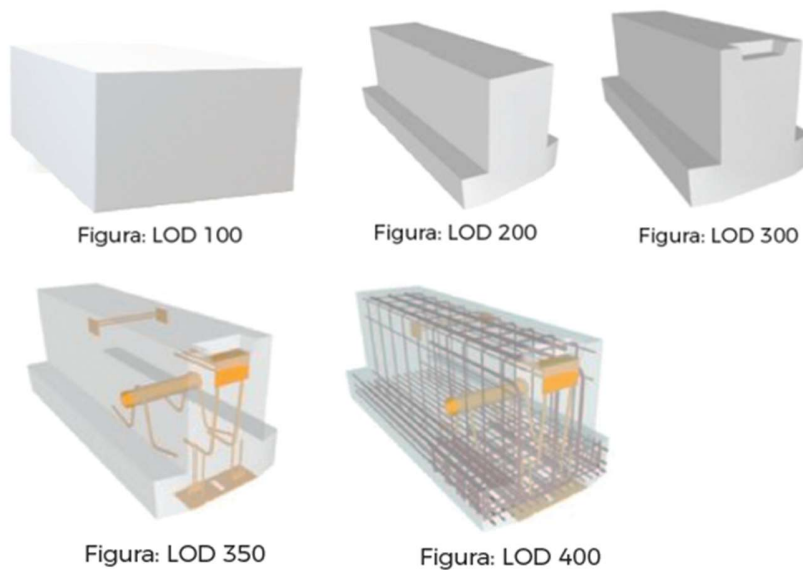
1.5.2 Nivel de desarrollo (LOD US)

Como menciona BIM Forum Costa Rica [9], el modelo estadounidense identifica los requisitos mínimos y de usos específicos asociados a cada elemento del modelo en 6 diferentes niveles de desarrollo:

- LOD 100: en este nivel de desarrollo los elementos se pueden representar gráficamente con un símbolo o alguna otra representación genérica. La información relacionada con el elemento se puede derivar de otros elementos del modelo. Estas representaciones no son geométricas, sino que muestra la existencia de un componente, pero no su forma, tamaño o ubicación. Toda la información que se ubica en este nivel de desarrollo se considera aproximada

- LOD 200: el elemento se representa como un sistema genérico de objeto, tamaño, forma, ubicación y orientación aproximada. También la información no gráfica es aproximada. Las representaciones son geométricas respecto al volumen o espacio designado para este elemento. Al igual que el LOD 100 esta información se debe considerar aproximada.
- LOD 300: el elemento modelado se representa como un objeto específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. La cantidad, dimensiones, forma, ubicación y orientación se puede obtener del modelo sin tener que hacer referencia a información no gráfica.
- LOD 350: en este nivel el elemento se representa gráficamente como un sistema u objeto específico en términos de cantidad, forma, posición y orientación, y este se encuentra vinculado a otros elementos del mismo modelo. Este elemento se vincula a otros elementos del modelo cercano o adjuntos y también se incluyen partes como soportes o conexiones.
- LOS 400: al igual que el LOD 300, el elemento modelado representa gráficamente su dimensión, forma, ubicación, cantidad y añade información detallada de su fabricación, montaje e instalación.
- LOD 500: en este nivel el elemento modelado es una representación fiel al elemento construido en obra considerando su tamaño, forma, ubicación y orientación real. Esta representación se realiza a una vez esté construido el proyecto y son adecuadas para el mantenimiento y el funcionamiento.

Figura 18. Nivel de desarrollo (LOD US).



[9]

Para la empresa ECW el ingeniero Kendall Sequeira en su trabajo “Desarrollo de un modelo para la implementación de la metodología BIM en los procesos constructivos y de mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la empresa Eco Clean Water”[16] clasificó una serie de elementos básicos para las plantas de tratamiento en un LOD específico, por lo que a lo largo de este proyecto dichos elementos se van a mantener en esos niveles de desarrollo. Estos elementos se pueden observar en la figura 19.

Figura 19. Listado de elementos junto con su nivel de desarrollo y el tipo de familia.

Elemento	LOD	Tipo de familia paramétrica
Difusores de plato y de cono	300	No modificable
Rejillas de cribado	400	Modificable
Caseta acústica (simple y dúplex)	400	No modificable
Vertedero V-notch	400	Modificable
Clorador	400	No modificable
Sistema de bombeo	400	No modificable
Bolsas de deshidratación	400	Modificable
Lechos de secado	400	Modificable
Paneles de control	300	No modificable
Pedestales eléctricos	300	No modificable
Tapas metálicas y de fibra de vidrio	300	Modificable
Malla perimetral	300	NA
Escalera de mano y barandas	300	No modificable
Caseta de operador	200	NA

[16]

Sequeira [16] clasificó dichas familias de elementos en modificables y no modificables dependiendo de si pueden llegar a variar sus características tomando en cuenta las condiciones del proyecto o el origen de la familia del elemento, por ejemplo, un sitio web.

1.6 Dimensiones BIM

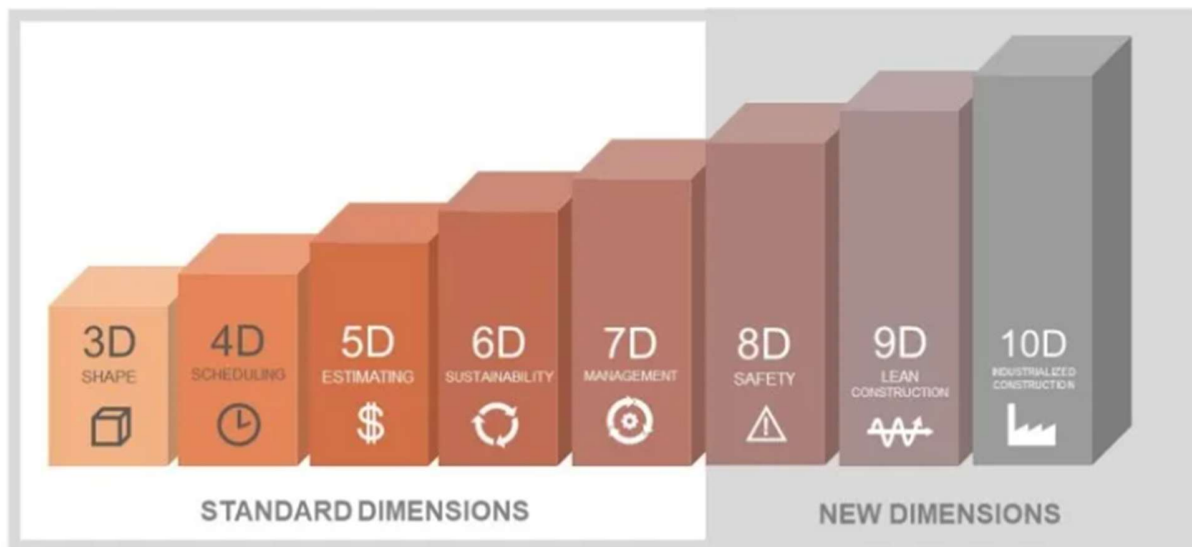
De acuerdo con Smith [17], BIM cuenta con varios subconjuntos comúnmente llamados dimensiones, estos vendrían siendo:

- 3D (Modelado del objeto): se refiere al modelo a construir con visualización en tres dimensiones.
- 4D (Tiempo): en esta dimensión enlaza la información del modelo 3D con la programación del proyecto y cronogramas.
- 5D (Costo): fue en la quinta dimensión se integra toda la información con sus costos, cantidades, cronogramas y precios.
- 6D (Operación): en la sexta dimensión se representa un modelo as-built que puede ser usado durante sus etapas de operación.
- 7D (Sostenibilidad): en esta dimensión se permite a los diseñadores cumplir con los objetivos de carbono para elementos específicos del proyecto y vale a las decisiones de diseño en consecuencia o probar y comparar diferentes opciones.

- 8D (Seguridad): por último, esta dimensión incorpora aspectos de seguridad, ya sea en la etapa de diseño o construcción.

Aunque dependiendo de la literatura consultada puede haber cambios en las definiciones de las dimensiones como, por ejemplo, BIM Forum Costa Rica define la 6D como ambiental y 7D como mantenimiento. La figura 20 muestra estas dimensiones además de incorporar la novena y décima dimensión que abarcan la construcción Lean y la construcción industrializada.

Figura 20. Dimensiones BIM.



[18]

1.7 Archivos IFC

Los archivos IFC (Industry Foundation Classes por sus siglas en inglés) Son un modelo de datos abiertos y estandarizados que facilitan la interoperabilidad entre aplicaciones de software de modelado de información de la industria AEC/FM. Los archivos IFC han estado en desarrollo por un consorcio industrial desde 1994 y, desde el inicio de esta iniciativa la evolución del contexto industrial, la organización de estandarización, la disponibilidad de recursos y el desarrollo tecnológico han expuesto el proceso de estandarización a un entorno dinámico [19]. El esquema IFC es un estándar internacional (UNE-EN ISO 16739-1, AENOR-UNE, 2018) organizado en torno a un conjunto de entidades o clases relacionadas entre sí por medio varios tipos de vínculos. Estos tipos de archivos formados por tipos como *.xml, *.json o STEP permite ser interpretados por máquinas y leídos por lenguajes humanos [20].

La generación de modelos de información sobre los que se fundamenta la metodología BIM son principalmente softwares comerciales de modelado. Cuenta con procedimientos de creación y gestión de

información optimizados para una gestión eficiente, aunque los archivos IFC cuentan con ciertas limitaciones [20]:

- Está orientado a la respuesta a la creación de casos más comunes de geometría en los objetos del sector construcción, Pero tienen carencias cuando deben representar entidades poco utilizadas. Suelen contar con herramientas genéricas de creación y edición de geometría, pero su uso no es tan potente como el de las herramientas específicas.
- Es común que este tipo de archivos de modelado no puedan utilizar eficientemente la información empleada por los equipos de diseño en especial en fases tempranas dada la heterogeneidad de la información usada en cada una de las disputas por lo que la interpretación de información resultante del proceso de diseño para poder alimentar los modelos suele hacerse de manera manual.

1.8 REVIT

Como se menciona en la página oficial de Autodesk, Revit es un programa con la función de modelar edificios e infraestructuras en 3D. Tiene utilidades en el área de la arquitectura e ingeniería, como por ejemplo [21]:

- Modelar formas, estructuras y sistemas en 3D con exactitud paramétrica, precisión y facilidad.
- Agilizar la gestión de proyectos con revisiones instantáneas de planos, elevaciones, planificaciones, hojas y visualizaciones 3D.
- Combinar equipos de proyecto multidisciplinarios para mejorar la eficiencia y la colaboración, y generar un mayor impacto en la oficina o en la obra.

1.8.1 Archivos Revit ®

Revit ® tiene la peculiaridad de poder generar 5 tipos de archivos, los cuales son: *.rfa, *.rft, *.rte, *.rvt e *.ifc. Estas extensiones de documentos tienen características únicas para que Revit ® sea funcional, por ejemplo [21]:

- *.rfa: Son archivos específicos para las familias Revit. Estos archivos son cargables y se pueden mover de un archivo a otro.
- *.rft: Plantillas de familias Revit, son archivos para crear familiar desde cero.
- *.rte: Estos archivos son plantillas Revit, que son usadas cada vez que se inicia un proyecto nuevo.
- *.rvt: Autodesk Revit (formato para modelos en el software Revit ®).
- *.ifc: Industry Foundation Clases.

Si bien Revit® tiene la capacidad de generar archivos *.ifc y estos se pueden trabajar en diferentes softwares no se recomienda usarlos a nivel interno de ECW debido a que estas extensiones tienden a perder información del modelo *.rvt.

Capítulo 2: Metodología

El presente proyecto se desarrollará bajo un enfoque cualitativo, cuantitativo, descriptivo, aplicado y con un diseño no experimental, orientado a proponer un plan de ejecución para la implementación y estandarización de la metodología BIM (Building Information Modeling) en el departamento de diseño de la empresa Eco Clean Water (ECW).

2.1 Enfoque metodológico

La investigación cualitativa constituye un enfoque orientado a la obtención de descripciones profundas a partir de diversas técnicas de recolección de información, tales como entrevistas, narraciones, notas de campo, grabaciones, transcripciones, documentos escritos, registros fotográficos o audiovisuales, entre otros. En este proyecto se adopta este enfoque con el propósito de comprender de manera integral los procesos actuales de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, así como las percepciones, necesidades y experiencias del personal involucrado. Esta perspectiva permite examinar fenómenos complejos en su propio contexto y aporta herramientas interpretativas que facilitan la identificación de oportunidades de mejora.

Por su parte, la investigación cuantitativa se centra en la medición y el análisis numérico de datos con el fin de alcanzar objetividad en el proceso de conocimiento. A través de la recopilación de información cuantificable, es posible establecer promedios y tendencias a partir del estudio de un conjunto amplio de sujetos o situaciones. En este trabajo se integra dicho enfoque mediante la recolección y análisis de datos estadísticos, como los porcentajes del personal que posee conocimientos sobre la metodología BIM. Estos resultados complementan la exploración cualitativa, aportando una visión más precisa del nivel de familiarización del equipo con este enfoque.

Asimismo, la investigación tiene un carácter descriptivo, dado que se orienta a caracterizar los procesos actuales de diseño en Eco Clean Water. Para ello, se identifican y documentan las principales actividades, los flujos de trabajo, los roles del personal, las herramientas utilizadas y los mecanismos de intercambio de información. Este análisis sistemático permite organizar y estructurar la información de manera comparable y confiable, constituyendo la base para la formulación de un plan de ejecución BIM ajustado a las necesidades específicas de la empresa.

2.2 Tipo y diseño de investigación

Por último, la **investigación aplicada** tiene como propósito hacer un uso inmediato del conocimiento existente, por lo que este proyecto corresponde a una investigación aplicada, dado que tiene un propósito práctico. No se busca únicamente generar conocimiento teórico, sino ofrecer una solución concreta a una necesidad organizacional.

El diseño de esta investigación corresponde a un enfoque no experimental, dado que no implica la manipulación de variables ni el control de condiciones externas. Se desarrolla como un estudio de carácter observacional, en el cual la información se recopila tal y como se presenta en la realidad de los procesos vigentes dentro de la empresa. Su fundamento radica en el análisis de categorías, conceptos, variables, sucesos, comunidades o contextos que ocurren de manera natural, sin la intervención directa del investigador y sin alterar el objeto de estudio.

2.3 Etapas metodológicas

El desarrollo del proyecto se estructurará en tres etapas principales:

1. Diagnóstico de procesos actuales: Se realizará un análisis detallado de los procesos de diseño mediante entrevistas, encuestas y revisión documental. Esta etapa permitirá identificar las actividades clave, roles, herramientas utilizadas y puntos de contacto con los principios de la metodología BIM.
2. Implementación BIM y elaboración del Plan de Ejecución BIM (PEB): Con base en el diagnóstico, se diseñará una guía de implementación que estandarice los procesos de diseño mediante la metodología BIM. El plan incluirá la definición de roles, flujos de trabajo, protocolos de comunicación, herramientas tecnológicas y estándares a aplicar enfocados y relacionados con la norma ISO 9001 cuya aplicación se da en los procesos en la empresa ECW.
3. Capacitación del personal: Se desarrollarán materiales audiovisuales y se impartirá un taller práctico dirigido al personal del departamento de diseño, con el fin de facilitar la comprensión y correcta aplicación del plan de ejecución BIM propuesto.

2.4 Sujetos de Información

Los sujetos de información del presente estudio serán los colaboradores del departamento de diseño de la empresa Eco Clean Water (ECW), así como personal técnico y administrativo que interviene directa o indirectamente en los procesos de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales.

2.5 Fuentes de Información

Las fuentes de información se clasifican en dos categorías principales:

- Fuentes primarias: Corresponden a la información recolectada directamente del personal de ECW a través de entrevistas, encuestas y observación directa de los procesos internos.
- Fuentes secundarias: Incluyen documentación interna de la empresa como manuales de procesos, flujogramas, informes técnicos, planos de diseño, además de bibliografía especializada sobre metodología BIM, estándares internacionales (como ISO 9001), guías de ejecución BIM y casos de implementación en otras organizaciones.

2.6 Técnicas e instrumentos de recolección

Para la recolección de la información se emplearán técnicas cualitativas que permitan comprender en profundidad los procesos actuales y las percepciones del personal respecto a la implementación BIM. Las principales técnicas e instrumentos utilizados serán los siguientes:

- Entrevistas: Se aplicarán a la coordinadora del departamento de diseño y a su asistente. Este instrumento permitirá obtener información cualitativa detallada sobre los procedimientos actuales, dificultades, oportunidades de mejora y nivel de conocimiento sobre BIM.
- Encuestas: Se aplicarán a 11 personas que están directamente relacionadas con el departamento de diseño y a las mismas personas de dicho departamento, como el coordinador del departamento de operaciones, coordinador de obra civil, agentes de ventas y permisos. El objetivo es recoger datos generales sobre el nivel de conocimiento, uso actual de herramientas digitales, disposición al cambio y percepción sobre la metodología BIM. Se diseñará un cuestionario con preguntas cerradas y de opción múltiple.
- Observación directa: Se llevará a cabo mediante visitas al área de trabajo del equipo de diseño, con el fin de registrar el flujo real de trabajo, el uso de herramientas y la interacción entre los participantes. Se utilizará una guía de observación estructurada para registrar los hallazgos.

Revisión de documentos: Consistirá en el análisis de documentos internos como planos, manuales de procesos, organigramas y software utilizados, con el objetivo de comprender los procesos de operaciones actuales, y detectar brechas frente a la metodología BIM.

Capítulo 3: Resultados y análisis

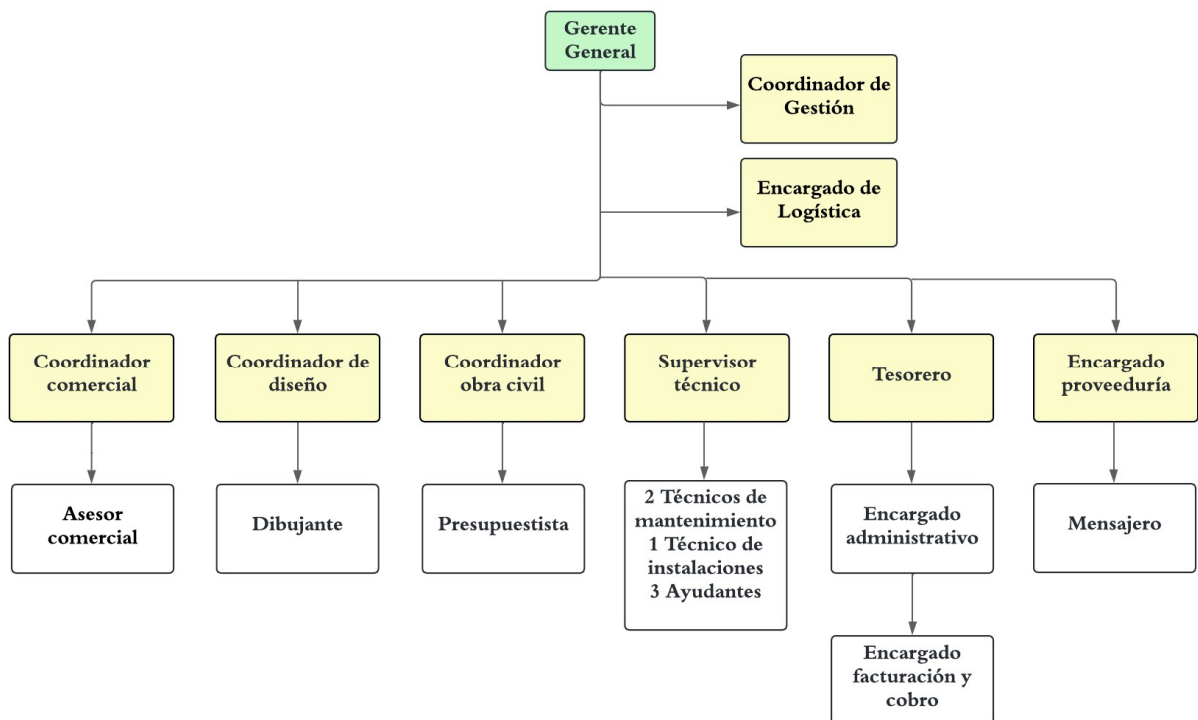
A continuación, se presentan los resultados obtenidos para este proyecto donde se tienen los valores de la encuesta realizada a los colaboradores de ECW, la estructura para realizar la implementación BIM y la descripción y forma de capacitación de los colaboradores en la empresa.

3.1 Diagnóstico de procesos

3.1.1 Estructura Empresarial

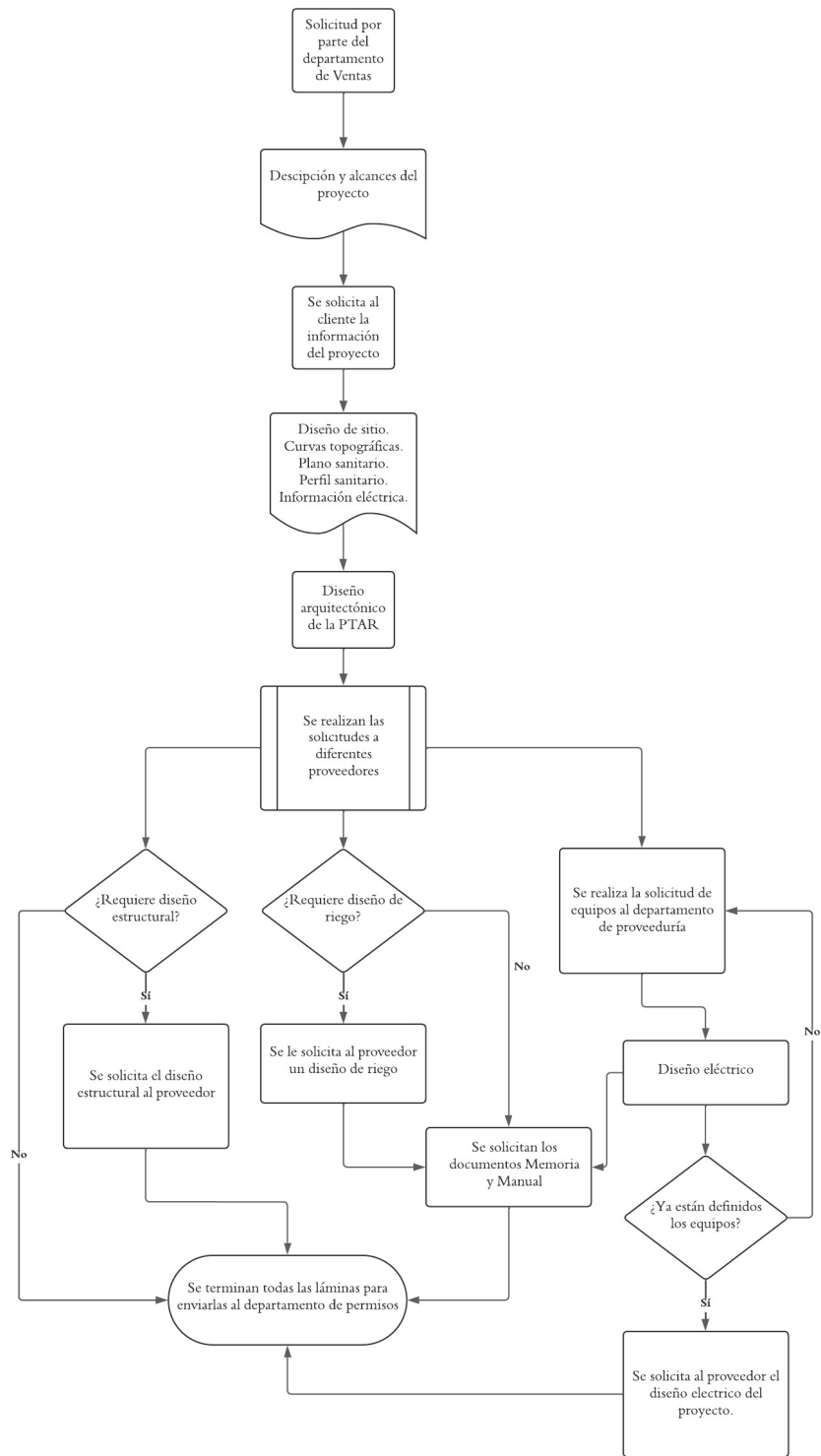
Con el fin de determinar el estado actual de la empresa en los procesos para entregar una PTAR se debe conocer la estructura empresarial en ECW. En la figura 21 se observa la estructura actual en la empresa ECW.

Figura 21. Personal actual en ECW.



No obstante, como en este proyecto se enfoca en el departamento de diseño, en la figura 22 se observa el diagrama de flujo desde la solicitud de los planos hasta su entrega.

Figura 22. Diagrama de flujo del Departamento de Diseño en ECW.



3.1.2 Resultados sobre conocimiento BIM en ECW

Como forma de recopilación de información en la empresa ECW y para determinar que tanto se sabe al respecto de la metodología BIM se realizó una encuesta por medio de Google Forms (apéndice 1). Esta encuesta fue enviada a los departamentos que se relacionan directamente con el departamento de diseño, como lo son los departamentos de ventas, permisos, proveeduría, obra civil, instalaciones y mantenimiento. Aunque solo se recopilaron 9 respuestas cabe resaltar que varios de estos departamentos son unipersonales. En total en estos departamentos hay 11 colaboradores, pero no hubo respuesta por parte de un miembro del departamento de obra civil y del departamento de diseño.

Tabla 4. Cantidad de Colaboradores por Departamento en Eco Clean Water

Departamento	Colaboradores
Ventas	1
Permisos	1
Diseño	2
Proveduría	1
Obra Civil	2
Instalaciones	1
Mantenimiento	3
Total	11

En primer lugar, se consultó a los colaboradores si habían escuchado sobre la metodología BIM y qué conocimientos tenían al respecto. El 55.6% de los encuestados (cinco personas) respondió afirmativamente. Posteriormente, a quienes indicaron conocer la metodología se les solicitó que explicaran qué sabían sobre ella. Entre las respuestas, se mencionó que BIM es una metodología de trabajo colaborativo que facilita la organización de los procesos y la gestión de la información en proyectos de infraestructura y construcción. Asimismo, señalaron que su aplicación se concentra en el sector de la construcción y que permite la integración de distintas disciplinas relacionadas con el diseño y el dibujo técnico.

Con el fin de identificar el nivel de familiaridad con las herramientas digitales, se les preguntó qué programas relacionados con BIM conocían. Revit® fue el software más mencionado, con seis votos. Este hallazgo resulta especialmente relevante, ya que el departamento de diseño de ECW se encuentra implementando este programa por su facilidad para realizar correcciones. El hecho de que la mayoría de los colaboradores vinculados a dicho departamento lo conozcan, representa un apoyo significativo para definir la adopción de este software dentro del Plan de Ejecución BIM (PEB).

En relación con las plataformas digitales de colaboración, únicamente dos de los nueve encuestados manifestaron conocer alguna. Aunque las opciones indicadas no necesariamente deben ser las que se

implementen en la empresa, este resultado refleja un bajo nivel de conocimiento en el uso de herramientas BIM colaborativas.

Cabe señalar que, tras las primeras preguntas, el formulario incluyó una breve explicación de la metodología BIM, con el propósito de facilitar la comprensión de las interrogantes posteriores. En este sentido, se planteó a los colaboradores si consideraban posible la adopción de esta nueva metodología en la empresa. El 100% respondió afirmativamente, aunque el 44.4% percibe que la implementación puede presentar una dificultad media, lo cual evidencia la necesidad de dar acompañamiento y seguimiento durante el proceso.

Respecto a los posibles retos, los colaboradores identificaron principalmente la falta de conocimiento, señalada por el 44.4% de los encuestados, y la carencia de manejo de plataformas digitales colaborativas, que alcanza un 77.8%. En términos generales, un 88.9% considera que la falta de conocimientos en BIM constituye un reto importante y un 44.4% anticipa resistencia al cambio como otro posible obstáculo.

Finalmente, los resultados muestran una percepción optimista hacia la implementación de BIM en ECW. El 100% de los colaboradores considera que la metodología puede mejorar su desempeño, además de manifestar interés en recibir capacitación. En particular, un 44.4% expresó preferencia por sesiones de una hora semanal.

Si se desean leer los resultados de la encuesta estos se encuentran en el apéndice 1.

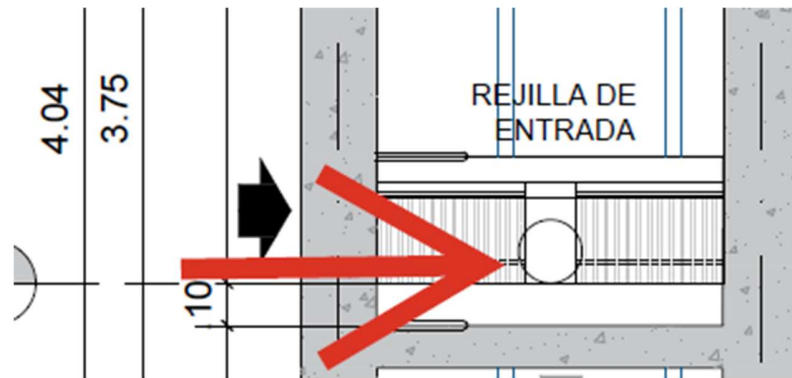
3.2 Plan de Ejecución BIM

El proceso para generar los planos en la empresa ECW se realiza con el programa de dibujo AutoCAD, el cual está enfocado en dibujos arquitectónicos en dos dimensiones. Al realizar estos diseños de esta manera no se optimiza el proceso de diseño de planos debido a que cada lámina que se deba hacer es totalmente independiente una con la otra, por lo que hay una alta probabilidad de que haya diferencias entre láminas. Además de que la interpretación de planos para detalles y medidas se vuelve más complicado para los trabajadores en sitio, lo cual lleva a errores constructivos que traen desperdicio de materiales, tiempo y dinero. Como muestran las figuras 23 y 24, se observan las discrepancias más comunes en diseño con este método; en la figura 23 se observa un pasante en planta, el cual indica que está en posición vertical, mientras que en la figura 24 se muestra el mismo pasante en posición horizontal.

Figura 23. Pasante en planta arquitectónica.



Figura 24. Pasante en corte longitudinal.



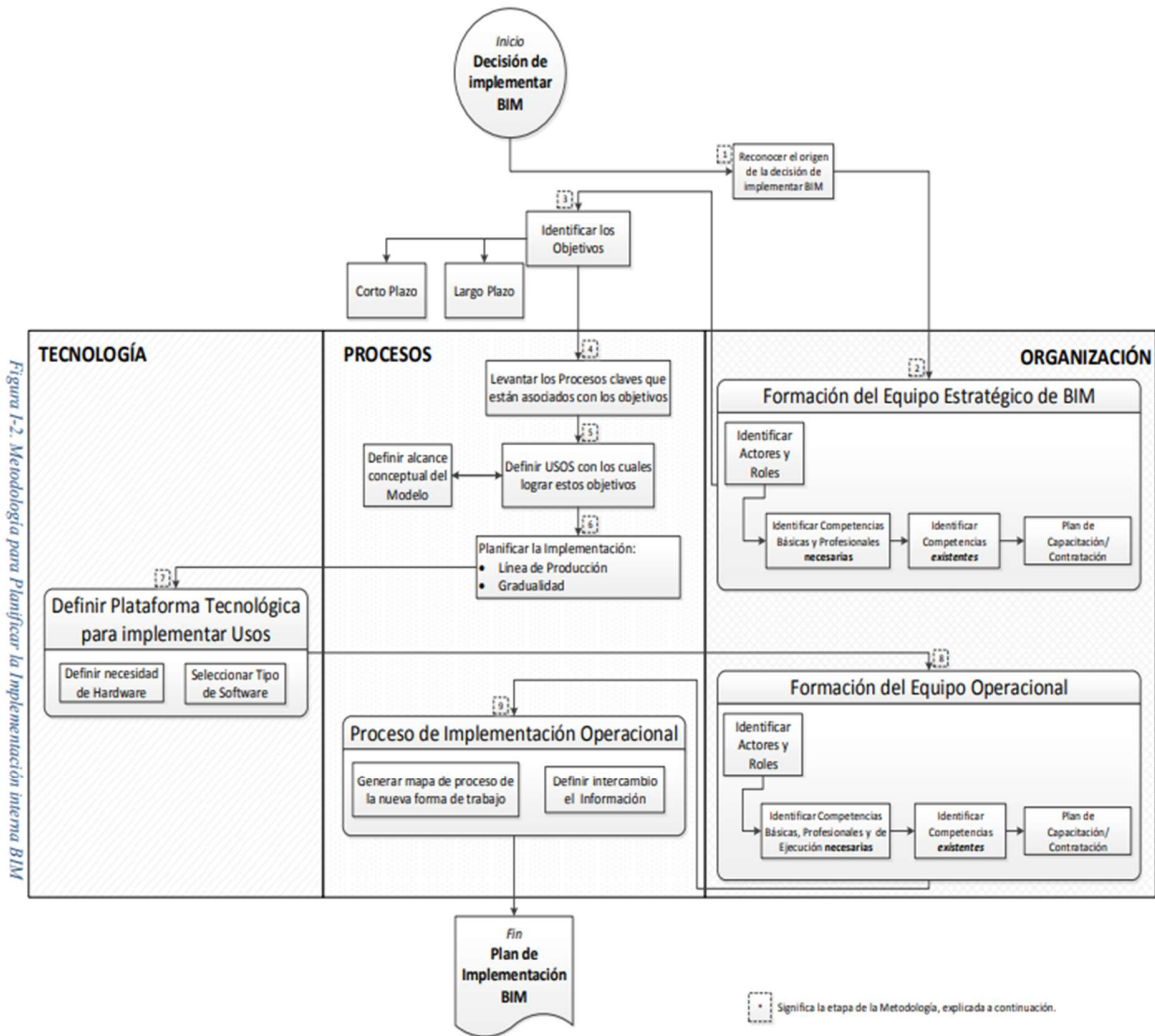
La creación del Plan de Ejecución BIM permitió definir roles, procesos y estándares clave para guiar la implementación de BIM en los proyectos de la empresa. A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos, los cuales constituirán las bases para una gestión más eficiente y colaborativa.

3.2.1 Decisión de implementar BIM

Eco Clean Water es una empresa que actualmente no ha incorporado la metodología BIM en sus procesos de diseño y/o construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). En la práctica, se han presentado inconsistencias en planos, errores en campo y sobrecostos asociados al uso de tiempo y recursos. Si bien estos problemas pueden deberse a diversos factores, se considera que la ausencia de una metodología de trabajo colaborativa y estandarizada, como lo es BIM, podría estar influyendo en su aparición o agravamiento. Por esta razón, se plantea la presente propuesta, con el fin de explorar la implementación de BIM como una alternativa que contribuya a mejorar la eficiencia y reducir las incidencias mencionadas. Se propone una metodología en base a un flujo de decisiones que abarca todos los factores relevantes para

buscar empezar con una visión estratégica para luego pasar a una enfocada en lo operacional. Esta metodología se divide en 3 ejes, los cuales son Organización, Procesos y Tecnología.

Figura 35. Metodología para Planificar la Implementación interna BIM.



[22]

En este documento se llamará al eje Organización como Roles y Responsabilidades, debido a que se usa de referencia el documento Roles y Responsabilidades BIM de La Comisión Interinstitucional BIM Costa Rica [10].

3.2.2 Roles y responsabilidades

El personal del departamento de diseño en ECW cuenta con amplia experiencia en el desarrollo de planos y gestión de la información técnica, pero no posee una formación formal en modelado tridimensional ni en

procesos colaborativos basados en BIM. El equipo de diseño trabaja principalmente con planos en formato DWG, y el personal de campo o supervisión no emplea modelos digitales para la planificación o control de obra. A pesar de ello, se identifica un interés en modernizar los procesos internos y avanzar hacia una metodología más eficiente y coordinada, lo que evidencia una disposición favorable hacia la adopción de BIM. Como se menciona anteriormente en las tablas 1, 2 y 3, hay roles y responsabilidades ya establecidas por la CII BIM. Estas han ido apareciendo con lo largo de los años de acuerdo con las necesidades de cada empresa y estos roles no son obligatorios de implementar en su totalidad. Por lo tanto, de acuerdo a lo anterior y con los resultados obtenidos anteriormente, se notó que en ECW no hay experiencia con temas BIM, además de que los departamentos cuentan con una 2 o 3 personas, incluso hay departamentos unipersonales, por lo que para implementar BIM se proponen 3 roles con el fin de dar un comienzo progresivo a una implementación BIM completa en futuros años. Estos roles se pueden observar en la tabla 5.

Tabla 5. Roles y Responsabilidades en etapa preliminar de la implementación BIM en ECW.

Rol	Responsabilidad
Gerente BIM	Definir y mantener los estándares y protocolos BIM de la empresa. Coordinar la implementación progresiva de BIM en los proyectos. Seleccionar software y herramientas BIM adecuadas. Coordinar capacitación del equipo. Supervisar calidad de los modelos y cumplimiento de objetivos BIM. Representar a la empresa ante clientes o instituciones en temas BIM.
Coordinador BIM	Coordinar entre disciplinas (Diseño, Obra Civil, Proveeduría, Equipos). Verificar que todos los modelos estén alineados y bien vinculados. Controlar versiones, interferencias y conflictos en el modelo. Apoyar en revisiones y auditorías de modelos. Comunicar cambios técnicos al modelador y validar su implementación.
Modelador BIM	Modelar elementos arquitectónicos, estructurales y de equipos según estándares BIM. Mantener actualizados los modelos en base a cambios de diseño. Documentar planos, detalles y vistas a partir del modelo 3D. Asignar correctamente parámetros y propiedades a los objetos. Apoyar en la detección de interferencias cuando se requiera.

Se definieron estos roles por recomendación del documento "Roles y Responsabilidades BIM" de la Comisión Interinstitucional BIM Costa Rica y por las tareas que se desempeñan en el departamento de diseño. Estos roles deben de asignarse a algún colaborador de la empresa, o bien, contratar nuevas personas con dichas capacidades para que cumplan con estos roles. Debido a las tareas de cada miembro del departamento se propone que la coordinadora del departamento de diseño opte por el rol de Coordinador BIM y la asistente

de diseño por Modelador BIM. Para el caso del Gerente BIM, al ser el “jefe” debe ser alguien capacitado y con previa experiencia en temas BIM, y ECW al no contar con personal con conocimientos BIM se propone que se contrate a una persona para que asuma este rol.

Como parte de la implementación BIM también se propone realizar una capacitación orientada a refrescar conceptos BIM que se usan en Revit ® que será llevada a cabo por parte del Gerente BIM, puesto que el Departamento de Diseño cuenta con conocimiento en dicho software, no se requiere de hacer una inversión en cursos externos. Dicha capacitación debe ser presencial en las instalaciones de ECW, y de acuerdo con la encuesta para mayor facilidad de los involucrados esta no debe pasar 1 hora de duración. El Gerente BIM está a cargo de enseñar los LOD establecidos para cada elemento dependiendo de la etapa de construcción de la PTAR, la nomenclatura de los documentos, alcances y limitaciones, objetivos, extensiones de los archivos, orden de carpetas y dirección de reunión kick-off para explicación del proyecto y revisión de planos con todos los departamentos involucrados.

Por último, también se proponen recibir cursos, charlas y/o seminarios gratuitos enfocados en BIM.

ECW no es una empresa que construya directamente las PTAR, para esto se adjudica el proyecto a un contratista y él se encarga de la mano de obra para llevar a cabo la obra. Este rol es fundamental porque son quienes reciben los planos de la PTAR, por lo que también se propone el Gerente BIM cada vez que haya que empezar un proyecto de una inducción a Autodesk Viewer a los contratistas y a los empleados del mismo, para que sepan visualizar los elementos deseados, hacer anotaciones y poder observar las láminas finales de dicha PTAR.

3.2.3 Procesos

Actualmente no existen protocolos o estándares BIM definidos dentro de la empresa, ni se cuenta con un Plan de Ejecución BIM (BEP) formal. La gestión de información se realiza mediante documentos PDF y archivos compartidos en Procore, sin un flujo de trabajo estructurado que permita integrar modelos, datos y cronogramas en un entorno colaborativo

El PEB a desarrollar para cada proyecto debe iniciarse una vez se tenga cerrado el contrato con el cliente sobre el producto a recibir, ya sea la PTAR y sus extras como un tanque homogenizador, EBAR, bolsas de deshidratación, lechos de secado, tanque de riego, etc. Siguiendo lo recomendado por la CII BIM [15] se debe realizar una serie de cuadros con la información del proyecto y cliente, además de la motivación y objetivos del proyecto:

- Objetivos BIM.
- Información del proyecto.
- Información del cliente.
- Contactos clave del proyecto.
- Alcances BIM del proyecto.
- Roles y responsabilidades.

- Nomenclatura de los archivos.
- Orden de las carpetas en Procore.
- Extensiones de los archivos a utilizar.

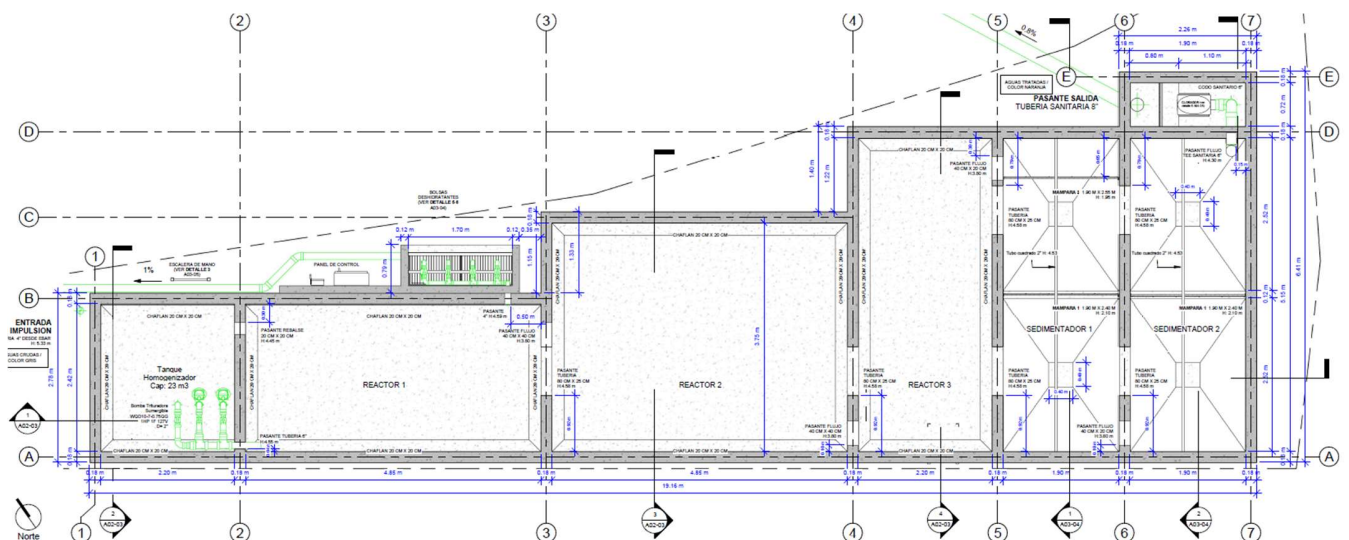
Si se desea conocer más a detalle este apartado se recomienda ver el apéndice 2 (Plan de Ejecución BIM).

3.2.4 Tecnología

En la actualidad, la empresa Eco Clean Water cuenta con capacidades técnicas que le permiten desarrollar sus proyectos de ingeniería bajo los métodos tradicionales, aunque aún no dispone de los recursos necesarios para implementar completamente la metodología BIM. En cuanto a infraestructura tecnológica, la organización posee equipos de cómputo con especificaciones adecuadas para el uso de programas de diseño en dos dimensiones, principalmente AutoCAD. Asimismo, utiliza la plataforma Procore como herramienta de gestión documental, control de calidad y seguimiento de proyectos, lo que representa una ventaja en términos de organización y trazabilidad de la información.

Como se menciona anteriormente en el capítulo 3.2, en la empresa ECW actualmente se usan archivos con extensión .dwg o sea, archivos creados en AutoCAD, pero se está haciendo la implementación a Revit® para el departamento de diseño con el fin de obtener menos errores en campo cuando se interpreten planos. Hasta le fecha solo se ha diseñado una PTAR dando uso a este software, dicho proyecto de llama “Live Jacó” ubicado en Puntarenas, Jacó. Un ejemplo de una lámina de dicho proyecto se muestra en la figura 26.

Figura 26. Lámina de losa y planta arquitectónica de la PTAR Live Jacó.



Como menciona la CII BIM [15], no hay restricciones con respecto a software o hardware que deba usarse para una implementación BIM, sin embargo, si debe ser un software aprobado por buildingSMART International para tener coherencia con los principios de openBIM®. Como se menciona anteriormente el software a implementar es Revit ® de Autodesk, y esta empresa cuenta con aprobación por parte de buildingSMART International. Por medio del siguiente link se puede acceder a todos los proveedores aprobados que cumplen con los principios de openBIM®: <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/>

3.2.4.1 Software

Durante el proceso de análisis se realizó una comparación entre distintos softwares relacionados con la metodología BIM, con el objetivo de identificar sus principales características, beneficios y áreas de aplicación dentro ECW. Es importante aclarar que dicha comparación no pretende establecer una elección definitiva entre las plataformas, sino más bien evaluar sus bondades y utilidades específicas, considerando que cada herramienta cumple un propósito distinto dentro de la metodología BIM y que su integración dependerá del nivel de madurez que la organización alcance con el tiempo.

En la actualidad, la empresa emplea Procore como plataforma principal para la gestión de proyectos, herramienta que ha demostrado gran utilidad en la administración de la documentación técnica, el control de calidad, la comunicación entre equipos y el seguimiento de obra. No obstante, su enfoque se centra principalmente en la gestión de información y procesos constructivos, y no en la generación o coordinación de modelos tridimensionales.

Por otro lado, plataformas como Autodesk Construction Cloud o Trimble Connect se orientan a la gestión colaborativa de modelos BIM, permitiendo la integración de información proveniente de distintas disciplinas, la revisión simultánea de modelos y la detección temprana de interferencias. Estas soluciones resultan más adecuadas para etapas avanzadas de implementación, cuando la empresa ya cuenta con modelos tridimensionales desarrollados y procesos de coordinación interdisciplinaria definidos.

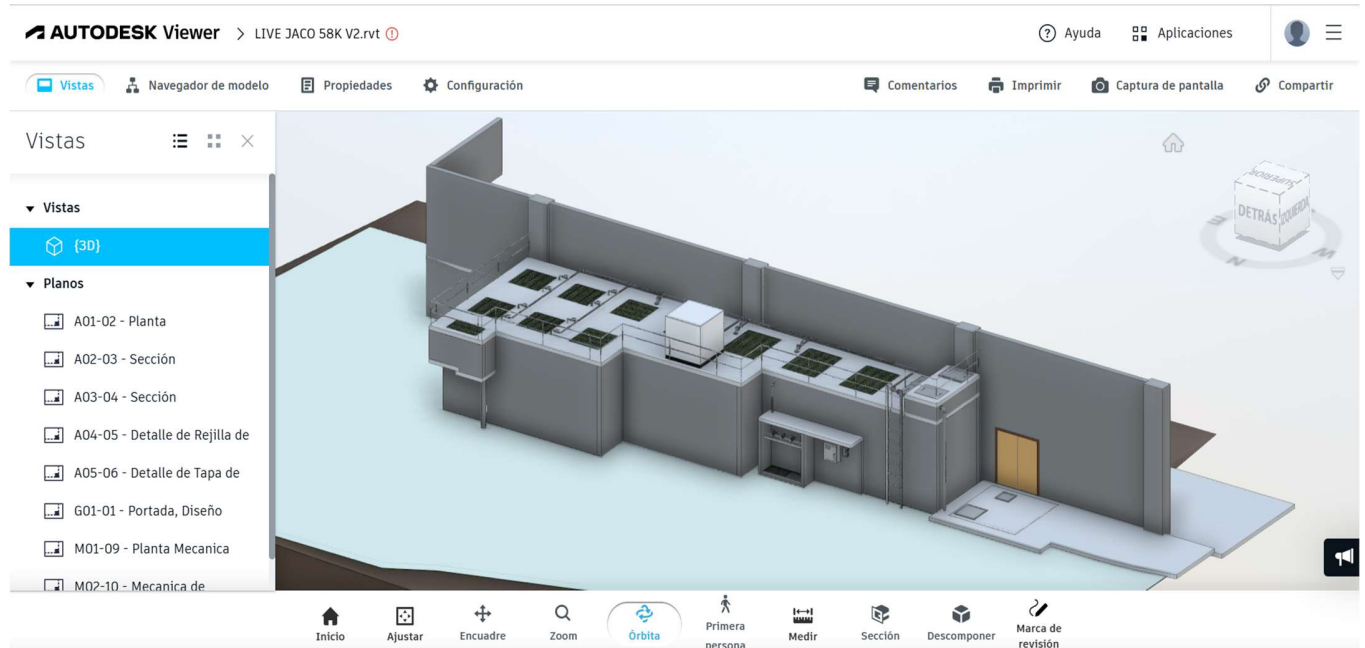
En este contexto, se sugiere mantener el uso de Procore en la primera fase de implementación, aprovechando su solidez como entorno de gestión documental y de comunicación. Paralelamente, se recomienda la incorporación progresiva de software de modelado y coordinación, como Revit para el desarrollo de modelos tridimensionales. Posteriormente, conforme la empresa incremente su madurez en la metodología, podría evaluarse la integración de herramientas colaborativas como Autodesk Construction Cloud o Trimble Connect, las cuales permitirán optimizar la interoperabilidad y consolidar un entorno común de datos (CDE). En la tabla 6 se puede analizar las diferentes opciones de programas que se estudiaron para estandarizar en el Departamento de Diseño en ECW. A pesar de que Revit ® es el programa más costoso, se elige debido a que la empresa tiene la capacidad financiera para adquirir las licencias, además de que la encuesta indicó que la mayoría de los encuestados están familiarizados con el programa, y las dos personas que trabajan en el Departamento de Diseño están capacitadas para su uso, y sumando la ventaja de que cada computadora en el departamento de diseño tiene dicho software, se concluye que esta es la mejor opción como inicio para

la implementación BIM en ECW. Y para relacionar este proyecto con el trabajo del ing. Sequeira [16] se propone que cada proyecto se cargue al programa Autodesk Viewer (figura 27), debido a que es gratuito y el modelo no es modificable, ideal para contratistas, proveedores externos y colaboradores en sitio. Solamente cuenta con la desventaja de que el enlace que se comparte para su visualización tiene fecha de expiración, por lo que el coordinador BIM debe de renovar este enlace para que no haya problemas de acceso.

Tabla 6. Comparación de diferentes softwares de modelado.

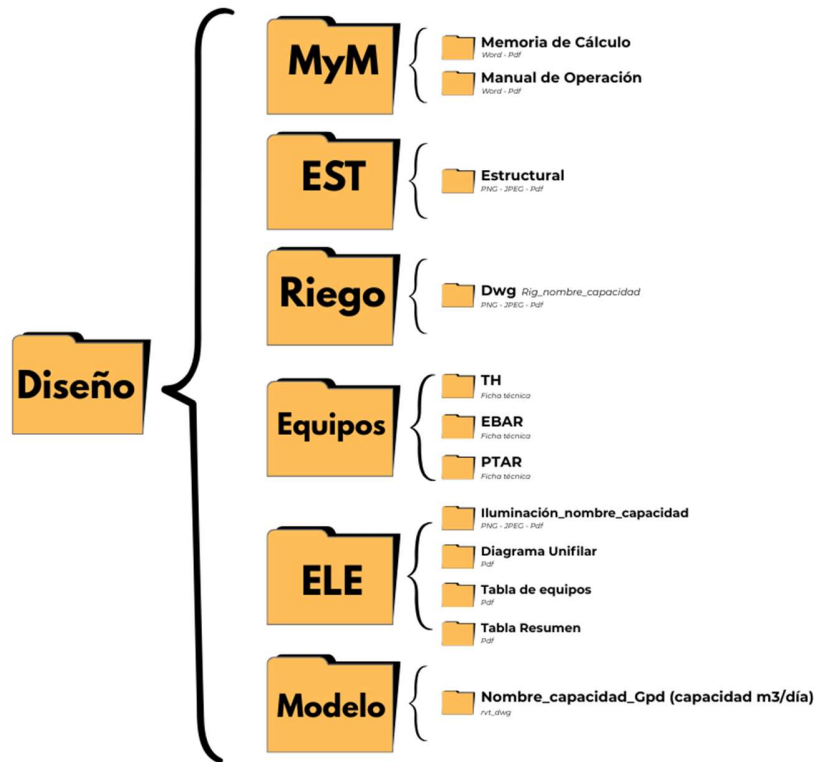
Programa	Enfoque	Extensión	Precio (mayo 2025)
Revit ®	Modelado BIM de edificios	.rvt, .rfa, .rte, .rft, .ifc	\$2910 anuales por usuario
Civil 3D	Diseño civil y topografía	.dwg, .dwt, .xml, .landxml, .sdf, .shp	\$2780 anuales por usuario
Naviswork	Coordinación y detección de conflictos	.nwf, .nwd, .nwc	\$1070 anuales por usuario
Tekla Structures	Modelado estructural de alta precisión	.dbn, .ifc, .nc1	\$392 mensuales

Figura 27. Modelo en Autodesk Viewer de la PTAR Live Jacó.



Un CDE al ser un repositorio de toda la documentación de los proyectos, se debe definir una estructura con jerarquías de carpetas para cada elemento necesario para el diseño de una PTAR (figura 28).

Figura 28. Estructura propuesta para el departamento de diseño en Procore.



En Eco Clean Water se desea continuar utilizando Procore como plataforma principal de gestión de proyectos, a pesar de que existen alternativas en el mercado que resultan más económicas, como Autodesk Construction Cloud, BIM 360 o Trimble Connect. Esta elección se debe a que Procore es una solución integral diseñada específicamente para el sector de la construcción. Su capacidad para centralizar la documentación, coordinar equipos, gestionar tareas en campo, generar reportes diarios y facilitar la comunicación entre los distintos actores del proyecto, ha demostrado ser clave en la ejecución de obras complejas como las plantas de tratamiento que desarrolla Eco Clean Water. Además, tiene la ventaja de visualización BIM que permite revisar modelos en formatos como .rvt e .ifc directamente desde la plataforma, lo cual es especialmente útil para conectar el diseño con la ejecución sin necesidad de herramientas adicionales.

Otro factor importante es que Procore ya está implementado en la empresa, lo que significa que el equipo está familiarizado con la plataforma, lo que reduce la curva de aprendizaje y evita costos asociados a la adopción de una nueva solución. Al ser una herramienta escalable, Procore también se adapta al crecimiento de la empresa, permitiendo manejar múltiples proyectos y usuarios sin necesidad de adquirir licencias adicionales por cada integrante del equipo.

Si bien el costo de Procore puede ser más elevado en comparación con otras alternativas, la empresa ha valorado que los beneficios operativos, la centralización de procesos y la capacidad de adaptación a las necesidades del sector hacen que esta inversión esté justificada. En la tabla 7 se pueden observar los factores analizados para cada plataforma.

Tabla 7. Comparación de diferentes plataformas digitales para colaboración.

Plataforma	Enfoque	Modelado	Visualizador BIM	Precio (mayo 2025)
Autodesk ACC	Diseño y colaboración BIM	Sí	Sí	\$500,00 - \$2.472,00
Bim 360	Visualización	Sí	Sí	\$800,00 - \$1.000,00 anuales por usuario
Trimble Connect	Gestión BIM en entorno Revit	No	Sí	Versión gratuita o \$120,00 anuales
Procore	Gestión de obra y documentación	Sí (con hardware específico)	Sí	\$3.195,00 trimestrales

3.2.4.2 Hardware

De acuerdo con el software seleccionado y con la plataforma digital para colaboración se debe tener un equipo adecuado para que su uso sea el óptimo y se le pueda dar el mayor provecho, por lo que en la tabla 8 se pueden observar los requerimientos para Revit® y para Procore.

Tabla 8. Requisitos mínimos para un funcionamiento óptimo del software a usar

Software	Requisitos	Costo de equipos (mayo 2025)
Revit®	<p>Sistema operativo: Microsoft® Windows® 10 u 11 de 64 bits.</p> <p>CPU: Intel® i-Series, Xeon®, AMD® Ryzen, Ryzen Threadripper PRO. 2,5 GHz o superior.</p> <p>Memoria RAM: 32 GB.</p> <p>Memoria: 30 GB</p> <p>Resoluciones de vídeo: 1680 x 1050 con color verdadero.</p>	<p>HP ZBook Fury 15 G7: \$2.509,99</p> <p>Dell Precision 5560: \$1.929,77</p> <p>Lenovo ThinkPad P1: \$1.899,00</p>

	Adaptador de vídeo: Tarjeta gráfica compatible con DirectX 11, con Shader Model 5 y 4 GB de memoria de vídeo como mínimo.	
Procore	Memoria: 64 GB Datos móviles: 10 GB Android: <ul style="list-style-type: none"> Android 11 iPhone o iPad: <ul style="list-style-type: none"> iOS 16.1 	iPad Pro de 11 pulgadas M4: \$1.279,00 iPad Air de 13 pulgadas M3: \$1.029,00 2022 iPad de 10,9 pulgadas: \$379,00

Nota: Es notable que en Procore se inclinó solo por la marca Apple, pero este se debe a que Procore cuenta con la implementación de realidad virtual, pero solo funciona con dispositivos de esta marca. Además, estos dispositivos serían para usarse en campo y esto de momento no se está implementando, por lo que las computadoras recomendadas cumplen con los requisitos para ambos programas.

Al realizar la suma de lo necesario en equipos obtenemos que se requieren de \$22.398,00 para los 2 colaboradores del departamento de diseño en ECW (tabla 9):

Tabla 8. Costo de hardware y software

Insumo	Costo (mínimo)	Usuarios	Total
Revit ®	\$2.910,00	2	\$5.820,00
Procore	\$12.780,00	Global	\$12.780,00
Autodesk Viewer	Gratis	Global	Gratis
Computadora	Lenovo ThinkPad P1: \$1,899.00	2	\$3.798,00
			\$22.398,00

3.3 Capacitación del personal

Como parte de la capacitación al personal de ECW se diseñaron 2 presentaciones que explican que es BIM y que es un Plan de Ejecución BIM. Además, se crearon 2 videos explicativos de dichas presentaciones con una serie de preguntas al final del video para evaluar el aprendizaje de los colaboradores usando la plataforma Edpuzzle.

Figura 28. Presentación sobre BIM.


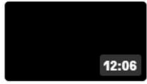


Figura 29. Presentación sobre el PEB.



Figura 30. Interface en Edpuzzle

In progress

Assignment	Start date	Due date	Turned in
 PEB 16:05	June 12th	No due date	0 of 0
 Qué es BIM 12:06	June 10th	No due date	0 of 1

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Se identificó que el 55.6% de los colaboradores encuestados han escuchado sobre la metodología BIM. Sin embargo, un 44.4% de los encuestados desconocen completamente el tema.

Existe familiaridad con softwares BIM, siendo Revit ® el software más reconocido, con un 66.7% de los votos, lo que sugiere que la adopción de esta herramienta puede ser más factible dentro del plan de implementación BIM en ECW.

A pesar del bajo nivel de conocimiento, el 100% de los colaboradores encuestados consideran que la empresa está preparada para adoptar la metodología BIM. Además, todos los colaboradores encuestados están interesados en recibir capacitación sobre BIM, y un 44.4% prefiere sesiones de 1 hora a la semana, lo que permite definir estrategias de formación adecuadas a su disponibilidad.

Dado el tamaño actual del equipo y el limitado conocimiento en metodología BIM dentro de la empresa, se ha optado por una estructura simplificada de roles BIM, compuesta por tres perfiles clave: Gerente BIM, Coordinador BIM y Modelador BIM. Esta decisión responde a la necesidad de implementar BIM de manera gradual, eficiente y sostenible, priorizando la funcionalidad sobre la complejidad, sin sobrecargar la estructura organizativa ni exigir capacidades que aún no están consolidadas dentro del equipo.

Como el proceso de diseño está hecho en base a los requerimientos de la ISO 9001, se propone que se siga la misma línea de flujo adicionando procesos nuevos colaborativos entre todos los departamentos involucrados, como las reuniones Kick-off y las segundas reuniones entre estos mismos departamentos para revisión de planos.

Si bien existen varios softwares de modelado con funcionalidades BIM y plataformas digitales para colaboración, la empresa cuenta con licencias para Revit ® y Procore, por lo que se definen como las herramientas de tecnología a usar para la implementación BIM.

El costo para proceder con la implementación BIM ronda los \$22.398,00 (precios de mayo del 2025). Este costo contempla hardware y software para las 2 personas encargadas del departamento de diseño.

Como resultado de la primera etapa de la capacitación, se elaboraron dos presentaciones: una sobre los conceptos generales de la metodología BIM y otra específica sobre el Plan de Ejecución BIM de la empresa

junto con un video explicativo para cada presentación con un cuestionario al final para evaluar el aprendizaje. Este material servirá de base para el próximo taller, en el cual el personal de ECW podrá profundizar sus conocimientos y fortalecer sus competencias en la aplicación práctica del plan.

Eco Clean Water cuenta con las condiciones básicas para iniciar la implementación de la metodología BIM, aunque aún no está preparada para adoptarla de forma integral. La empresa dispone de una plataforma sólida de gestión (Procore), personal comprometido y una estructura organizativa estable, lo que constituye una base favorable para el cambio. No obstante, se identifican limitaciones en el conocimiento técnico, así como la ausencia de protocolos y procesos estandarizados. Si bien los funcionarios perciben que la organización está lista para incorporar esta metodología, el análisis indica que debe hacerlo de manera gradual, iniciando con la capacitación del personal y la formalización de los roles y procedimientos necesarios.

Recomendaciones

Dado que el conocimiento sobre herramientas colaborativas digitales es bajo, se recomienda incorporar formaciones específicas sobre su uso y beneficios en la gestión de proyectos BIM. Esta tarea estará a cargo del Coordinador BIM, quien será responsable de identificar las necesidades formativas, coordinar las capacitaciones necesarias y asegurar su adecuada ejecución. Contará con el apoyo del Gerente BIM para garantizar que estas acciones estén alineadas con los objetivos estratégicos de adopción de la metodología.

Para enfrentar la resistencia al cambio identificada en la encuesta, se sugiere implementar estrategias de comunicación interna, demostraciones prácticas de beneficios y casos de éxito en la industria, así como involucrar a los colaboradores en el proceso de adopción de la metodología. Estas acciones serán lideradas por el Gerente BIM, quien deberá diseñar y coordinar un plan de comunicación eficaz, así como generar espacios de participación activa que permitan recoger y considerar las inquietudes del equipo. El Coordinador BIM brindará apoyo en la ejecución de estas iniciativas.

Con base en los resultados de la encuesta, se recomienda que Revit® sea el software principal dentro del Plan de Ejecución BIM (PEB). No obstante, se debe evaluar la implementación de otras herramientas complementarias para optimizar los flujos de trabajo. Esta evaluación será responsabilidad del Coordinador BIM, quien deberá analizar las necesidades específicas del proyecto y definir qué herramientas adicionales podrían aportar valor. El Modelador BIM participará brindando soporte técnico y compartiendo su experiencia práctica con dichas herramientas.

Establecer indicadores de medición para evaluar el progreso en la adopción de BIM, incluyendo encuestas periódicas para medir la evolución del conocimiento y la satisfacción de los colaboradores con la capacitación recibida. Esta tarea corresponderá al Gerente BIM, quien definirá los indicadores clave de desempeño (KPIs), coordinará la aplicación de encuestas y analizará los resultados para ajustar las estrategias de implementación cuando sea necesario. El Coordinador BIM colaborará en la recopilación y sistematización de la información obtenida.

Se recomienda proceder con la realización del taller práctico, el cual permitirá al personal aplicar los conocimientos adquiridos y resolver dudas específicas relacionadas con la implementación del Plan de Ejecución BIM.

Es ideal que el coordinador BIM establezca un programa de seguimiento que permita evaluar periódicamente la aplicación de los procesos BIM, identificar oportunidades de mejora y ajustar los flujos de trabajo según las necesidades de los proyectos.

Por último, se sugiere la creación de una biblioteca interna de recursos BIM por parte del gerente Bim, que contenga guías, manuales, materiales audiovisuales y ejemplos prácticos, los cuales servirán como referencia continua para el equipo de trabajo.

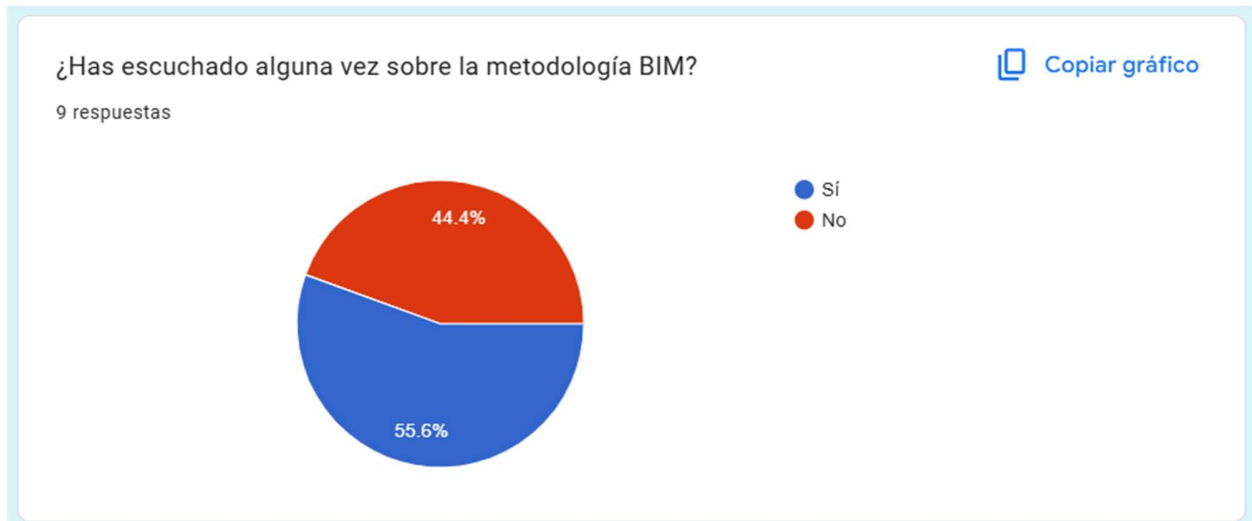
Referencias

- [1] V. Marín, «Guía Práctica sobre Plantas de Tratamiento de Agua Residual en Costa Rica». 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.tevucr.org/sites/default/files/content/documents/Guia%20Tecnica%20-%20Plantas%20de%20Tratamiento%20de%20Agua%20Residual%20en%20Costa%20Rica.pdf>
- [2] Flowen SAC, *Aireación en aguas residuales - Webinar*, (1 de octubre de 2022). Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea Video]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=y6CAUK0NAW4>
- [3] Jet Wastewater Treatment Solutions, «Jet AIR-SEAL® Diffusers». 2014. [En línea]. Disponible en: <https://ews.com.gt/wp-content/uploads/2023/08/Difusores-informacion-brouchure.pdf>
- [4] Acuicultura, Ingeniería SAE, «Difusor ECD350-E | Difusor de Disco Burbuja Fina | EPDM 12"». Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ingenieriasae.com/acuicultura/producto/difusor-ecd350-e-difusor-de-disco-burbuja-fina-epdm-12/>
- [5] E. Durán Herrera, «Propuesta de un modelo de dos zonas simplificado para el estudio de la transferencia de oxígeno en sistemas de aeración con difusores de poro fino», 2005, Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/handle/123456789/1095>
- [6] Aquaflex, «Tratamiento de Aguas Residuales y Tratamiento de Agua Potable». 2024.
- [7] C. Soto y S. Manríquez, «Guía Básica BIM para funcionarios públicos». 2023.
- [8] Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos, «Estrategias BIM de los países miembros de la Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos». 2023.
- [9] BIM Forum Costa Rica y Cámara Costarricense de la Construcción, *Guía de Implementación BIM para las Empresas*, 1.ª ed. 2018.
- [10] Comisión Interinstitucional BIM Costa Rica, «Roles y Responsabilidades BIM». 2024.
- [11] Global BIM Network, «Protocolo Nacional BIM y Plan de Implementación BIM - Global BIM Network». Accedido: 30 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://globalbim.org/es/info-collection/protocolo-nacional-bim-y-plan-de-implementacion-bim/>
- [12] Catenda, «Protocolo BIM». Accedido: 30 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://catenda.com/es/glossary/protocolo-bim/>
- [13] Catenda, «Niveles BIM». Accedido: 30 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://catenda.com/es/glossary/niveles-bim/>
- [14] BIM Forum Costa Rica, «Guía para la Elaboración de Una Solicitud de Información BIM (SDI BIM)». 2021. [En línea]. Disponible en: <https://construccion.co.cr/wp-content/uploads/2024/02/Guia-SDI-BIM-julio2023.pdf>
- [15] Comisión Interinstitucional BIM Costa Rica, «Plan de Ejecución BIM». 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ciibim.cr/wp-content/uploads/2024/03/CII-BIM-BEP-2024-V1-1.pdf>
- [16] K. Sequeira Blanco, «Desarrollo de un modelo para la implementación de la metodología BIM en los procesos constructivos y de mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la empresa Eco Clean Water», Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2024.
- [17] P. Smith, «BIM & the 5D Project Cost Manager», *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 119, pp. 475-484, mar. 2014, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.03.053.
- [18] Redacción, «Las 10 dimensiones del BIM», BibLus. Accedido: 13 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://biblus.accasoftware.com/es/las-dimensiones-del-bim/>

- [19] M. Laakso y A. O. Kiviniemi, «The IFC standard: A review of History, development, and standardization, Information Technology», *ITcon*, vol. 17, n.º 9, may 2012, Accedido: 25 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://salford-repository.worktribe.com/output/1432038>
- [20] J. Alonso Martín, F. Acebes Senovilla, y A. López Paredes, «Proceso de visado y verificación de modelos IFC en plataformas de visado colegial con blockchain», en *EUBIM 2024. Congreso internacional BIM: 13º encuentro de usuarios BIM, 2024, ISBN 978-84-1396-269-6, págs. 76-81*, edUPV, Editorial Universitat Politècnica de València, 2024, pp. 76-81. Accedido: 25 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9659537>
- [21] Autodesk, «Autodesk Revit: software BIM para diseñar y crear todo lo que te propongas». Accedido: 29 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/latam/products/revit/overview>
- [22] R. Valle, «Factores Claves Y Metodología Para Planificar la Implementación de Bim al Interior de una Empresa Constructora-Inmobiliaria», Pontificia Universidad Católica de Chile, 2014. [En línea]. Disponible en: [https://bimforum.cl/wp-content/uploads/2017/07/Factores-Claves-y-Metodolog%
c3%ada-para-Planificar-la-Implementaci%
c3%b3n-de-BIM-al-Interior-de-una-Empresa-Constructora.pdf](https://bimforum.cl/wp-content/uploads/2017/07/Factores-Claves-y-Metodolog%c3%ada-para-Planificar-la-Implementaci%c3%b3n-de-BIM-al-Interior-de-una-Empresa-Constructora.pdf)

Apéndices

1. Respuestas del formulario de conocimiento BIM en ECW.



Si tu respuesta fue "Sí", ¿que sabes al respecto?

5 respuestas

Se trata de una metodología de trabajo colaborativo que ayuda a la organización de los procesos

Es una metodología de trabajo y de manejo de información colaborativa para la gestión de proyectos de infraestructura o construcción

Que se usa en construcción

Es una metodología colaborativa que permite la gestión de información de un proyecto del sector construcción

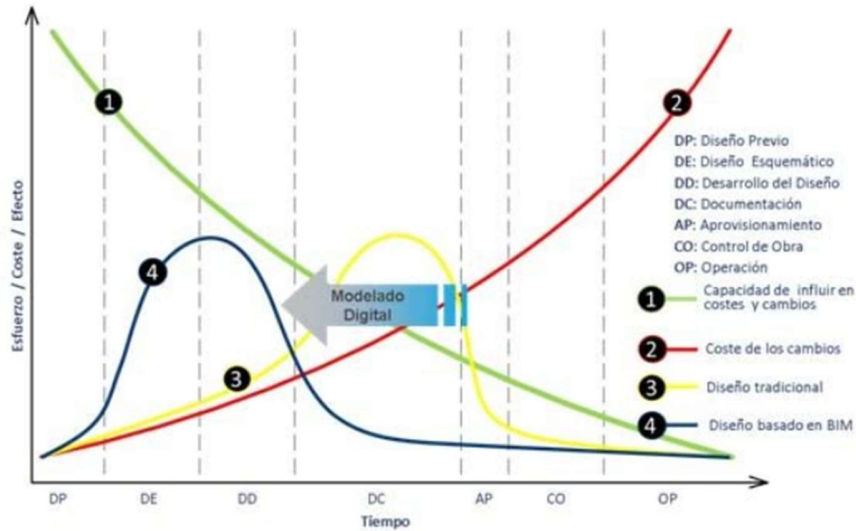
Que es un modelo que une las disciplinas de dibujo

¿Que es la metodología BIM?

Como se menciona en el documento "Guía para la implementación BIM para las empresas", por BIM Forum Costa Rica (2018), BIM es una metodología de trabajo colaborativa que permite la creación y gestión de un proyecto de construcción y su principal objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo inteligente que permite albergar información digital creada por todos sus agentes.

BIM supone la evolución de los sistemas de diseño tradicionales basados en el plano, ya que incorpora información geométrica (3D), de tiempos (4D), de costes (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D), permitiendo una gestión integral durante el ciclo de vida de una construcción. El uso de BIM va más allá de las fases de diseño, abarcando la ejecución del proyecto, permitiendo la gestión de este y reduciendo los costes de operación.

Curva del esfuerzo del proceso constructivo. (Macleamy)



¿Cuál es tu opinión acerca de esta metodología?

9 respuestas

Ayuda a evitar retorsesos o sobrecostos por mala comunicación

Positiva

Que permite tener un control completo sobre el proyecto, costos y utilidad, considerando los materiales, manos de obra y todos los gastos asociados

No la conosco

Interesante por el orden que lleva

Muy útil

Muy compleja

Excelente si se sabe implementar y acondicionar a cada empresa

Una mejora en certeza del desarrollo de los proyectos

¿Cuál consideras que es la principal diferencia entre trabajar con BIM y con metodologías tradicionales en la construcción?

8 respuestas

La metodología BIM lleva un proceso más ordenado, ayuda a la comunicación entre los procesos

Mayor colaboración y comunicación, detección de errores de forma expedita

que las nuevas tecnologías han sido creadas para sustituir los procesos habituales y rudimentarios, esta innovación posee las bondades que mitigan el reprocesos, las pérdidas y los desperdicios de un proyecto.

Este tema en cuenta otros puntos

Más dinámica

Más rápido

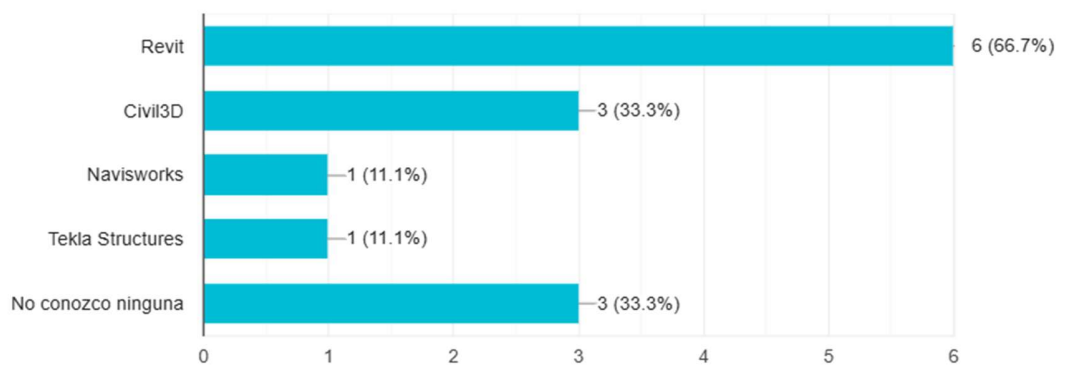
Colaboración y anticipación a choques o interferencias

Por lo general se debe hacer reprocesos y más revisiones

¿Qué herramientas o software relacionados con BIM conoces o has utilizado?

 Copiar gráfico

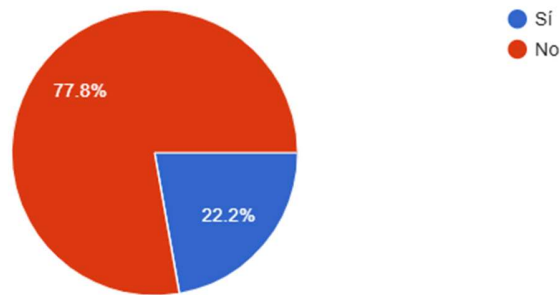
9 respuestas



¿Tienes experiencia en la colaboración con equipos a través de plataformas digitales como Autodesk Construction Cloud, BIM 360, Trimble Connect, etc.?

 Copiar gráfico

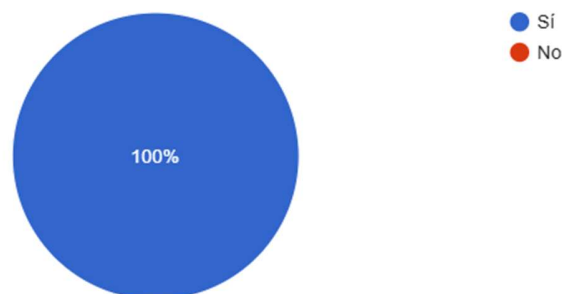
9 respuestas



Esta metodología tiende a generar un cambio en el paradigma de la empresa donde se implementa debido a que es innovadora y esto significa que se debe hacer un cambio en la manera en la que se trabaja, por lo tanto, ¿Crees que la empresa está preparada para adoptar BIM?

 Copiar gráfico

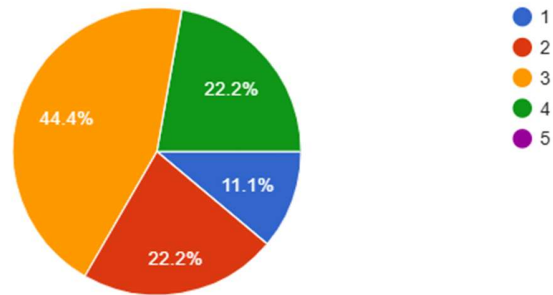
9 respuestas



Siendo 1 muy fácil y 5 muy difícil, ¿qué tan difícil crees que sea su implementación?

[Copiar gráfico](#)

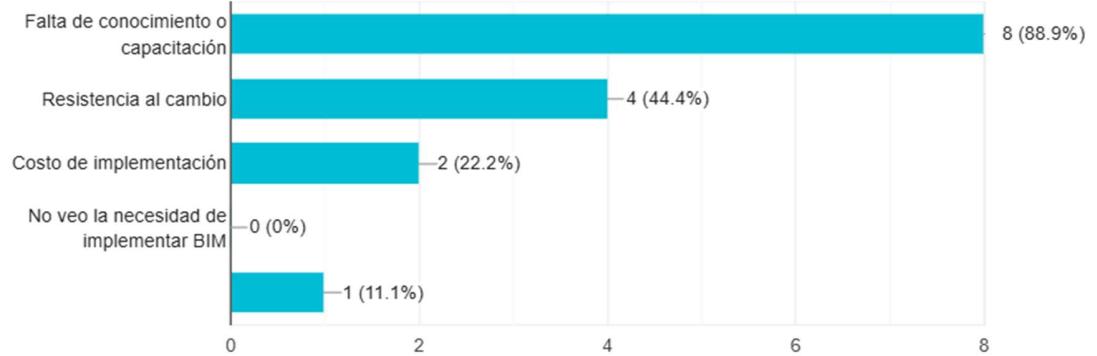
9 respuestas



¿Cuáles consideras que son los principales retos para implementar BIM en la empresa? (Puedes seleccionar más de una opción)

[Copiar gráfico](#)

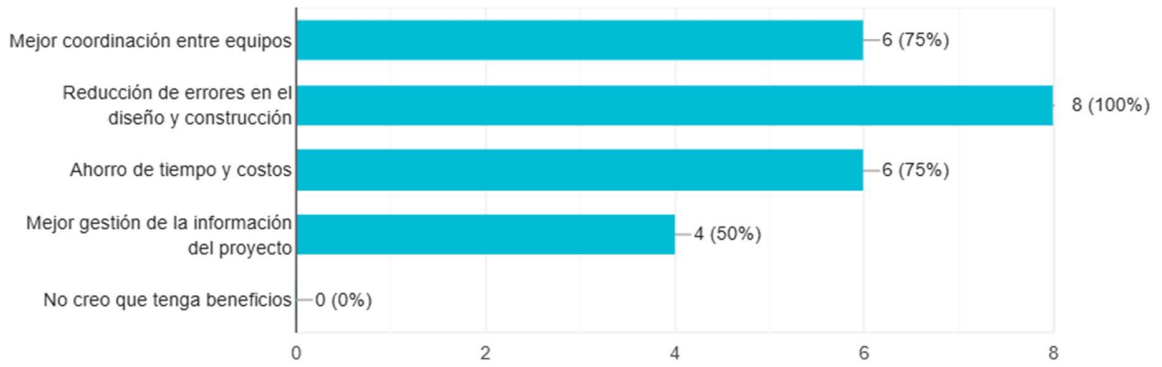
9 respuestas



¿Cómo crees que BIM puede beneficiar el trabajo en Eco Clean Water?
(Puedes seleccionar más de una opción)

 Copiar gráfico

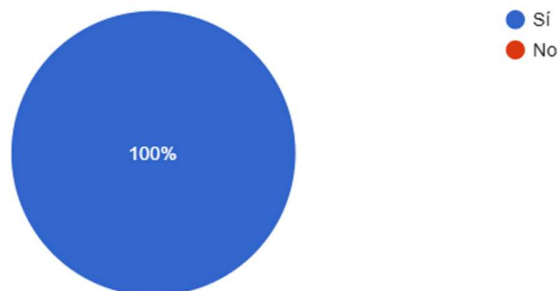
8 respuestas



¿Consideras que BIM puede mejorar tu trabajo diario?

 Copiar gráfico

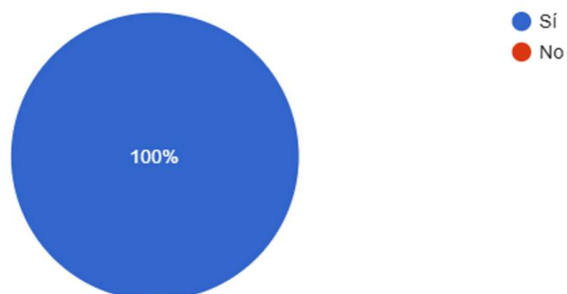
9 respuestas



¿Te gustaría recibir capacitación en BIM?

[Copiar gráfico](#)

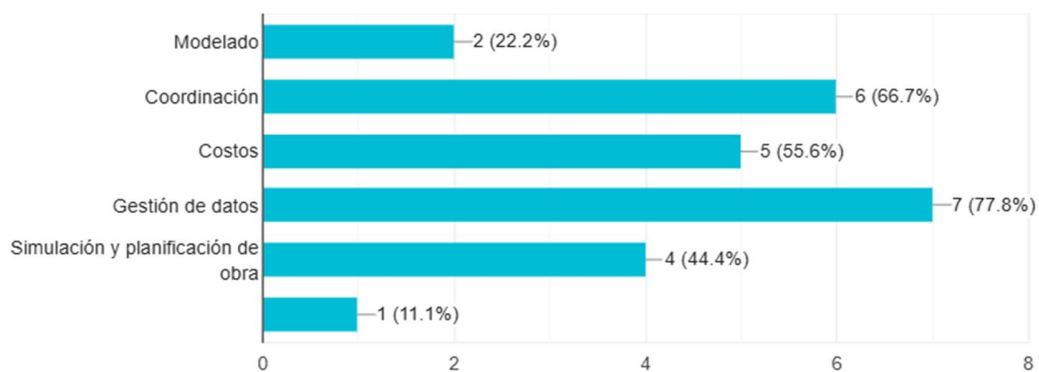
9 respuestas



Si tu respuesta anterior fue "Sí", ¿qué aspectos te interesan más?

[Copiar gráfico](#)

9 respuestas



2. Plan de Ejecución BIM.



Eco Clean
Water

HOJA DE RUTA

PLAN DE EJECUCIÓN BIM

Ronald Arturo Ramón Colindres

ecocleanwater.com.mx

Índice

Contenido

Índice	2
Objetivos BIM.....	3
Objetivo General:.....	3
Objetivos Específicos:	3
Decisión de implementar BIM.....	3
Procesos	5
Información general del proyecto.....	5
Información de las partes involucradas.....	6
Alcances de la implementación BIM	7
Estructura Empresarial.....	8
Distribución de carpetas en Procore	11
Roles y responsabilidades BIM	12
Tecnología	12
Software	13
Hardware.....	15
Extras.....	16
Referencias.....	17



Objetivos BIM

Objetivo General:

Optimizar los procesos de diseño, coordinación y gestión de información en los proyectos de Eco Clean Water mediante la implementación y estandarización de la metodología BIM.

Objetivos Específicos:

- Integrar BIM en los procesos actuales de diseño, para asegurar su compatibilidad con las prácticas y herramientas existentes, analizando los flujos de trabajo actuales, integrando nuevos roles y sus respectivas responsabilidades y capacitando al personal en temas BIM.
- Estandarizar flujos de trabajo a través de protocolos BIM que definan roles, responsabilidades, niveles de desarrollo (LOD) y métodos de intercambio de información, para asegurar consistencia, claridad y eficiencia en los proyectos, evitando ambigüedades en roles, entregables y responsabilidades desarrollando un plan de acción.
- Reducir errores y reprocesos en los diseños mediante una mayor coordinación entre disciplinas y una visualización precisa del modelo para optimizar tiempos y costos, minimizando conflictos y omisiones durante la fase de ejecución mediante la coordinación entre distintas disciplinas y revisión continua del producto.
- Agilizar la toma de decisiones para reducir demoras en el avance del proyecto y responder de manera más oportuna ante cambios o imprevistos a través de la disponibilidad de información centralizada y actualizada en tiempo real.
- Mejorar la trazabilidad y control de los procesos, para facilitar el seguimiento de cambios, versiones y aprobaciones en el ciclo de vida del proyecto dando uso a sistemas de colaboración de información.
- Facilitar la interoperabilidad entre plataformas y departamentos para evitar pérdida de información, duplicidad de tareas y facilitar la colaboración entre equipos multidisciplinarios definiendo estándares de exportación/importación, y asegurando que las herramientas utilizadas sean compatibles entre sí.



Decisión de implementar BIM

Eco Clean Water es una empresa que no cuenta con conocimiento BIM en sus procesos para el diseño y/o construcción de una PTAR. Esto ha causado inconsistencias en planos, errores en campo, gastos de recursos como tiempo y dinero que pueden verse reducidos con un cambio en la metodología de trabajo. De acuerdo con esto se identifica que hay una deficiencia en sus procesos y por ende se desea generar esta propuesta para implementar BIM. Valle [1], propone una metodología en base a un flujo de decisiones que abarca todos los factores relevantes para buscar empezar con una visión estratégica para luego pasar a una enfocada en lo operacional. Esta metodología se divide en 3 ejes, los cuales son Organización, Procesos y Tecnología.

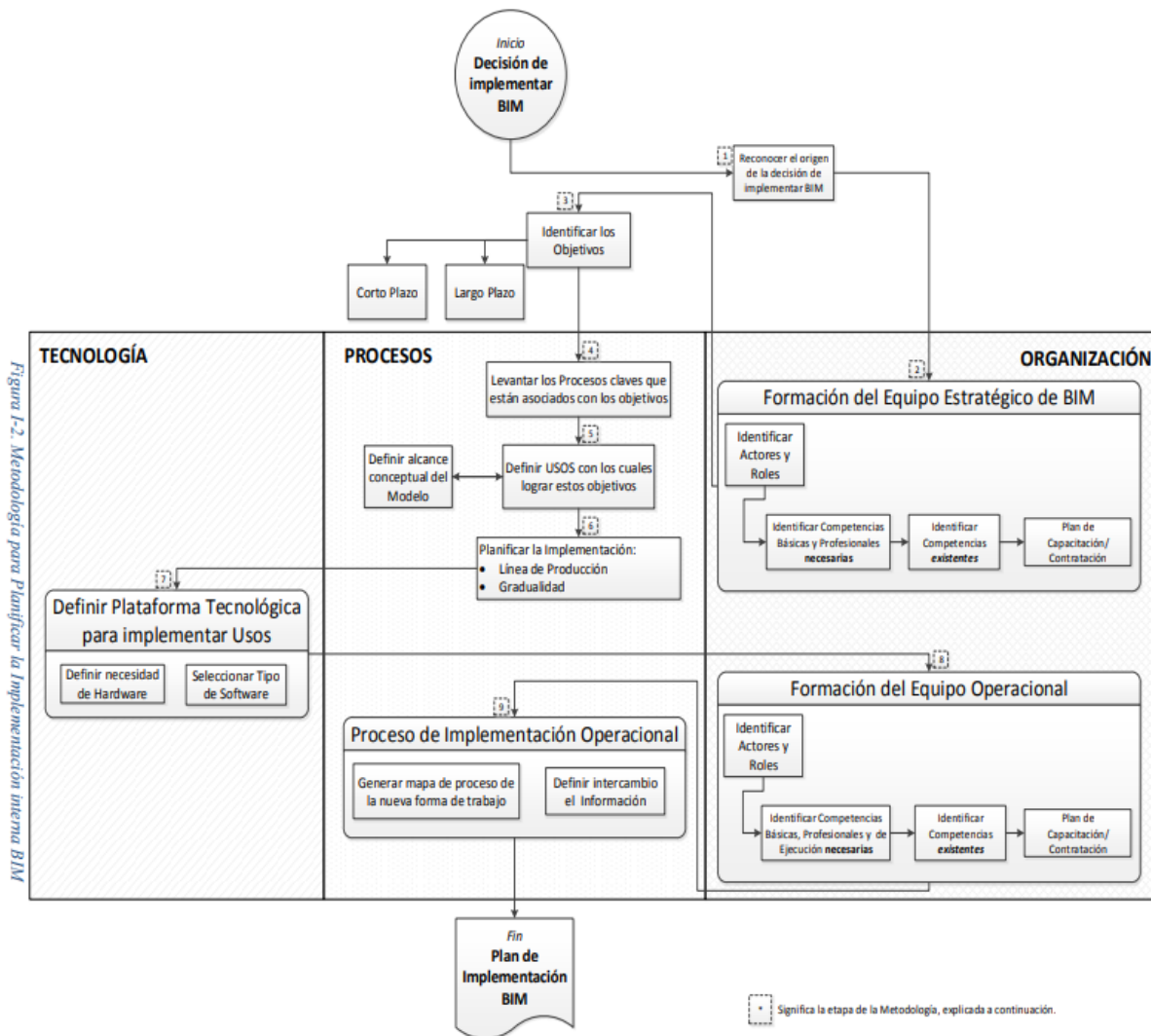


Fig. 1 Metodología para Planificar la Implementación interna BIM. [1]

En este documento llamaremos al eje Organización como Roles y Responsabilidades, debido a que se usa de referencia el documento Roles y Responsabilidades BIM de La Comisión Interinstitucional BIM Costa Rica [2].



Procesos

El PEB a desarrollar para cada proyecto debe iniciarse una vez se tenga cerrado el contrato con el cliente sobre el producto a recibir, ya sea la PTAR y sus extras como un tanque homogenizador, EBAR, bolsas de deshidratación, lechos de secado, tanque de riego, etc. Siguiendo lo recomendado por la CII BIM [3] se debe realizar una serie de cuadros resumidos a continuación además de la motivación y objetivos del proyecto:

- Objetivos BIM.
- Información del proyecto.
- Información del cliente.
- Contactos clave del proyecto.
- Alcances BIM del proyecto.
- Roles y responsabilidades.
- Nomenclatura de los archivos.
- Orden de las carpetas en Procore.
- Extensiones de los archivos a utilizar.

Información general del proyecto

Este proyecto ha sido concebido con el objetivo de desarrollar una solución integral que responda a una necesidad específica dentro del sector de la construcción e infraestructura. Su propósito es planificar, diseñar y ejecutar una obra que cumpla con los requisitos técnicos, operativos y normativos establecidos, asegurando al mismo tiempo eficiencia, sostenibilidad y calidad.

A lo largo de sus distintas etapas, el proyecto involucrará la coordinación de múltiples disciplinas y profesionales, abarcando desde los estudios preliminares hasta la entrega final. Para ello, se utilizarán herramientas de gestión y metodologías actualizadas que faciliten el control de plazos, costos, recursos y riesgos.

Este enfoque integral busca no solo cumplir con los objetivos técnicos del proyecto, sino también optimizar la comunicación entre los equipos, garantizar la seguridad en el sitio de trabajo y asegurar la satisfacción del cliente o entidad beneficiaria.



TABLA I

Ejemplo de tabla para la información del proyecto

Información del proyecto	
Nombre del cliente	
Nombre del proyecto	
Número de proyecto	
Ubicación del proyecto	
Número de catastro	
Tipo de estructura	
Descripción del proyecto	
Duración del proyecto	

Información de las partes involucradas

El desarrollo del proyecto requiere la participación coordinada de diversas partes involucradas, cada una con responsabilidades y competencias específicas que garantizan el cumplimiento de los objetivos establecidos.

TABLA II

Ejemplo de tabla para la información del cliente

Información del cliente	
Nombre de la empresa	
Cédula jurídica	
Página Web	
Ubicación	
Nombre del contacto principal	
Correo electrónico del contacto principal	
Número de teléfono del contacto principal	

TABLA III

Ejemplo de tabla para la información del cliente

Contactos clave del proyecto	
Empresa	
Nombre	
Apellidos	
Disciplina	
Rol	
Correo electrónico	
Teléfono	



Alcances de la implementación BIM

La implementación de la metodología BIM en Eco Clean Water abarcará los procesos de diseño, coordinación y gestión de la información asociados a los proyectos de plantas de tratamiento de aguas. El alcance se centrará en el departamento de diseño, extendiéndose progresivamente hacia otros departamentos relacionados con la ejecución, supervisión y mantenimiento de proyectos.

TABLA IV

Ejemplo de tabla para los alcances BIM

Alcances BIM del proyecto	
Justificación	
Objetivos para lograr el proyecto	
Entregables	
Características	
Elementos fuera del alcance	

TABLA V

Ejemplo de tabla para los propósitos de la información

Propósito de la información		
Información	Etapas	Descripción
Distribución arquitectónica	Diseño	Implementar el uso de visualizadores 3D para clientes, constructores y proveedores
Equipos	Diseño	Con el uso de visualizadores 3D, observar las dimensiones y ubicación de los equipos.
Incorporación de información de productos	Proconstrucción	Dar uso a la metodología BIM para detallar especificaciones de materiales y equipos para la PTAR.

TABLA VI

Ejemplo de tabla para los hitos de revisión

Hitos de revisión			
Etapas	Información	Inicio	Periodicidad
Diseño	Distribución arquitectónica		Quincenal
Diseño	Equipos		Quincenal
Proconstrucción	Incorporación de información de productos		Semanal



TABLA VII

Ejemplo de tabla para documentos de referencia

Documentos de referencia			
Documentación	Descripción	Enlace de acceso	Fuente
Normativa AyA	Norma técnica para diseño y construcción para estructuras de concreto.	https://drive.google.com/drive/folders/1LV4Jt7zR8pXsr3ryzPpIIFOt3Zblz87R?usp=drive_link	Acueductos y Alcantarillados
Normativa CSCR	Norma técnica nacional para estructuras.		Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica
Normativa eléctrica	Código Eléctrico Nacional		NFPA
Normativa estructural	Norma técnica internacional para diseño y construcción para estructuras de concreto.		American Concrete Institute
Plano de sitio	.dwg del sitio, con curvas topográficas.		Cliente
Información sanitaria	.dwg con el plano y el perfil sanitario.		Cliente
Planos de referencia	<i>Indicar PTAR de referencia</i>		ECW
Fotografías del sitio			ECW

Estructura Empresarial

Con el fin de determinar el estado actual de la empresa en los procesos para entregar una PTAR se debe conocer la estructura empresarial en ECW. En la figura 2 se observa la estructura actual en la empresa ECW.



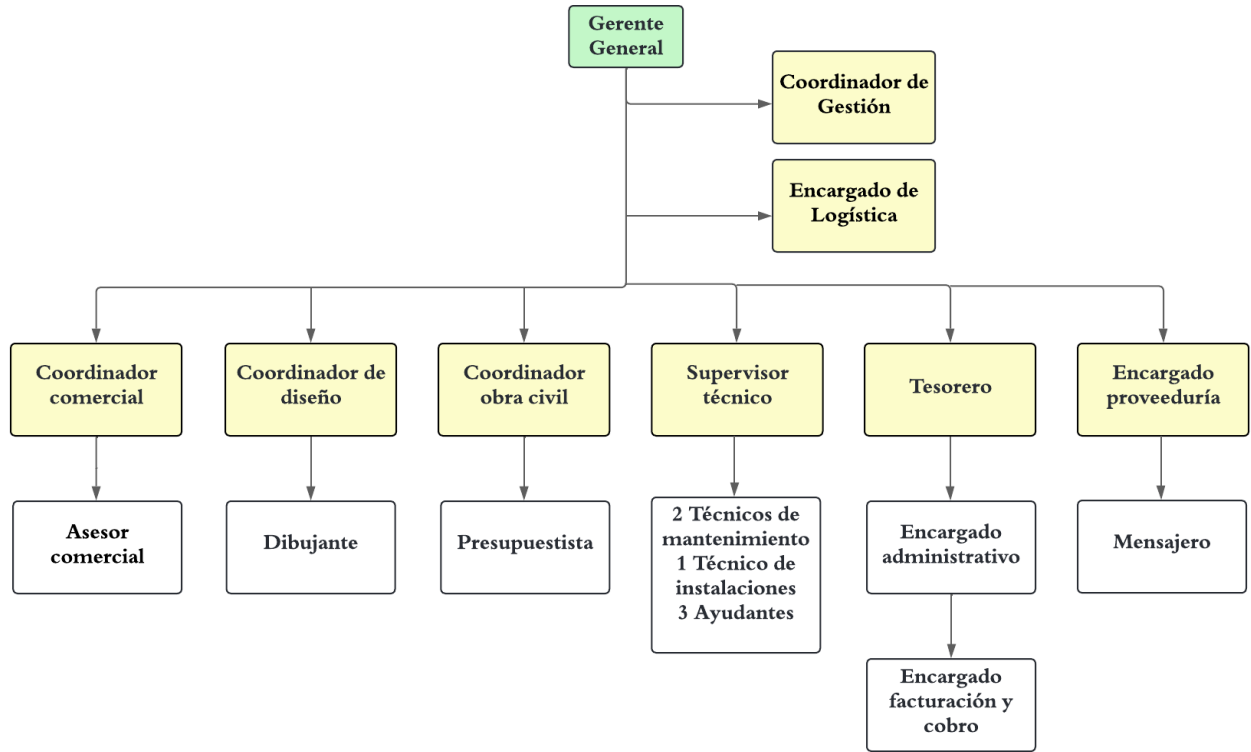


Fig. 2 Personal actual en ECW.

No obstante, como en este proyecto nos vamos a enfocar en el departamento de diseño, en la figura 3 se observa el diagrama de flujo desde la solicitud de los planos hasta su entrega.



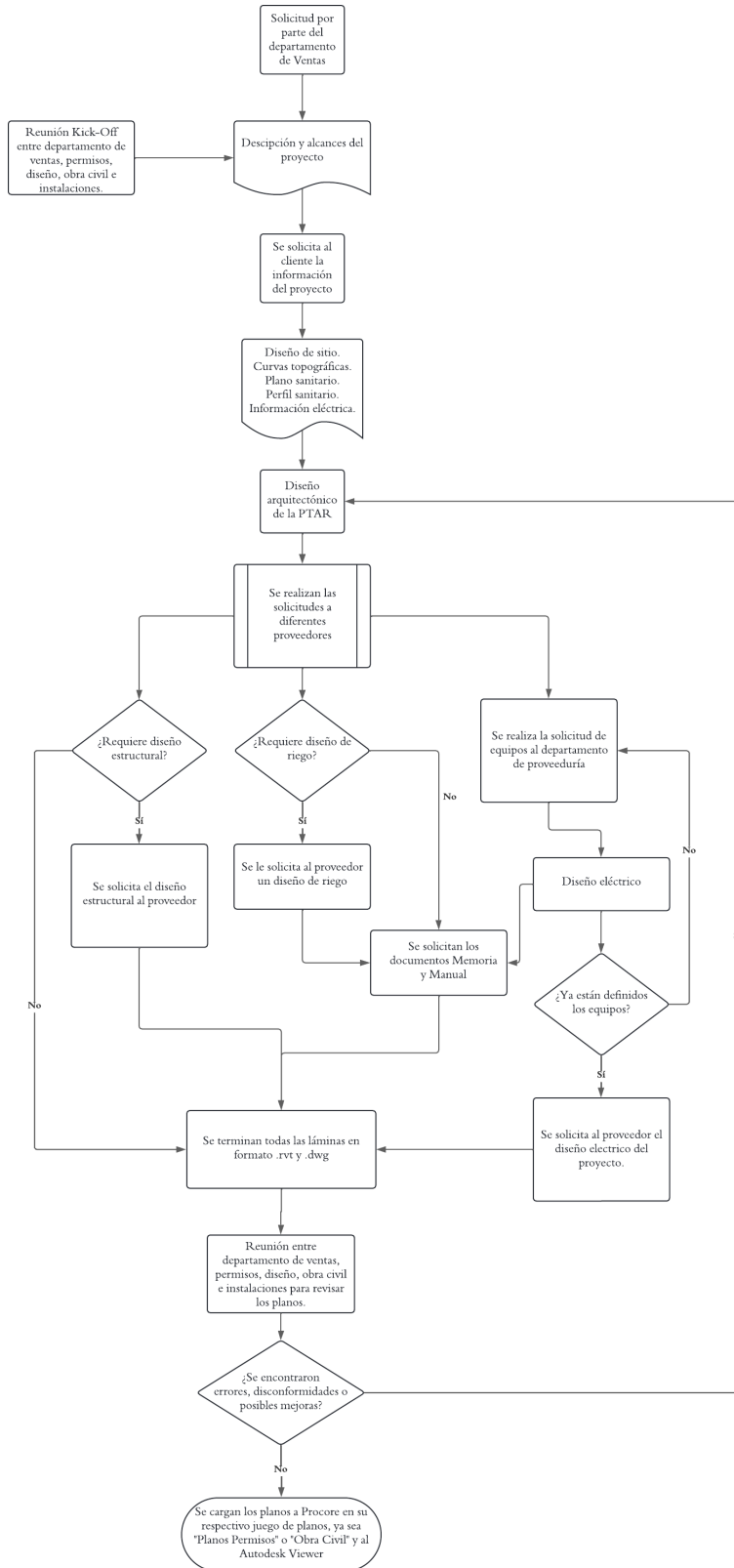


Fig. 3 Diagrama de flujo del Departamento de Diseño en ECW.

Distribución de carpetas en Procore

Para asegurar una gestión organizada y eficiente de la documentación del proyecto, se propone una estructura de carpetas dentro de Procore basada en categorías clave que reflejan las distintas etapas y áreas de trabajo. Esta organización facilita el acceso a la información por parte de todos los involucrados y garantiza la trazabilidad de los documentos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

En la carpeta **Diseño** se almacenan todos los documentos técnicos elaborados por el departamento, incluidos planos, especificaciones, memorias de cálculo y modelos BIM, organizados por disciplina y versión.

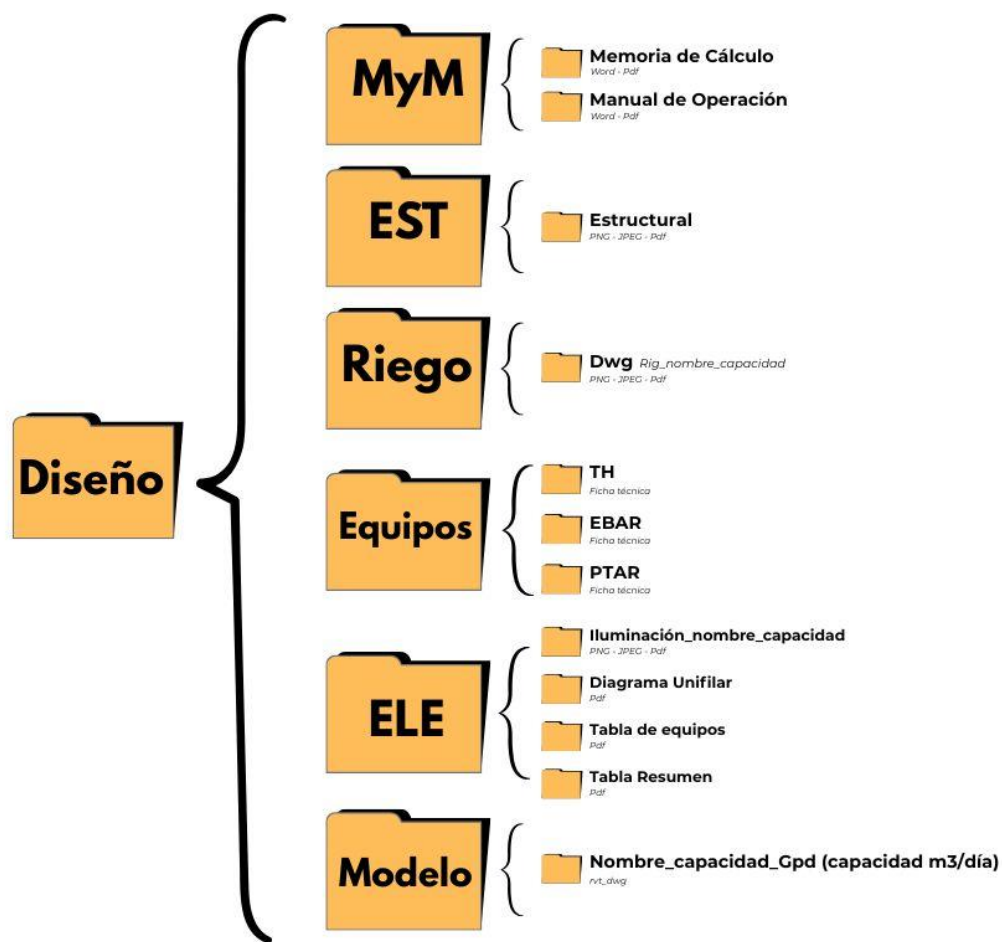


Fig. 4 Distribución de carpetas y archivos en Procore



Roles y responsabilidades BIM

Como parte del proceso de implementación BIM, se deben adjudicar nuevos roles y responsabilidades. Como Eco Clean Water no cuenta con un historial sobre intentos de implementación BIM se propone iniciar con 3 roles.

TABLA VIII

Roles y Responsabilidades en etapa preliminar de la implementación BIM en ECW.

Rol	Responsabilidad
Gerente BIM	Definir y mantener los estándares y protocolos BIM de la empresa. Coordinar la implementación progresiva de BIM en los proyectos. Seleccionar software y herramientas BIM adecuadas. Coordinar capacitación del equipo. Supervisar calidad de los modelos y cumplimiento de objetivos BIM. Representar a la empresa ante clientes o instituciones en temas BIM.
Coordinador BIM	Coordinar entre disciplinas (Diseño, Obra Civil, Proveeduría, Equipos). Verificar que todos los modelos estén alineados y bien vinculados. Controlar versiones, interferencias y conflictos en el modelo. Apoyar en revisiones y auditorías de modelos. Comunicar cambios técnicos al modelador y validar su implementación.
Modelador BIM	Modelar elementos arquitectónicos, estructurales y de equipos según estándares BIM. Mantener actualizados los modelos en base a cambios de diseño. Documentar planos, detalles y vistas a partir del modelo 3D. Asignar correctamente parámetros y propiedades a los objetos. Apoyar en la detección de interferencias cuando se requiera.

Tecnología

Como menciona la CII BIM Costa Rica, no hay restricciones con respecto a software o hardware que deba usarse para una implementación BIM, sin embargo, si debe ser un software aprobado por buildingSMART International para tener coherencia con los principios de openBIM®. Como se menciona anteriormente el software a implementar es Revit ® de Autodesk, y esta empresa cuenta con aprobación por parte de buildingSMART International.



Software

En la tabla II puede analizar las diferentes opciones de programas que se estudiaron para estandarizar en el Departamento de Diseño en ECW. A pesar de que Revit ® es el programa más costoso, se elige debido a que la empresa tiene la capacidad financiera para adquirir las licencias, además de que la encuesta indicó que la mayoría de los encuestados están familiarizados con el programa, y las dos personas que trabajan en el Departamento de Diseño están capacitadas para su uso, y sumando la ventaja de que cada computadora en el departamento de diseño tiene dicho software, se concluye que esta es la mejor opción como inicio para la implementación BIM en ECW. Y para relacionar este proyecto con el trabajo del ing. Sequeira [4] se propone que cada proyecto se cargue al programa Autodesk Viewer (figura 5), debido a que es gratuito y el modelo no es modificable, ideal para contratistas, proveedores externos y colaboradores en sitio.

TABLA IX
Comparación de diferentes softwares de modelado.

Programa	Enfoque	Extensión	Precio (mayo 2025)
Revit ®	Modelado BIM de edificios	.rvt, .rfa, .rte, .rft, .ifc	\$2910 anuales por usuario
Civil 3D	Diseño civil y topografía	.dwg, .dwt, .xml, .landxml, .sdf, .shp	\$2780 anuales por usuario
Naviswork	Coordinación y detección de conflictos	.nwf, .nwd, .nwc	\$1070 anuales por usuario
Tekla Structures	Modelado estructural de alta precisión	.dbn, .ifc, .nc1	\$392 mensuales

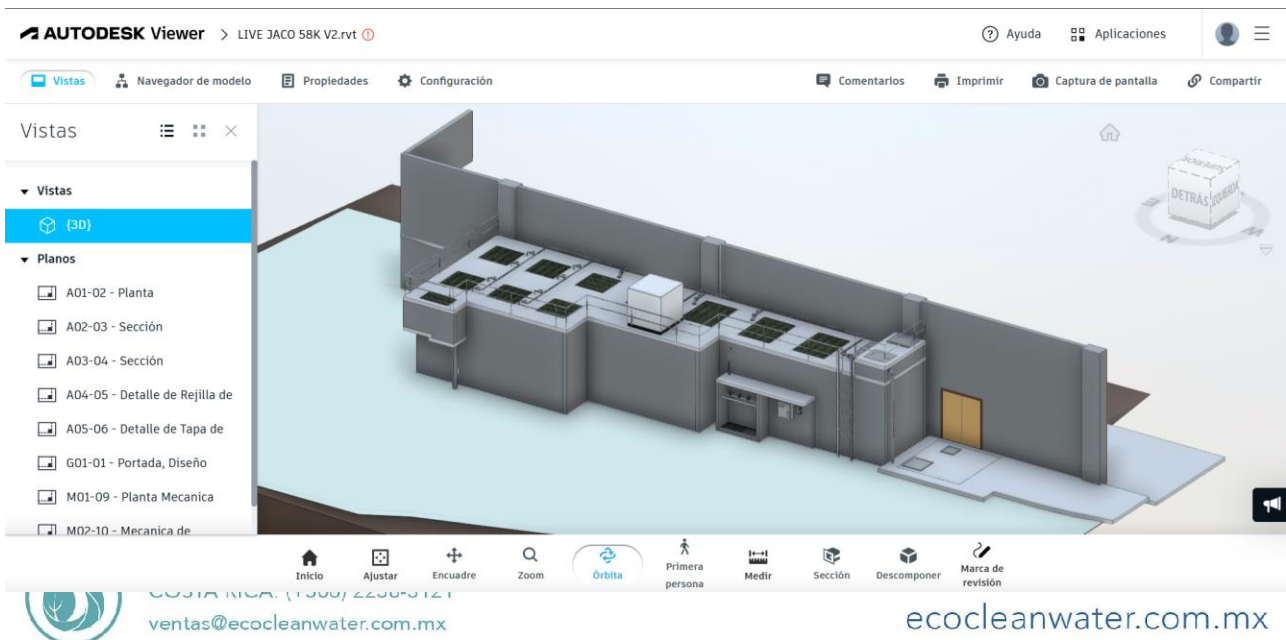


Fig. 5 Modelo en Autodesk Viewer de la PTAR Live Jacó.

En Eco Clean Water se desea continuar utilizando Procore como plataforma principal de gestión de proyectos, a pesar de que existen alternativas en el mercado que resultan más económicas, como Autodesk Construction Cloud, BIM 360 o Trimble Connect. Esta elección se debe a que Procore es una solución integral diseñada específicamente para el sector de la construcción. Su capacidad para centralizar la documentación, coordinar equipos, gestionar tareas en campo, generar reportes diarios y facilitar la comunicación entre los distintos actores del proyecto, ha demostrado ser clave en la ejecución de obras complejas como las plantas de tratamiento que desarrolla Eco Clean Water. Además, tiene la ventaja de visualización BIM que permite revisar modelos en formatos como .rvt e .ifc directamente desde la plataforma, lo cual es especialmente útil para conectar el diseño con la ejecución sin necesidad de herramientas adicionales.

Otro factor importante es que Procore ya está implementado en la empresa, lo que significa que el equipo está familiarizado con la plataforma, lo que reduce la curva de aprendizaje y evita costos asociados a la adopción de una nueva solución. Al ser una herramienta escalable, Procore también se adapta al crecimiento de la empresa, permitiendo manejar múltiples proyectos y usuarios sin necesidad de adquirir licencias adicionales por cada integrante del equipo.

Si bien el costo de Procore puede ser más elevado en comparación con otras alternativas, la empresa ha valorado que los beneficios operativos, la centralización de procesos y la capacidad de adaptación a las necesidades del sector hacen que esta inversión esté justificada. En la tabla VII se pueden observar los factores analizados para cada plataforma.

TABLA X
Comparación de diferentes plataformas digitales para colaboración.

Plataforma	Enfoque	Modelado	Visualizador BIM	Precio (mayo 2025)
Autodesk ACC	Diseño y colaboración BIM	Sí	Sí	\$500 - \$2472
Bim 360	Visualización	Sí	Sí	\$800 - \$1000 anuales por usuario
Trimble Connect	Gestión BIM en entorno Revit	No	Sí	Versión gratuita o \$120 anuales
Procore	Gestión de obra y documentación	Sí (con hardware específico)	Sí	\$3195 trimestrales



Hardware

Así como se desea hacer una implementación en software para poder dar uso de la metodología BIM, se debe hacer una inversión en hardware debido que los programas a usar tienen requisitos mínimos, recomendados o de alto rendimiento. En este caso se da una recomendación de hardware para un rendimiento óptimo.

TABLA XI
Comparación de diferentes plataformas digitales para colaboración.

Software	Requisitos	Precio de equipos (mayo 2025)
Revit ®	<p>Sistema operativo: Microsoft® Windows® 10 u 11 de 64 bits.</p> <p>CPU: Intel® i-Series, Xeon®, AMD® Ryzen, Ryzen Threadripper PRO. 2,5 GHz o superior.</p> <p>Memoria RAM: 32 GB.</p> <p>Memoria: 30 GB</p> <p>Resoluciones de vídeo: 1680 x 1050 con color verdadero.</p> <p>Adaptador de vídeo: Tarjeta gráfica compatible con DirectX 11, con Shader Model 5 y 4 GB de memoria de vídeo como mínimo.</p>	<p>HP ZBook Fury 15 G7: \$2,509.99</p> <p>Dell Precision 5560: \$1,929.77</p> <p>Lenovo ThinkPad P1: \$1,899.00</p>
Procore	<p>Memoria: 64 GB</p> <p>Datos móviles: 10 GB</p> <p>Android:</p> <ul style="list-style-type: none"> Android 11 <p>iPhone o iPad:</p> <ul style="list-style-type: none"> iOS 16.1 	<p>iPad Pro de 11 pulgadas M4: \$1,279.00</p> <p>iPad Air de 13 pulgadas M3: \$1,029.00</p> <p>2022 iPad de 10,9 pulgadas: \$379.00</p>

Nota: Es notable que en Procore se inclinó solo por la marca Apple, pero este se debe a que Procore cuenta con la implementación de realidad virtual, pero solo funciona con dispositivos de esta marca. Además, estos dispositivos serían para usarse en campo y esto de momento no se está implementando.

Capacitación BIM

Como parte de la capacitación al personal de ECW se diseñaron 2 presentaciones que explican que es BIM y que es un Plan de Ejecución BIM. Además, se crearon 2 videos explicativos de dichas presentaciones con una serie de preguntas al final del video para evaluar el aprendizaje de los colaboradores.



Extras

A modo de aprendizaje para una evolución en conocimiento BIM y progresar con la implementación se recomiendan llevar alguno o todos de los siguientes cursos:

TABLA XII
Cursos sobre BIM

Nombre	Plataforma	Precio	Certificado
BIM Fundamentals for Engineers	Coursera	Gratuito	Sí
BIM Coordination	Coursera	Gratuito	Sí
BIM Application for Engineers	Coursera	Gratuito	Sí



Referencias

- [1] R. Valle, «Factores Claves Y Metodología Para Planificar la Implementación de Bim al Interior de una Empresa Constructora-Inmobiliaria», Pontificia Universidad Católica de Chile, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://bimforum.cl/wp-content/uploads/2017/07/Factores-Claves-y-Metodolog%c3%ada-para-Planificar-la-Implementaci%c3%b3n-de-BIM-al-Interior-de-una-Empresa-Constructora.pdf>
- [2] Comisión Interinstitucional BIM Costa Rica, «Roles y Responsabilidades BIM». 2024.
- [3] Comisión Interinstitucional BIM Costa Rica, «Plan de Ejecución BIM». 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ciibim.cr/wp-content/uploads/2024/03/CII-BIM-BEP-2024-V1-1.pdf>
- [4] K. Sequeira Blanco, «Desarrollo de un modelo para la implementación de la metodología BIM en los procesos constructivos y de mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la empresa Eco Clean Water», Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2024.

