



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PLAN ESTRATÉGICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM
PARA LOGRAR REDUCCIÓN DE COSTOS Y PLAZOS EN PROYECTOS MENORES
EN FASE DE CONSTRUCCIÓN EN AMBIENTE COLABORATIVO INTERNACIONAL
PARA MINERA ESCONDIDA LTDA.**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN
GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

CRISTIÁN OCTAVIO QUINTANILLA SOTO

**PROFESOR GUÍA:
MANUEL RODRIGO VERGARA TRINCADO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
DANIEL ANTONIO ESPARZA CARRASCO
PABLO MARTÍN ANTORANZ**

**SANTIAGO DE CHILE
2022**

RESUMEN

PLAN ESTRATÉGICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM PARA LOGRAR REDUCCIÓN DE COSTOS Y PLAZOS EN PROYECTOS MENORES EN FASE DE CONSTRUCCIÓN EN AMBIENTE COLABORATIVO INTERNACIONAL PARA MINERA ESCONDIDA LTDA.

Según informe de productividad de Minerals Americas Projects, BHP, el cual incluye a Minera Escondida (MEL), los resultados asociados a costos en ejecución en proyectos menores (inversión total menor a 20 MUSD) desarrollados se encuentran en un 13% por sobre el promedio de la industria. Además, se observa un 43% mayor en plazos respecto de lo establecido en etapas de estudio (Selección / Definición). La revisión de diversas lecciones aprendidas de proyectos menores realizados, indican que las principales oportunidades de aprendizaje provienen desde la fase de estudio, correspondiendo entre otros, a interferencias no detectadas, problemas de coordinación de disciplinas y distintos participantes, que debieron ser abordadas en fase de Construcción, originando sobrecostos y atrasos no vislumbrados desde fases tempranas del proyecto. Es en este contexto que se define evaluar la utilización de metodología BIM (Building Information Modeling) en la gestión y coordinación de proyectos, evaluando así la posibilidad de reducción de costos y plazos de los mismos.

El desarrollado de la tesis se inicia con un análisis de la situación actual, caracterizando los proyectos menores, describiendo sus procesos durante el ciclo de vida y etapas intermedias. Posteriormente, se levantan las principales desviaciones desde etapas previas y que impactaron en la fase de Construcción. Se analizan las capacidades de las empresas colaboradoras y metodologías empleadas, realizando un benchmark en la industria en dicha área. Además, considera una revisión del estado del arte en materia de utilización de metodología BIM, revisando sus principales herramientas, potencialidades y posibilidades para utilización en un ambiente colaborativo internacional y experiencia relacionada en otros países. Se determinan aquellas desviaciones principales provenientes de las distintas etapas de Selección/Definición y Construcción, priorizando a su vez aquellas herramientas BIM que pudieran impactar positivamente en una reducción de costos y plazos mediante su implementación, proponiendo un plan de implementación de la misma.

Como resultado final, se obtiene un plan estratégico para lograr una reducción de costos directos estimada en 4,3% y 15,0% en plazos en proyectos menores en fase de construcción mediante la utilización de metodología BIM en ambiente colaborativo internacional, estimando un ROI de 9,1% el primer año y una TIR de 586% en escenarios base para Minera Escondida. Para lograr lo anterior, se analizan las implicancias de la implementación a nivel de estructura organizacional, procesos, capacitación, comunicaciones, mitigación de riesgos e implementación tecnológica e inversiones asociadas.

AGRADECIMIENTOS

A mis hijas, esposa, padres y hermanos, quienes han sido siempre pilares fundamentales en mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

1	PLANEAMIENTO	1
1.1	Introducción.....	1
1.2	Descripción tema y justificación.	3
1.2.1	Descripción tema.....	3
1.2.2	Justificación.....	3
1.3	Preguntas claves y factores críticos.....	4
1.3.1	Preguntas claves.....	4
1.3.2	Factores críticos.....	5
1.4	Objetivos y resultados.....	7
1.4.1	Objetivo general.....	7
1.4.2	Objetivos específicos.....	7
1.4.3	Exclusiones.....	7
1.4.4	Resultados esperados.....	7
1.5	Alcance.....	8
1.6	Marco conceptual.....	9
1.6.1	Modelo basado en la “Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos – PMBOK”.....	9
1.6.2	Metodología BIM.....	9
1.6.3	Modelo de las 7s.....	14
1.6.4	Análisis FODA.....	14
1.6.5	Evaluación financiera.....	15
1.6.6	Levantamiento principales desviaciones de la etapa Selección / Definición. 15	
1.7	Metodología.....	16
1.7.1	Elaboración del diagnóstico y síntesis.....	16
1.7.2	Diseño estratégico en la implementación de BIM.....	17
1.7.3	Evaluación y factibilidad económica.....	18
1.7.4	Conclusiones y recomendaciones.....	18
2	DIAGNÓSTICO Y SÍNTESIS.....	19
2.1	Situación actual. Escenario base.....	19
2.1.1	Caracterización de proyectos menores.....	19
2.1.2	Descripción de procesos.....	20
2.1.3	Fase Selección, Definición y Construcción.....	23
2.1.4	Estado del arte. Utilización metodología BIM.....	34
a)	Usos Metodología BIM.....	34
b)	Plataformas disponibles en el mercado.....	36

Modelamiento BIM.	36
Visores BIM.	37
Planificación de obra (4D).	38
Medición y presupuesto (5D).	38
Gestión ambiental y eficiencia energética (6D).	39
Facility Management (7D).	39
Diseño de instalaciones.	40
Diseño de estructuras.	40
Escáner Láser 3D.	41
2.2 Síntesis del diagnóstico.	46
2.2.1 Adopción y Madurez BIM.	46
2.2.2 Modelo de las 7s.	52
2.2.3 FODA de los distintos tipos de proyectos.	65
2.2.4 Priorización de atractivos e impactos en la utilización de BIM.	66
3 DISEÑO ESTRATÉGICO.	69
3.1 Selección de iniciativa objetivo.	69
3.2 Factores críticos.	69
3.3 Hoja de ruta para implementación BIM.	70
3.3.1 Fase 1. Plan estratégico.	71
3.3.2 Fase 2. Formación y capacitación.	72
3.3.3 Fase 3. Marcha blanca.	74
3.3.4 Fase 4. Autonomía.	75
3.4 Análisis implementación de metodología BIM.	77
3.4.1 Tecnología.	77
3.4.2 Procesos.	78
3.4.3 Personas.	79
4 EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA.	80
4.1 Resultados de implementación BIM.	80
4.2 Evaluación escenario propuesto. Costos y plazos de construcción con metodología BIM.	82
4.3 Comparación diferencial entre ambos escenarios. Actual y con implementación BIM en función de parámetros de evaluación de proyecto.	85
4.4 Análisis de sensibilidad.	86
4.4.1 Análisis ROI.	86
4.4.2 Análisis TIR.	90
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	92

5.1	Conclusiones.....	92
	Tecnología.	92
	Procesos.	92
	Personas.....	92
5.2	Recomendaciones.....	93
6	BIBLIOGRAFÍA.	94
ANEXOS		97
	ANEXO A. Preguntas que componen la entrevistas para determinación de nivel de madurez.....	97
	ANEXO B. Análisis FODA. Implementación BIM. Fuente: Elaboración propia.	101
	ANEXO C. Organigramas de las distintas empresas de ingeniería que forman parte del Contrato Marco de Ingenierías Menores.....	104
	ANEXO D. Análisis Nivel de implementación metodología BIM. Empresas consultoras contrato marco.....	112

1 PLANEAMIENTO

1.1 Introducción.

BHP es la empresa de recursos naturales diversificados más grande del mundo, cuyo origen proviene de la fusión de la australiana Broken Hill Proprietary (BHP) y la inglesa Billiton, en 2001. Con presencia en 13 países, su casa matriz está ubicada en Melbourne, Australia. Las faenas de BHP en Chile son parte de Minerals Americas, cuya sede se encuentra en Santiago de Chile. Esta unidad también reúne los joint ventures (JVs) no operados de Antamina (Perú), Cerrejón (Colombia) y Samarco (Brasil), junto con el proyecto Resolution (Estados Unidos). BHP llegó a Chile en 1984 tras adquirir Utah Corporation, que entonces era el socio principal de Minera Escondida. En el año 2000, Billiton compró Rio Algom, que tenía entre sus activos Spence y Cerro Colorado.

Minera Escondida Limitada (MEL), explota un yacimiento de cobre que se encuentra a 155 [km] al sureste de la ciudad de Antofagasta, Chile, y corresponde a la productora de cobre más grande del mundo.

Según informe de productividad de Minerals Americas Projects^{Error! Marcador no definido.}, BHP, el cual incluye a Minera Escondida Limitada, considerando los períodos 2018 y 2019 los resultados asociados a costos en ejecución en proyectos menores (inversión total menor a 20 MUSD) desarrollados se encuentran en un 13%, por sobre el promedio de la industria. Por otro lado, se observa un 43% mayor en plazos respecto de lo establecido en etapas de estudio (Selección / Definición).

Revisando base de datos relacionadas a lecciones aprendidas de proyectos menores realizados en Minera Escondida, el 64% de las oportunidades de aprendizaje declarado en talleres de trabajo, provienen desde el área de ingeniería en las fases Selección / Definición correspondiendo, entre otros, a interferencias no detectadas y problemas de coordinación de disciplinas y distintos participantes y que debieron ser abordadas en fase de ejecución originando sobre costos y atrasos no vislumbrados desde fases tempranas de proyecto.

Las brechas u oportunidades indicadas, no sólo se han observado en el desarrollo de proyectos en Minerals América BHP, sino también en la industria en general. En un estudio¹ encargado por la Cámara Chilena de la Construcción, basado en mediciones y análisis de actividad en terreno de proyectos mineros en construcción concluye que, la construcción minera presentaría una pérdida de productividad de la mitad de su máximo potencial. Luego, y sobre la base de estos resultados, se elaboró documento², "*Buenas Prácticas en la Construcción Minera*", que apunta a potenciar el trabajo conjunto y colaborativo entre el mandante y contratista. Dicho informe propone acciones concretas, e indica falta de innovación, en la cual la implementación de BIM puede generar valor en la coordinación integrada de proyectos.

¹ MacKinsey, Productividad laboral en Chile, 2019.

² Corporación de Desarrollo Tecnológico, Buenas Prácticas en la Construcción Minera, 2015.

BIM es un acrónimo usado para dos conceptos³:

- BIM (Building Information Model) es la representación digital paramétrica del producto de construcción (losas, muros, pilares, equipamiento, puertas, ventanas, etc.) que incluye su geometría e información.
- BIM (Building Information Modeling) es una metodología para desarrollar y utilizar modelos BIM para apoyar decisiones de diseño, construcción y operación durante todo el ciclo de vida de un proyecto, lo que implica una integración y gestión de información provista y usada por diferentes actores del proyecto.

No obstante, la coexistencia de estos dos conceptos, es importante aclarar que en la práctica no deben desarrollarse de forma independiente, sino que el concepto "*Building Information Model*" entendido como "*Modelo*" se encuentra implícito en el concepto de "*Building Information Modeling*" entendido como "*Metodología*". Es decir, la generación del modelo implica desarrollarlo bajo una metodología y procesos formalmente establecidos.

En virtud de lo anterior, se requiere innovar bajo un conjunto de metodologías interrelacionadas, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una instalación o infraestructura de forma colaborativa y trazable. Es en este contexto, que se define innovar evaluando la utilización de metodología BIM (*Building Information Modeling*) en la gestión y coordinación de proyectos evaluando así la posibilidad de reducción de costos y plazos de los mismos.

³ CDT, 2015.

1.2 Descripción tema y justificación.

1.2.1 Descripción tema.

El tema propuesto consiste en el desarrollo de un plan estratégico con el foco de crear un plan de reducción de costos y plazos en proyectos menores en fase de construcción mediante la innovación de utilización de metodología BIM en ambiente colaborativo internacional para Minera Escondida, que permita reducir los costos y plazos en al menos un 15% en un plazo de 5 años.

1.2.2 Justificación.

Según informe de productividad de Minerals Americas Projects^{¡Error! Marcador no definido.}, BHP, el cual incluye a Minera Escondida Limitada, considerando el período 2018 y 2019 los resultados asociados a costos en ejecución en proyectos menores (inversión total menor a 20 MUSD) desarrollados se encuentran en un 13%, por sobre el promedio de la industria. Por otro lado, se observa un 43% mayor en plazos respecto de lo establecido en etapas de estudio (Selección / Definición).

Revisando base de datos relacionadas a lecciones aprendidas de proyectos menores realizados en Minera Escondida en un período de 2016 a 2019, el 64% de las oportunidades de aprendizaje declarado en talleres de trabajo, provienen desde el área de ingeniería en las fases Selección / Definición correspondiendo, entre otros, a interferencias no detectadas y problemas de coordinación de disciplinas y distintos participantes y que debieron ser abordadas en fase de ejecución originando sobrecostos y atrasos no vislumbrados desde fases tempranas de proyecto.

Para mayor abundamiento, las brechas observadas se pueden agrupar en los siguientes ítems, según sus impactos en costos (directos) y programa: Base de datos, Coordinación, Modelamiento e interferencia, las cuales pudieran ser abordadas por iniciativas BIM. Conforme a lo expuesto, se observa una gran oportunidad al implementar trabajar bajo un conjunto de metodologías interrelacionadas, tecnologías innovadoras y estándares que permitan diseñar, construir y operar una instalación o infraestructura de forma colaborativa y trazable que otorgaría valor mejorando la productividad y reduciendo costos y plazos mediante la utilización de metodología BIM (Building Information Modeling).

1.3 Preguntas claves y factores críticos.

1.3.1 Preguntas claves.

Para el desarrollo del tema planteado en tesis desarrollada, se da respuesta a las siguientes interrogantes:

1.3.1.1 Propuesta de valor.

- ¿Qué valor se proporcionará proporcionaremos al desarrollo actual de proyectos en Minera Escondida?
- ¿Cuáles han sido las principales desviaciones de los proyectos en Minera Escondida en fase de Construcción y que han impactado en término de costos y plazos?
- Respecto de la industria ¿Cuáles son las desviaciones principales en el desarrollo de proyectos?
- De las desviaciones observadas en fase de Construcción y que impactaron en términos de costos y plazos ¿Cuáles han sido originadas por omisiones u errores provenientes de la fase Selección/Definición?
- ¿Puede la implementación de metodología BIM ayudar a disminuir los costos y plazos?

1.3.1.2 Segmento de proyectos.

- ¿Cuáles son las características principales de los proyectos menores en Minera Escondida?
- ¿Cuáles son los procesos de desarrollo de los proyectos menores en Minera Escondida?

1.3.1.3 Canales.

- ¿Cuáles son los canales preferentes en el desarrollo proyectos menores en Minera Escondida?
- ¿Cómo se establecerán las coordinaciones con los Stakeholders?
- ¿Cómo se integrarán las coordinaciones con los Stakeholders y equipo de proyecto?

1.3.1.4 Relación con stakeholders.

- ¿Quiénes son los stakeholders principales?
- ¿Cómo será el plan comunicacional?
- ¿Cómo son los aspectos culturales?
- ¿Cuál es el nivel de conocimiento de la metodología BIM?

1.3.1.5 Inversión y plazos de implementación.

- ¿Cuáles son las herramientas BIM disponibles que permitan abordar las principales desviaciones levantadas?

- ¿Cuáles son las desviaciones levantadas, etapas identificadas y herramientas BIM que pudieran impactar positivamente en reducción de costos y plazos en etapa de Construcción?
- ¿Qué implicancias tiene su implementación en las diversas áreas de proyecto?
- Con la implementación de BIM ¿Es posible la reducción de costos en fase de Construcción en al menos 15%?
- Con la implementación de BIM ¿Es posible la reducción de plazos en fase de Construcción en al menos 15%?
- ¿Es posible la implementación de BIM en un plazo de 5 años en el desarrollo de proyectos en Minera Escondida?

1.3.1.6 Cadena de valor.

- ¿Qué actores claves requiere la cadena de valor?
- ¿Cómo se establecerá la relación entre los actores claves?
- ¿Es factible articular un ambiente colaborativo internacional en la utilización de herramientas BIM?

1.3.1.7 Asociaciones claves.

- ¿Quiénes serán los socios claves en la implementación?
- ¿Qué aportarán los socios claves en la implementación?
- ¿Cuál es la capacidad actual de las empresas colaboradoras para el desarrollo de proyectos y abordar las desviaciones?

1.3.2 Factores críticos.

Conforme a las características del segmento de proyectos menores en Minera Escondida, su complejidad dado por su entorno inserto en áreas operativas y objetivos planteados, los factores críticos de éxito para implementación son los siguientes:

1.3.2.1 Stakeholders.

- Existencia de un enfoque de colaboración entre los distintos participantes de la empresa que utilizarán BIM para el desarrollo de proyectos.
- Apoyo a la implementación tanto de los cargos gerenciales como de los cargos operacionales.
- Comunicación de los cambios que se desean realizar para el conocimiento de todos los involucrados.
- Existencia de objetivos claros para la implementación.

1.3.2.2 Servicio.

- Existencia de una guía con toda la información necesaria sobre la implementación de BIM.
- Claridad de cómo se realizará el intercambio de información luego de implementar BIM.
- Claridad de las responsabilidades y roles de cada uno de los actores.
- Existencia de un equipo estratégico que guie la implementación.

- Capacitación de los equipos de trabajo en base a los conceptos BIM.
- Existencia de un área técnica que entregue las herramientas para apoyar la implementación.
- Existencia de un programa detallado con las actividades y pasos individuales con las que se llevará a cabo la implementación.

1.3.2.3 Ambiente.

- Asociado al ambiente en donde se interactúa con los stakeholders.
- Factibilidad de interacción en forma remota y amigable.

1.3.2.4 Socios claves.

- Nivel de madurez en la adopción de la metodología BIM.
- Capacidad de la empresa para modificar los procesos de trabajo existentes hoy en día, para que se adecuen a la metodología BIM.

1.4 Objetivos y resultados.

1.4.1 Objetivo general.

Diseñar un plan estratégico para la implementación de la metodología BIM para lograr reducción de costos y plazos en proyectos menores en fase de construcción en ambiente colaborativo internacional para Minera Escondida, que permita reducir los costos y plazos en al menos un 15% en un plazo de 5 años.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Elaborar un análisis comparativo de la situación actual v/s la situación futura esperada con la implementación de metodología BIM.
- Identificar y evaluar los tipos de usos BIM a considerar en la elaboración del plan.
- Diseñar plan estratégico para la implementación de utilización de metodología BIM en la gestión y coordinación de proyectos menores que permita:
 - Disminución de costos en al menos 15%, en fase de construcción.
 - Disminución de plazos en al menos 15%, en fase de construcción.
- Evaluar financieramente la propuesta de implementación, en comparación con escenario base proyectado a cinco años, a través evaluación de Retorno sobre la Inversión (ROI) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

1.4.3 Exclusiones.

Los temas que no se incluyen en la tesis son:

- No incluye en el análisis proyectos sobre un monto de inversión de 20 MUSD.
- No incluye proyectos fuera del Asset de Minera Escondida Limitada.
- No incluye proyectos especiales, fuera de los alcances definidos como proyectos menores.

1.4.4 Resultados esperados.

Como resultado de este trabajo, se espera cumplir con los objetivos propuestos, definiendo un plan estratégico que atienda las necesidades del segmento de proyectos identificado, que permita crear un plan de reducción de costos y plazos en proyectos menores en fase de construcción mediante la utilización de metodología BIM en ambiente colaborativo internacional para Minera Escondida Limitada, tomando en consideración el alcance y exclusiones antes expuestas.

1.5 Alcance.

La elaboración del plan a desarrollar en la presente tesis incluye las principales dimensiones del desarrollo de proyectos menores en Minera Escondida. El proceso se inicia con un análisis de la situación actual, caracterizando los proyectos menores, describiendo sus procesos durante el ciclo de vida y etapas intermedias.

En virtud de lo anterior, se levantan las principales desviaciones desde las etapas y que impactan en la fase de Construcción. Se analizan las capacidades de las empresas colaboradoras respecto de metodologías empleadas, para posteriormente, realizar un análisis benchmark en la industria en dicha materia, y así rescatar algunas oportunidades que no hayan sido evidenciadas internamente.

Además, se considera una revisión del estado del arte en materia de utilización de metodología BIM, revisando sus principales herramientas, potencialidades y posibilidades para utilización en un ambiente colaborativo internacional. Con el análisis anterior, se determinan aquellas desviaciones principales provenientes de las distintas etapas de Selección/Definición y Construcción, priorizando a su vez aquellas herramientas BIM que pudieran impactar en una reducción de costos y plazos mediante su implementación, evaluando su factibilidad en ambiente colaborativo internacional. Finalmente, se propone un plan de implementación de la misma.

1.6 Marco conceptual.

El proceso se inicia con un análisis de la situación actual, caracterizando los proyectos menores, describiendo sus procesos durante el ciclo de vida y etapas intermedias. En virtud de lo anterior, se levantan las principales desviaciones desde las etapas previas y que impactan en la fase de Construcción. Se analizan las capacidades de las empresas colaboradoras respecto de metodologías empleadas, para posteriormente, realizar un benchmark en la industria en dicha materia, y así rescatar algunas oportunidades que no hayan sido evidenciadas internamente. Además, considera una revisión del estado del arte en materia de innovación mediante la utilización de metodología BIM, revisando sus principales herramientas, potencialidades y posibilidades para utilización en un ambiente colaborativo internacional. Con el análisis anterior, se determinan aquellas desviaciones principales provenientes de las distintas etapas de Selección/Definición y Construcción, priorizando a su vez aquellas herramientas BIM que pudieran impactar en una reducción de costos y plazos mediante su implementación, evaluando su factibilidad en ambiente colaborativo internacional. Finalmente, se propone un plan de implementación de la misma. En el desarrollo de plan estratégico es necesario el uso de modelos referentes en el área de proyectos, integrado con el levantamiento de lecciones aprendidas tanto en Minera Escondida como en el área de proyectos de construcción.

1.6.1 Modelo basado en la “*Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos – PMBOK*”.

Modelo que involucra todas las áreas de la empresa para un proyecto específico buscando como resultado que sean desarrollados desde un enfoque en donde la debida forma de ejecutarlos va desde la administración de los recursos, una gestión de la gerencia técnica, una gestión de la gerencia operativa y por último que la gerencia administrativa, aseguren un resultado favorable en la utilidad neta del proyecto para que sean superiores al promedio.

1.6.2 Metodología BIM.

BIM (Building Information Modeling) es un conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que replantean la forma de trabajo individual y fragmentado permitiendo diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en un espacio virtual.

Este representa un sistema de trabajo que permite reunir o archivar la información asociada de un proyecto en una representación digital o modelo 3D, de manera de contener en un mismo archivo la información necesaria para analizar y comprender el desarrollo del proyecto, pudiendo consultarla o corregirla sirviéndose de la conexión a la red.

El modelo o maqueta virtual se utiliza como base o soporte de la información de un proyecto generando un archivo de memoria digital, optimizando los tiempos de búsqueda de información y permitiendo realizar procesos complejos en tiempos mínimos valiéndose de la velocidad electrónica. Este archivo se puede conectar a una red de comunicación pudiendo ser visualizado y utilizado por múltiples participantes de forma simultánea y

colaborativa a través de múltiples plataformas a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto.

Para desarrollar y analizar un modelo se requieren de herramientas y programas tales como:

- Equipos digitales como computadores que otorguen acceso a información de la red y potencien la capacidad de respuesta del modelo aportando información complementaria (ej. datos de ubicación, evolución de materiales en el tiempo, entre otros).
- Softwares para crear el modelo y cargarlo de la información necesaria acorde a lo que se le solicitará.
- Softwares que extraigan del modelo la información consultada.

Con lo anterior, la tecnología BIM otorga una serie de ventajas como lo es crear modelos integrados de todas las especialidades involucradas en un proyecto y, de esa forma, prevenir “*choques*” o interferencias, obtener información de los modelos a velocidad electrónica tanto para visualización como para construcción y mantención a través de equipos portátiles o tabletas, facilitar trabajos administrativos como cubicación, verificación, valorización de estados de avance, entre otros; y obtener simulaciones de la edificación para analizar la apariencia, funcionamiento, costo y plazo del proyecto optimizándolo en el Diseño.

1.6.2.1 Fases de adopción de la metodología BIM.

Las compañías interesadas en impulsar la creación de modelos documentados dentro de sus flujos de trabajo (Tecnología BIM), debieran identificar previamente sus capacidades y definir objetivos escalables para la incorporación de la metodología BIM dentro de su compañía; es decir, realizar un diagnóstico que muestre el estado actual de la empresa donde se implementará BIM. En este contexto, es recomendable posicionar su empresa en las etapas del ciclo de proyecto donde interactúa comúnmente, considerando si desarrollan proyectos de Ingeniería Conceptual, Ingeniería Básica, Ingeniería de Detalles, Modelo de Arquitectura, Análisis Estructural, Coordinación de Construcción o Proyectos de Construcción.

Por otra parte, es fundamental identificar las demás empresas que son parte del ciclo de proyecto donde trabajará, para entender si también aplicarán esta forma de trabajar. Es recomendable que todas las empresas que intervienen a lo largo del proceso también implementen BIM; de lo contrario no se podrá trabajar de una forma óptima, ni sacar todo el partido posible a los beneficios que aporta el uso esta metodología colaborativa.

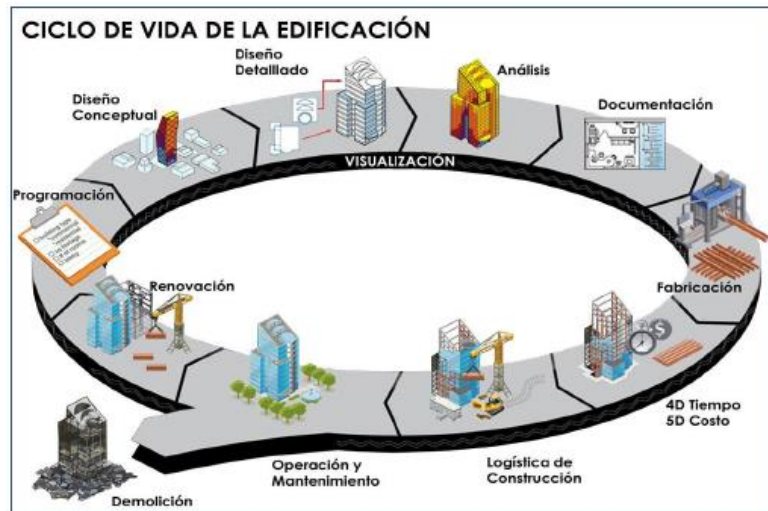


Figura 1. Ciclo de vida de la edificación. Fuente: CDT, 2017.

1.6.2.2 BIM integrado.

Caso cuando la coordinación de todas las especialidades y etapas del proyecto es realizada en forma normada y centralizada, y todas las compañías trabajan bajo una normalización establecida (Mandatos) de acuerdo a los objetivos del proyecto (caso ideal).

Al implementar BIM no existirá un solo traje a medida que aplique para todas las compañías, cada empresa (constructora, inmobiliaria, estructural, etc.) tendrá necesidades diferentes y sus prioridades de adopción de la tecnología serán muy particulares, por lo que deberán elaborar sus propios procedimientos y flujos de trabajo a nivel interno.

El común denominador para que las empresas adopten esta tecnología de manera consistente, sin importar su tamaño será la "Estandarización", esto permitirá que la adopción de esta tecnología se pueda mantener en el tiempo y los resultados se visualicen en un corto plazo.

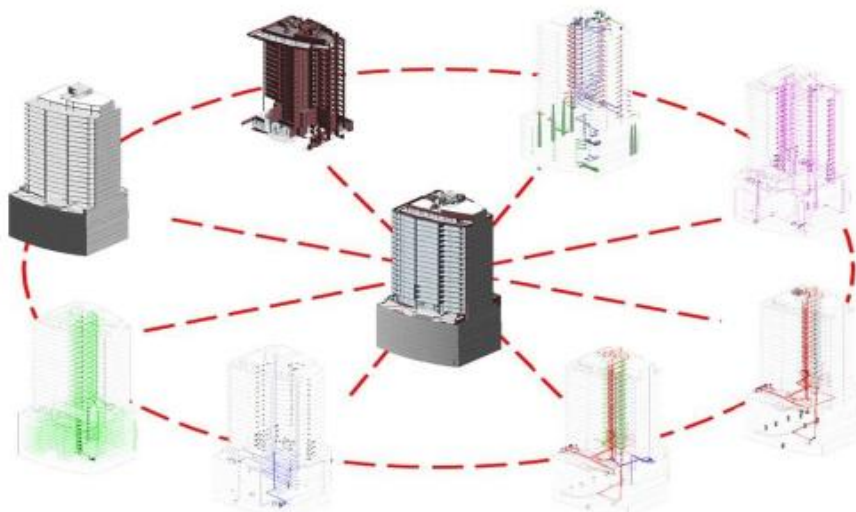


Figura 2. Esquema BIM Integrado. Fuente: CDT, 2017.

1.6.2.3 Beneficios del uso de la metodología BIM.

El uso de la metodología BIM trae consigo múltiples beneficios, asociados a la gestión y los procesos productivos. Estos beneficios son a mediano plazo, pues la implementación y uso de BIM tiene sus costos y dificultades.

A continuación, se muestran los beneficios obtenibles para cada etapa del proyecto por el uso de la metodología BIM:

Tabla 1. Beneficios del uso de metodología BIM en las distintas etapas de un proyecto. Fuente: Adaptación, Aliaga 2012.

Etapa del proyecto	Beneficios asociados	Clasificación
Pre-inversión (idea, estudios, evaluaciones, ingeniería conceptual y básica).	Análisis de las distintas situaciones para evaluar viabilidad, diseño y concepto.	Modelamiento
	Desempeño y calidad del producto final.	Modelamiento
	Disminución de costos y ahorro en el tiempo de desarrollo de proyectos.	Coordinación
Inversión (ingeniería de detalle, adquisiciones, construcción, pruebas y puesta en marcha).	Visualización del diseño en cualquier etapa del proceso.	Modelamiento
	Correcciones automáticas gracias a parametrización.	Coordinación
	Menor tiempo en elaboración de documentos y traspaso de la información.	Base de datos
	Entrega 2D exactos y consistentes por obtención directa del modelo 3D.	Modelamiento
	Trabajo multidisciplinario colaborativo y simultáneo.	Coordinación
	Mejor comunicación entre diferentes disciplinas.	Coordinación
	Mejor coordinación en etapa de diseño.	Coordinación
	Estimaciones de costos.	Base de datos
	Eficiencia energética y sustentabilidad (análisis).	Base de datos
	Planificación de la construcción (BIM 4D).	Interferencias
	Detección de interferencias.	Interferencias
	Rápida reacción a problemas en terreno y diseño.	Interferencias
	Modelo útil para fabricación de elementos.	Coordinación
Técnicas "Justo a Tiempo".	Coordinación	
Operación y cierre (utilización, producción y cierre)	Mejor administración y operación de las instalaciones.	Base de datos
	Control de sistemas y comissioning.	Base de datos
	Integración con la operación de la instalación y la gestión de sistemas.	Base de datos
	Análisis y monitoreo de los procesos y trabajos de cierre.	Base de datos

1.6.2.4 Análisis nivel de adopción y madurez BIM.

Para el análisis asociado a las capacidades actuales del área de proyectos en Minera Escondida, y evaluación del proceso de adopción y nivel de madurez BIM que la organización requiere, se propone analizar según modelo de madurez BIM según SUCCAR⁴. Dicho modelo analiza la forma en la que esa organización ha enfrentado y avanzado en cada una de las tres dimensiones de gestión (tecnología, procesos y personas).

La Matriz de Madurez BIM, propuesta por Bilal Succar en 2009, es una herramienta de análisis que permite identificar de manera sencilla el nivel de madurez BIM de organizaciones o equipos de proyecto. Consiste en una matriz (Ver Tabla 2) cuyo eje vertical está constituido por diez áreas clave de desempeño BIM organizadas en tres

⁴ Succar, 2016.

campos y cuyo eje horizontal está constituido por cinco niveles progresivos de madurez. Los tres campos propuestos por Succar (tecnologías, procesos y políticas) constituyen una estructura de análisis similar, pero no idéntica, a la división tradicional de dimensiones de gestión (tecnologías, procesos y personas). Cada celda de la matriz tiene descriptores que permiten identificar el nivel que mejor representa a la organización. Adicionalmente, se establecen tres etapas de capacidades BIM: etapa 1 (modelación basada en objetos), etapa 2 (colaboración basada en modelos) y etapa 3 (integración basada en redes), cada una con los mismos cinco niveles de madurez (denominados inicial, definido, gestionado, integrado, y optimizado). Es importante señalar que, en este análisis se utiliza el juicio experto de personal ejecutivo de la compañía.

Tabla 2. Matriz de Madurez BIM. Fuente: Succar, 2016.

		Niveles de madurez				
Campo	Áreas	Inicial	Definido	Gestionado	Integrado	Optimizado
Tecnología	Software					
	Hardware					
	Redes					
Procesos	Recursos					
	Actividades y flujos de trabajo					
	Productos y Servicios					
	Liderazgo y Gestión					
Políticas	Preparatorias					
	Reguladoras					
	Contractuales					
Capacidades BIM						
Etapa 1	Modelación					
Etapa 2	Colaboración					
Etapa 3	Integración					

1.6.3 Modelo de las 7s⁵.

El modelo de las 7s de McKinsey, fue creado a inicio de la década de los ochentas por Tom Peters y Robert Waterman, dos consultores de la firma McKinsey. La premisa básica del modelo es que existen 7 aspectos internos en una organización que necesitan ser alineados para ser exitosos.

- **Style (Cultura):** El estilo es la cultura de la organización. Normalmente es la cúpula quién debe establecer las bases de los comportamientos y buenas prácticas que marcarán el estilo y la forma de ser de un área.
- **Systems (Sistemas y procedimientos):** Incluye los procesos internos y los sistemas de información que posibilitan el funcionamiento de la empresa.
- **Strategy (Estrategia):** Se basa en la manera de organizar y enfocar los recursos, para conseguir los objetivos de la organización.
- **Structure (Estructura):** Es la manera en que se organizan, se relacionan e interactúan las distintas variables y unidades del negocio.
- **Skills (Habilidades y competencias):** Se refiere a las habilidades y capacidades requeridas por los miembros de la organización.
- **Shared values (Valores compartidos):** Los valores compartidos son el corazón de la empresa. Lo que une a sus miembros y alinea a todos ellos en la misma dirección.

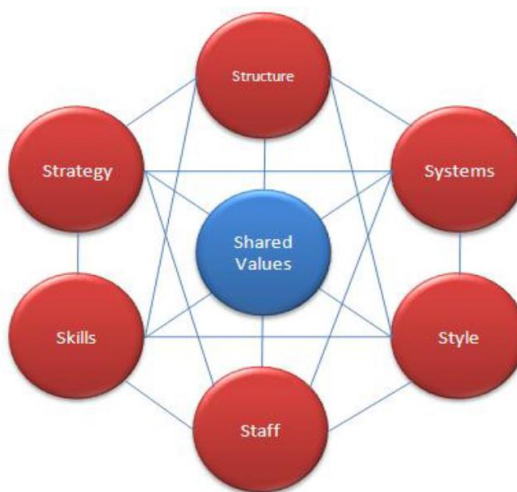


Figura 3. Modelo de las 7's de McKinsey. Fuente: Thomas, Peters & Waterman, Robert, 2006.

1.6.4 Análisis FODA.

La incorporación de este modelo de análisis buscará determinar: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas en el desarrollo de proyectos de Minera Escondida en los siguientes escenarios:

- Desarrollo proyectos menores. Escenario actual.
- Desarrollo proyectos menores. Escenario con implementación metodología BIM.

⁵ Peters, Thomas & Waterman, Robert, 2006.

1.6.5 Evaluación financiera.

A objeto de evaluar el alcance financiero del análisis, se evalúa financieramente la propuesta de implementación, en comparación con escenario base proyectado a cinco años, a través evaluación de Retorno sobre la Inversión (ROI) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

Para al cálculo del Retorno sobre la Inversión (ROI), se utiliza expresión dada por Autodesk⁶, cuyo indicador depende de variables como: Costo de hardware y software (A); Costo mensual promedio de mano de obra (B); Tiempo de entrenamiento (C), pérdida relativa de productividad durante la capacitación respecto de la productividad antes de entrenamiento (D); y aumento relativo de productividad después de la capacitación respecto de la productividad durante entrenamiento (E).

En la estimación de la Tasa Interna de Retorno (TIR)⁷, se utiliza como una medida porcentual de la magnitud de los beneficios que le reporta un proyecto a un inversionista. El objetivo es encontrar una tasa que, al ser aplicada a los flujos de caja que generará el proyecto de implementación durante el período de evaluación (5 años), dé un monto igual a la inversión inicial. Esto implica tener un VAN igual a cero.

1.6.6 Levantamiento principales desviaciones de la etapa Selección / Definición.

En Minera Escondida, el levantamiento de lecciones aprendidas, es un proceso formal que puede definirse como el conocimiento adquirido sobre un proceso o una o varias experiencias, a través de la reflexión y el análisis crítico sobre sus resultados. Las lecciones aprendidas se enfocan en la hipótesis que vincula causalmente los resultados buscados y aquello que ha funcionado o no ha funcionado para alcanzarlos. Tan importante como documentar las lecciones aprendidas es la manera como se le da valor a este conocimiento, es decir, como aplicamos esta información en el ciclo de vida de un proyecto. Al inicio y término de la fase de Selección y Ejecución, el Project Engineer con apoyo de Lead Delivery recopilan información de lecciones aprendidas en proyectos anteriores que apliquen al nuevo proyecto en curso, apoyándose en sus conocimientos previos y en la Base de datos de lecciones aprendidas existente, filtrando y seleccionando las lecciones que consideren sean de utilidad, para todo el ciclo de vida del proyecto (Ingeniería, Construcción, Comisionamiento).

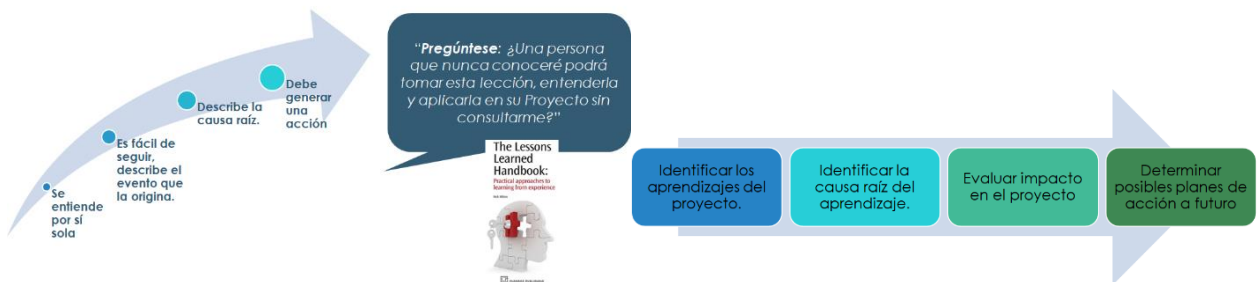


Figura 4. Proceso de levantamiento de lecciones aprendidas. Fuente: Manual de Ingeniería para Proyectos, Minerals Americas, BHP 2018.

⁶ Autodesk, 2015.

⁷ Bradley, Meyers, 2003.

Como resultado final, se obtiene un plan estratégico para la implementación de la metodología BIM para crear un plan de reducción de costos y plazos en proyectos menores en fase de construcción en ambiente colaborativo internacional para Minera Escondida.

1.7 Metodología.

A continuación, se presenta la propuesta metodológica, la cual consiste en 5 etapas que se exponen a continuación:

1.7.1 Elaboración del diagnóstico y síntesis.

Diagnóstico.

Los objetivos de esta segunda etapa son:

- Definir el segmento de proyectos a analizar.
- Levantar datos relevantes de dicho segmento: Caracterización, procesos, entre otros.

Las actividades que se consideran son:

- Revisar la situación actual. Escenario base.
- Describir los procesos en el desarrollo de segmento de proyectos a analizar.
- Recopilar las principales oportunidades de mejora de dichos proyectos.
- Analizar capacidades de los participantes.
- Levantar aspectos relevantes de la metodología BIM.

Los entregables son:

- a) Situación actual. Escenario base.
 - i. Caracterización de proyectos menores.
 - ii. Descripción de procesos. Ciclo y etapas intermedias de proyectos menores.
 - iii. Fase Selección, Definición y Construcción.
 - Levantamiento principales desviaciones de la etapa Selección/Definición, que impactan a la fase de Construcción.
 - Análisis de capacidades de las empresas colaboradoras.
 - Benchmark de desviaciones en la industria de desarrollo de proyectos.
- b) Estado del arte. Utilización metodología BIM.
 - i. Levantamiento potenciales herramientas BIM.
 - ii. Utilización de ambiente colaborativo internacional.
 - iii. Metodologías utilizadas en proyectos en empresas mineras similares.
 - iv. Principales fortalezas y debilidades de herramientas BIM.

Síntesis del diagnóstico.

Los objetivos de esta tercera etapa son:

- Sintetizar los resultados del diagnóstico.

Las actividades que se consideran son:

- Realizar análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas en el desarrollo de proyectos menores en Minera Escondida Limitada.
- Realizar análisis organizacional para incorporar innovaciones mediante metodología BIM.
- Determinar atractivos e impactos por innovación mediante metodología BIM.

Los entregables son:

- a) FODA en el desarrollo de proyectos menores en Minera Escondida Limitada.
- b) Análisis Metodología 7s.
- c) Priorización de atractivos e impactos en la utilización de BIM.

1.7.2 Diseño estratégico en la implementación de BIM.

El objetivo de esta cuarta etapa es:

- Diseñar el plan de estratégico.

Las actividades que se consideran son:

- Seleccionar las iniciativas objetivo a implementar.
- Determinar las implicancias a nivel de organización para la implementación.
- Generar planes de implementación: Procesos, capacitación, comunicación, mitigación de riesgos, implementación tecnológica, inversiones.

Los entregables son:

- a) Selección de iniciativas objetivo.
- b) Diseño de metodología.
 - i. Implicancias a nivel de organización. Estructura.
 - ii. Plan de procesos.
 - iii. Plan de capacitación.
 - iv. Plan de comunicación.
 - v. Plan de mitigación de riesgos.
 - vi. Plan de implementación tecnológica.
 - vii. Plan de inversiones.

1.7.3 Evaluación y factibilidad económica.

El objetivo de esta quinta etapa es:

- Elaborar la estrategia financiera de evaluación.

Las actividades que se consideran son:

- Evaluación financiera de escenario base. Sin considerar implementación de metodología BIM.
- Evaluación financiera de escenario propuesto. Considerando implementación de metodología BIM.

Los entregables son:

- a) Evaluación escenario base. Costos y plazos de construcción sin metodología BIM.
- b) Evaluación escenario propuesto. Costos y plazos de construcción con metodología BIM.
- c) Comparación diferencial entre ambos escenarios en función de parámetros de evaluación de proyecto.
- d) Análisis de sensibilidad.

1.7.4 Conclusiones y recomendaciones.

El objetivo de esta última etapa es:

- Consolidar resultados del plan estratégico para reducción de costos y plazos mediante innovación por implementación de metodología BIM.

Las actividades que se consideran son:

- Consolidar los resultados de cada etapa de la metodología propuesta.
- Elaborar las conclusiones y bibliografía empleada.

El entregable es:

- a) Elaboración de informe final.

2 DIAGNÓSTICO Y SÍNTESIS.

2.1 Situación actual. Escenario base.

BHP es la empresa de recursos naturales diversificados más grande del mundo, cuyo origen proviene de la fusión de la australiana Broken Hill Proprietary (BHP) y la inglesa Billiton, en 2001. Con presencia en 13 países, su casa matriz está ubicada en Melbourne, Australia.

Las faenas de BHP en Chile son parte de Minerals Americas, cuya sede se encuentra en Santiago de Chile. Esta unidad también reúne los joint ventures (JVs) no operados de Antamina (Perú), Cerrejón (Colombia) y Samarco (Brasil), junto con el proyecto Resolution (Estados Unidos).

BHP llegó a Chile en 1984 tras adquirir Utah Corporation, que entonces era el socio principal de Minera Escondida. En el año 2000, Billiton compró Rio Algom, que tenía entre sus activos Spence y Cerro Colorado.

Minera Escondida Limitada (MEL), explota un yacimiento de cobre que se encuentra a 155 [km] al sureste de la ciudad de Antofagasta, Chile, y corresponde a la productora de cobre más grande del mundo.

2.1.1 Caracterización de proyectos menores.

Minera Escondida desarrolla y gestiona proyectos de capital (sustaining capital) y estudios particulares que buscan entre otros, aumentar la vida útil de los Asset⁸, mejoramiento de procesos, desarrollo de nueva infraestructura de apoyo y proceso, entre otros. Para dicho propósito, se realizan ingenierías conceptuales, básicas y de detalles, formando la base para la materialización de proyectos de infraestructura teniendo un foco importante en la seguridad, calidad y productividad. Dichos proyectos, se clasifican según monto de inversión según el siguiente cuadro:

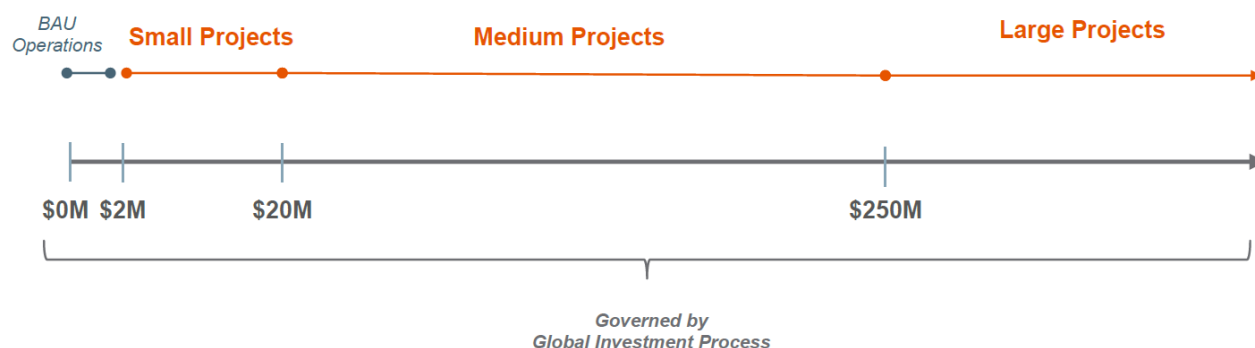


Figura 5. Clasificación de proyectos según nivel de inversión. Fuente: Functional Model Playbook, BHP, 2019.

⁸ Instalaciones físicas relacionadas, en este caso, a Minera Escondida Limitada.

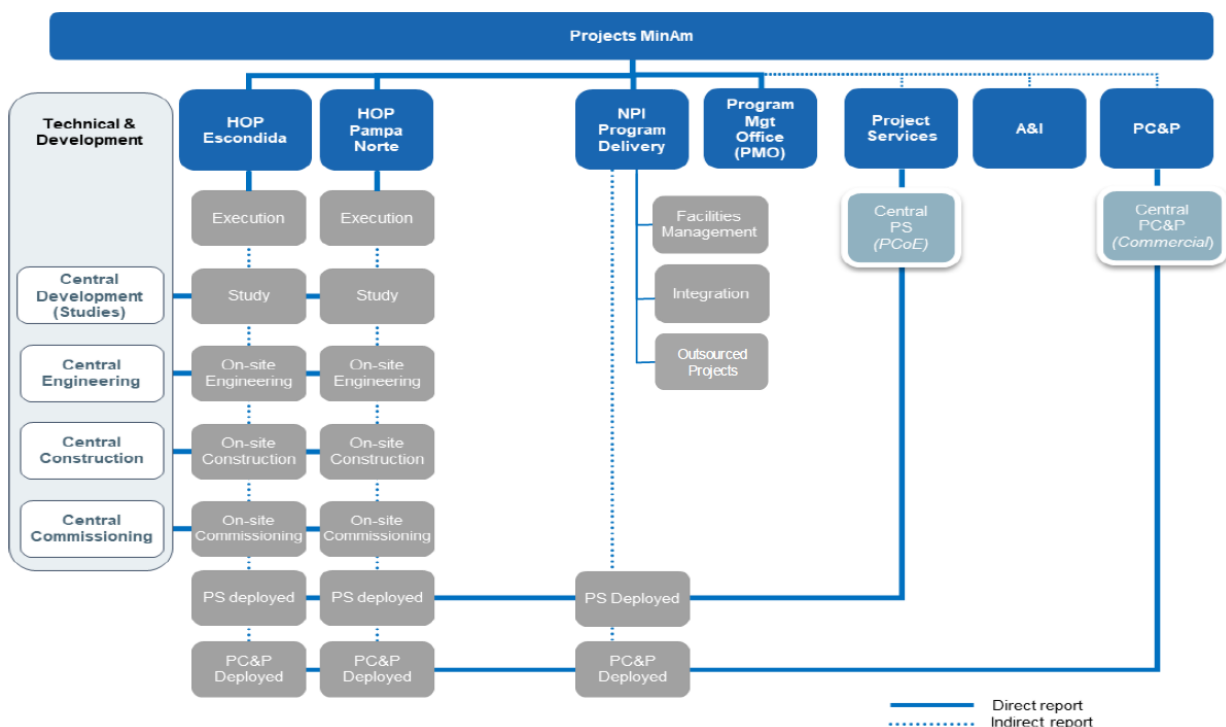


Figura 6. Modelo Funcional con sus sub-funciones de Minerals Americas Projects. Destaca la gestión matricial de proyectos. Fuente: Internal Standard, Minerals Americas, BHP 2019.

2.1.2 Descripción de procesos.

En este acápite permite establecer un marco de trabajo para todos los procesos asociados al ciclo de vida de los Proyectos de Capital dentro de Minera Escondida (MEL) menores a 20 MUSD. Todas las aprobaciones de capital deben ser endosadas por el “*Escondida Capital Review Committee*”, ECRC por sus siglas en inglés.

El desarrollo de proyectos en Minera Escondida, buscan los siguientes objetivos:

- Seleccionar las oportunidades de inversión más rentables y/o estratégicamente más convenientes para el negocio.
- Asegurar que todos los proyectos de inversiones de capital generen beneficios medibles, sustentables y eficientes.
- Identificar y tomar acciones contra riesgos potenciales y/o factores económicos que puedan afectar la factibilidad y resultados de un proyecto.
- Asegurar los estándares regulatorios, del Negocio y/o mitigar un riesgo material identificado.

El proceso de inversiones y proyectos de Minera Escondida se lleva a cabo a través de gates⁹ de aprobación. El proceso se describe en la figura siguiente:

⁹ Hitos de aprobaciones para avanzar en fases de proyecto.

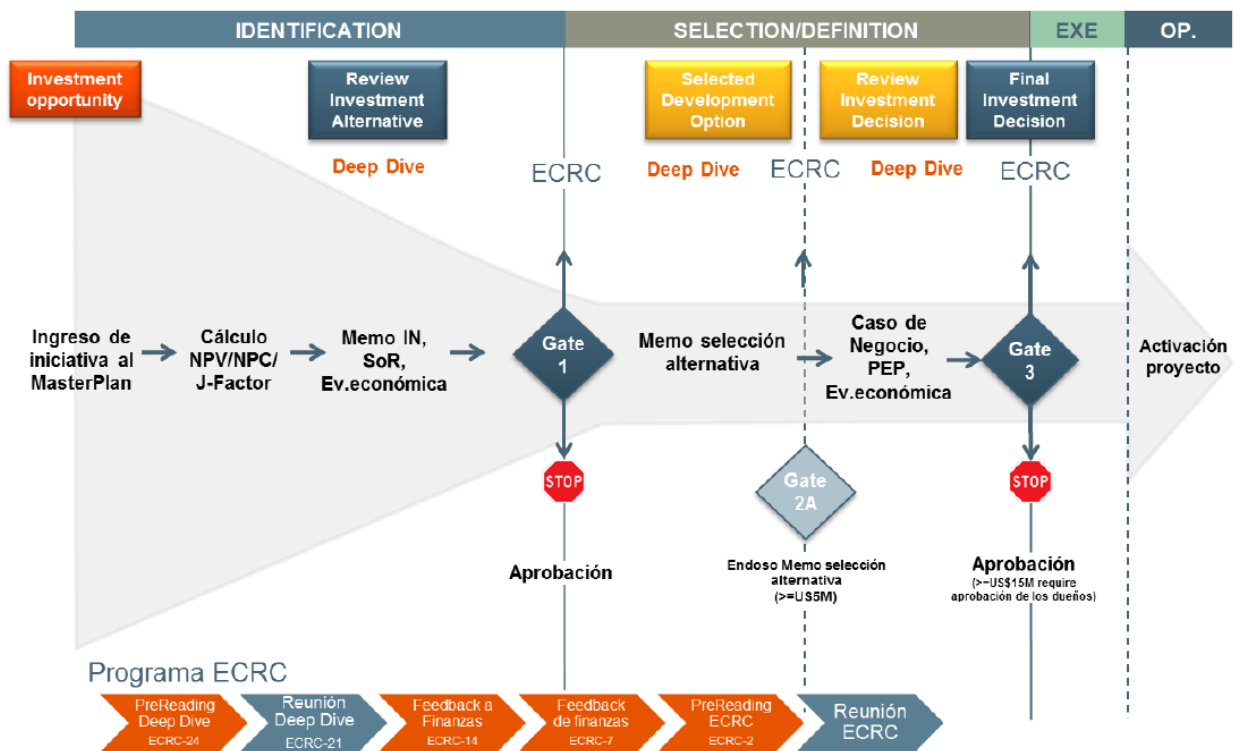


Figura 7. Governance de Proyectos Small (<= a 20 MUSD). Fuente: Internal Standard, Minerals Americas, BHP 2019.

La descripción de las etapas, se muestra en los siguientes acápites.

2.1.2.1 Etapa de Identificación.

El principal objetivo de esta etapa es identificar una oportunidad de negocio que esté alineada con los key value / cost driver de la compañía (KVD/ KCD), riesgos y compromisos definidos en el 5YP (Inversiones para los próximos 5 años fiscales). Esta etapa está diseñada para asegurar el avance de la propuesta de valor para la siguiente etapa, una vez que hayan sido revisados y priorizados las distintas iniciativas que satisfacen la estrategia de Minera Escondida, demostrado que tiene un atractivo económico y un perfil de riesgo que permita un adecuado nivel de administración.

Descripción del proceso:

- Identificar y definir la oportunidad de negocio y propósito.
- Confirmar que el proyecto ha ingresado al portafolio y está alineado a la estrategia de negocio de Minera Escondida.
- Desarrollar el Statement of Requirement (SoR), documento que será la base de los requerimientos que se necesitan para solucionar la problemática/opportunidad identificada.
- Desarrollar una estimación clase 2 para la etapa de Selección/Definición y clase 4 para la etapa de ejecución.
- Preparar el Investment Notification (IN) Memo.
- Enviar a Finanzas para revisión y endoso.
- Presentar en el Escondida Capital Review Committee (ECRC).
- El ECRC podrá nominar un IPR Lite para la revisión de las siguientes etapas.

2.1.2.2 Etapa de Selección / Definición.

El principal objetivo de esta etapa es elegir la mejor alternativa a implementar, la cual debe ser optimizada y desarrollada antes de avanzar a la siguiente etapa. Lo anterior debe considerar los siguientes criterios:

- Definir el objetivo de la inversión y cómo este está alineado con la estrategia de la compañía.
- Garantizar que todas las alternativas fueron identificadas, estudiadas y evaluadas.
- La alternativa seleccionada debe ser viable técnicamente y con sus riesgos evaluados.
- Los riesgos de negocio fueron identificados y planes de mitigación y acción estudiados para cada alternativa.

Descripción del proceso:

- Definir y desarrollar la etapa de Selección de acuerdo al Study Work Plan (SWP) de la fase.
- Llevar a cabo un Opportunity Framing Workshop (OFW) si el tipo de proyecto lo requiere y determinar la alternativa.
- Identificar y utilizar las mejores prácticas y Value Improvements Practices (VIPs) aplicables al proyecto.
- Preparar el Memo de Selección de Alternativas, la selección de la alternativa preferida debe hacerse basada en criterios tanto técnicos como económicos.
- Desarrollar una estimación Clase 2 de costo y plazo de la alternativa seleccionada para la fase de Ejecución. Esta estimación debe incluir un monto y plazo base, un rango inferior (llamado "Stretch") y un rango superior (llamado "Threshold"). Los rangos para los proyectos con monto base menor a USD 10M se establecerán de acuerdo a la clase de la estimación, para proyectos con monto base superior a USD 10M los rangos deben ser probabilísticos y establecidos como resultado de un taller de rangos, los cuales pueden ser facilitados por personal del área de Project Services. Completar el Business Case Approval Request (BCAR).
- Desarrollar el IPR Lite (Revisión independiente si es solicitada por ECRC durante etapa Identificación).
- Enviar a Finanzas para revisión y endoso.
- Presentar en el Escondida Capital Review Committee (ECRC) para obtener la aprobación.

2.1.2.3 Etapa de Ejecución.

El objetivo principal de la fase de ejecución consiste en asegurar que el proyecto alcance los objetivos establecidos en el BCAR y PEP aprobados en la fase de definición tales como los KPI de negocio y proyecto, incluyendo la seguridad, el alcance, costo y cronograma. En esta etapa es necesario, medir el progreso del proyecto, la presentación de informes sobre los progresos y ajustar los planes de proyectos cuando sea necesario para alcanzar los objetivos definidos, los beneficios y resultados del proyecto. Esta etapa termina cuando el proyecto se entregó formalmente a las operaciones y se realiza el reporte de cierre.

Descripción del proceso:

- Ejecutar el proyecto de acuerdo al Plan de Ejecución del Proyecto (PEP) y KPIs.
- Completar todos los requerimientos y entregables de la fase. Crítico para la siguiente Fase (Operación).
- Cumplimiento con lo descrito en el BCAR y PEP.
- Completar el plan de handover con la Operación (Carpeta TOP).
- Desarrollar el Reporte de Cierre del Proyecto

2.1.2.4 Etapa de Operación.

El objetivo principal corresponde a demostrar que la infraestructura e instalaciones generadas, producto del proyecto, (planta, equipos, sistemas) cumplen con los requerimientos de desempeño operacional.

2.1.3 Fase Selección, Definición y Construcción.

2.1.3.1 Levantamiento principales desviaciones de la etapa Selección/Definición, que impactan a la fase de Construcción.

El levantamiento de lecciones aprendidas, es un proceso formal que puede definirse como el conocimiento adquirido sobre un proceso o una o varias experiencias, a través de la reflexión y el análisis crítico sobre sus resultados. Las lecciones aprendidas se enfocan en la hipótesis que vincula causalmente los resultados buscados y aquello que ha funcionado o no ha funcionado para alcanzarlos. Tan importante como documentar las lecciones aprendidas es la manera como se le da valor a este conocimiento, es decir, como aplicamos esta información en el ciclo de vida de un proyecto. Al inicio y término de la fase de Selección y Ejecución, el Project Engineer con apoyo de Lead Delivery recopilan información de lecciones aprendidas en proyectos anteriores que apliquen al nuevo proyecto en curso, apoyándose en sus conocimientos previos y en la Base de datos de lecciones aprendidas existente, filtrando y seleccionando las lecciones que consideren sean de utilidad, para todo el ciclo de vida del proyecto (Ingeniería, construcción, comisionamiento).

De lo presentado en Tabla 1, se observan que los principales beneficios en el uso de metodología BIM se pueden clasificar en los siguientes ítems:

- Base de datos,
- Modelamiento,
- Coordinación,
- Interferencias.

Tabla 3. Consolidado de lecciones aprendidas. VP Projects, Minera Escondida y Pampa Norte. Fuente: Elaboración propia.

	Comisionamiento	Construcción	Contratos/Compras	Ejecución	Estudios	Ingeniería	Operaciones	Project Management Office	Project Services	Salud, Seguridad y Comunidad HSEC	Grand Total
Costo	2	3		8	6	20		2			41
Programa	6	6		7	6	20	18		5	3	72
HSEC, Legal y Regulatorio					1	1	1				4
Minera Escondida	8	9		15	6	28	40	1	7	3	122
Costo				4		2	1				7
Programa				2	1	1	1				5
Pampa Norte				6	1	3	2				12
Grand Total	8	9		21	7	31	42	1	7	3	134

	Base de datos / Modelamiento	Coordinación	Interferencias	Total Fase SPS/DPS
Costo	8	12	23	41
Programa	9	18	34	72
HSEC, Legal y Regulatorio		2	2	7
Escondida	17	32	59	120
Costo	1	2	2	7
Programa	2		2	5
Pampa Norte	3	2	4	12
Grand Total	20	35	64	134

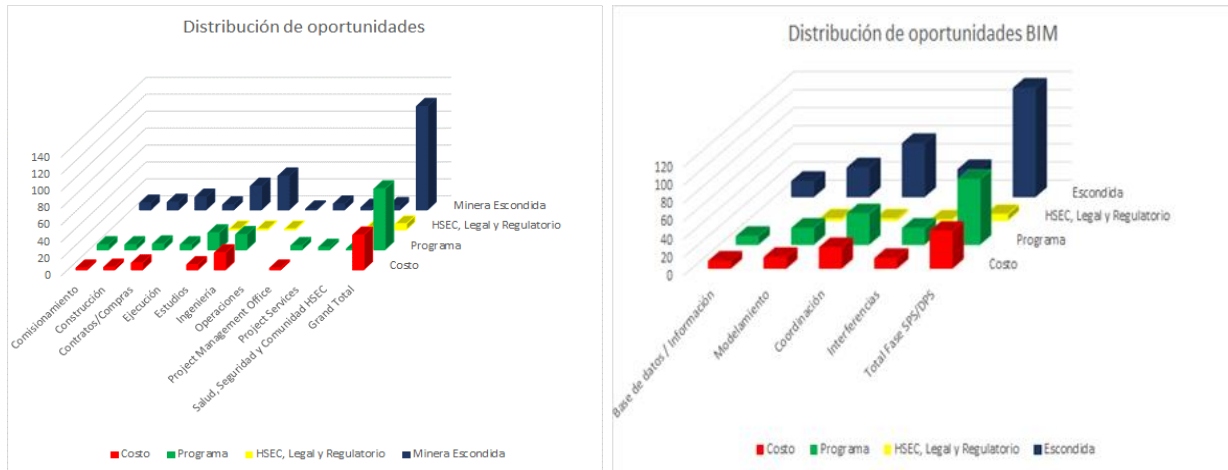


Gráfico 1. Análisis de oportunidades por área. Minera Escondida. Fuente: Elaboración propia.

En el análisis, se hace necesario gestionar la base de datos de modo tal de filtrar aquellos proyectos que se cuente con información robusta que respalde el análisis. Esto es, contar con los motivos de las oportunidades observadas y respaldos que ayude a determinar los impactos, tanto en costo como plazo.

Para ello, se determinó la siguiente metodología, respecto de la información para análisis, además de las LL. AA.:

- Filtrar aquellos proyectos que se tenga la información de costo y plazo determinado en etapa de Selección / Definición (Objetivo).
- Filtrar aquellos proyectos que se tenga la información de costo y plazo determinado en etapa de Ejecución (Real).
- Filtrar aquellos proyectos que se tenga la información de Notas de Potencial Desvío (PDN) en fase de Ejecución.
- Filtrar aquellos proyectos que se tenga la información de requerimiento de información (RFI), en fase de Ejecución.

El resultado, se muestra en las siguientes tablas y gráficos:

Tabla 4. Proyectos seleccionados para análisis. Fuente: Elaboración propia.

Código	Nombre proyecto	CAPEX Budget (\$USD)	Programa Budjet (días)	FASE
Mina-155	Reemplazo Alimentador B10 y B42 (Mine Loop)	13.512.410	504	Ejecución
Conc-165	Nuevo Puente Grúa Molienda CLC	8.453.555	646	Ejecución
NPI-311	Upgrade Casinos VCA y VSL	7.589.265	416	Ejecución
NPI-215	Cambio de diseño de estanques 4 y 5	2.977.485	317	Operación
NPI-153	Standardization fuel tank CLC	14.829.381	370	Operación
NPI-195	Respaldo (n-1) para SVC Sistema Potencia Escondida	10.516.933	444	Operación
Conc-177	SPCI Sala Eléctrica N°4 y N°202 CLC	3.875.080	266	Operación
Conc-166	Reparación Soporte Bombas CLC	11.900.000	244	Operación
NPI-214	Mejorar Puente Grúa Área 440	2.645.190	403	Operación

Tabla 5. Agrupación y clasificación de oportunidades. Fuente: Elaboración propia.

Código	Nombre proyecto	Base de datos	Coordinación	Modelamiento	Interferencias	Impacta en Programa	Impacta en Costo
Mina-155	Reemplazo Alimentador B10 y B42 (Mine Loop)	1	1			1	
Conc-165	Nuevo Puente Grúa Molienda CLC	2	4	3	2		4
NPI-311	Upgrade Casinos VCA y VSL		2	2	2	2	
NPI-215	Cambio de diseño de estanques 4 y 5		1	1		1	
NPI-153	Standardization fuel tank CLC		2	1		1	2
NPI-195	Respaldo (n-1) para SVC Sistema Potencia Escondida		4	3	4	2	1
Conc-177	SPCI Sala Eléctrica N°4 y N°202 CLC	1	1			1	
Conc-166	Reparación Soporte Bombas CLC	2	2	1	1	1	1
NPI-214	Mejorar Puente Grúa Área 440		4	6	6	8	
	Total	6	21	17	15	17	8

Tabla 6. Descripción de impactos en proyectos. Plazos y costos directos. Fuente: Elaboración propia.

Código	Nombre proyecto	CAPEX Actual (\$USD)	Programa Actual (días)	Impacto en Programa (días)	Impacto en Programa (%)	Impacto en Costos (\$USD)	Impacto en Costos (%)	Estimación CAPEX no Impactado (\$USD)	Estimación Programa no Impactado (días)
Mina-155	Reemplazo Alimentador B10 y B42 (Mine Loop)	10.111.090	489	140	29%	\$ 868.437	9%	\$ 9.242.653	349
Conc-165	Nuevo Puente Grúa Molienda CLC	8.729.270	428	34	0%	\$ -	0%	\$ 8.729.270	428
NPI-311	Upgrade Casinos VCA y VSL	7.951.044	489	34	7%	\$ 163.899	2%	\$ 7.787.145	455
NPI-215	Cambio de diseño de estanques 4 y 5	6.361.593	793	15	2%	\$ 36.100	1%	\$ 6.325.493	778
NPI-153	Standardization fuel tank CLC	12.780.707	610	105	17%	\$ 659.987	5%	\$ 12.120.719	505
NPI-195	Respaldo (n-1) para SVC Sistema Potencia Escondida	10.149.193	702	120	17%	\$ 520.471	5%	\$ 9.628.721	582
Conc-177	SPCI Sala Eléctrica N°4 y N°202 CLC	2.028.518	246	45	18%	\$ 111.321	5%	\$ 1.917.197	201
Conc-166	Reparación Soporte Bombas CLC	13.726.274	427	55	13%	\$ 530.406	4%	\$ 13.195.868	372
NPI-214	Mejorar Puente Grúa Área 440	2.549.420	550	105	19%	\$ 146.012	6%	\$ 2.403.408	445

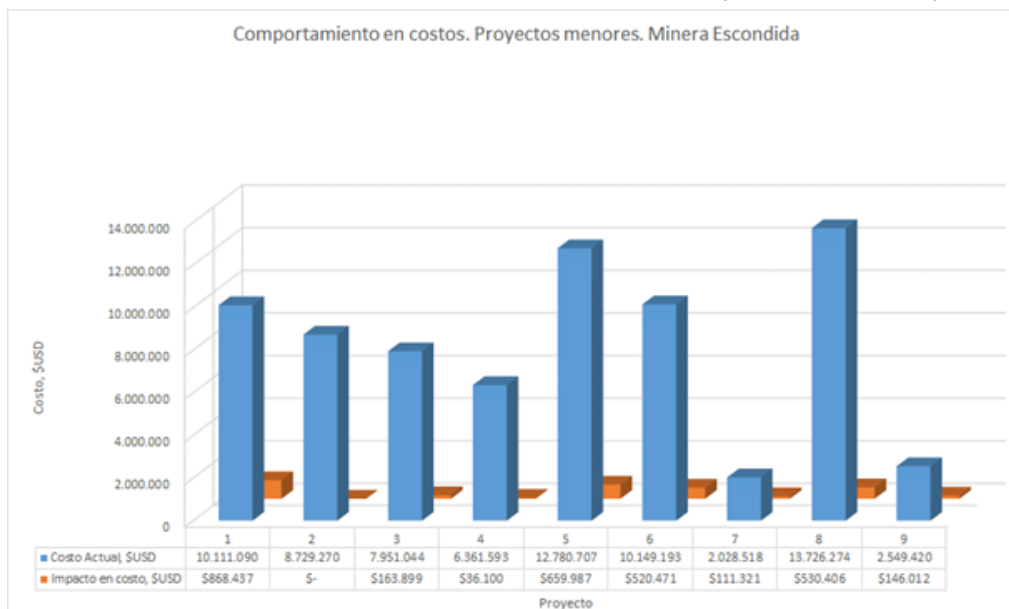
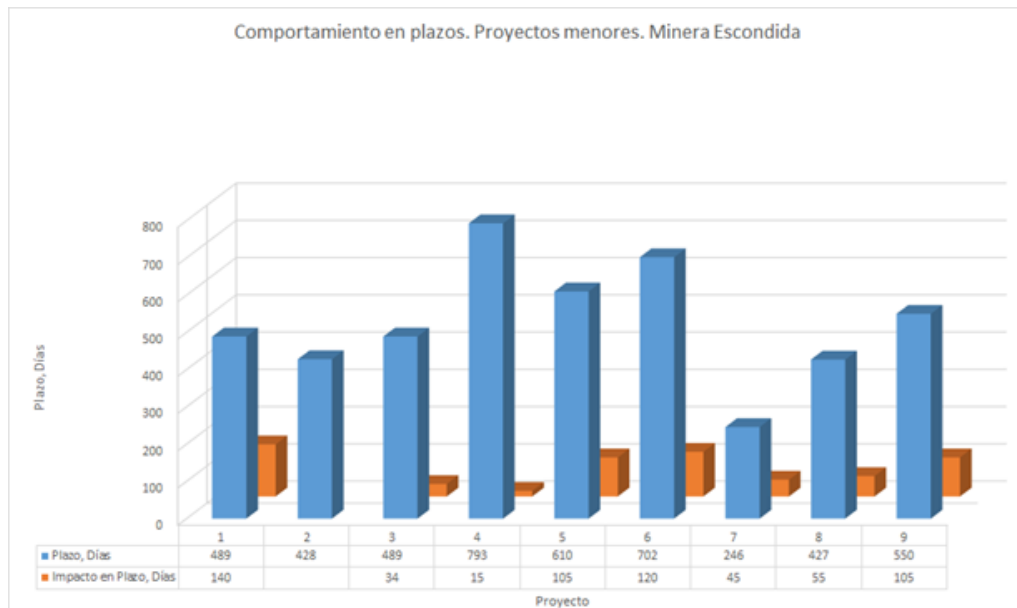


Gráfico 2. Impactos en costos directos respecto de lo estimado en etapa de estudio. Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico 3. Impactos en plazos respecto de lo estimado en etapa de estudio.
Fuente: Elaboración propia.**

2.1.3.2 Análisis de capacidades de las empresas colaboradoras.

2.1.3.2.1 Características del servicio

La modalidad del contrato corresponde a “*Suma Alzada*” por servicios de ingeniería que incluye todas las especialidades.

Las actividades consideradas se describen a continuación:

- a) Servicio de Ingenierías para la fase de Identificación de proyectos (IPS) y servicio de Ingeniería para proyectos operacionales de las áreas (OPEX) para la Gerencia de Ingeniería Integrada, asociada a proyectos operativos en Minera Escondida Ltda.
- b) Servicio de Ingeniería para la fase Selección / Definición combinada (SPS/DPS) y servicio de Ingeniería residente para la fase ejecución de proyecto para la cartera de proyectos de capital que lidera la Head of Project de Minera Escondida Ltda.

Las actividades de ingeniería cubren los documentos y estudios que sean necesarios para el desarrollo integral de c/u de los proyectos.

Se efectúan los estudios, análisis, cálculos y diseños para optimizar la alternativa seleccionada en la fase de identificación. El estudio considera la infraestructura existente y nueva, y toda otra obra necesaria para una correcta, segura operación de las instalaciones del proyecto. En caso de ser necesario, el consultor actualiza la información, modifica o adapta diseños existentes, y diseña nuevas instalaciones e infraestructura que se requieran para la implementación de la solución optimizada.

Las actividades a desarrollar por el consultor durante la fase SPS/DPS incluyen:

- Elaborar las Bases de Diseño (BoD) y los criterios de diseños para c/u de los proyectos a ser estudiados.
- Desarrollar la Ingeniería de Detalle y los entregables asociados. Esto incluye las disciplinas; Ingeniería Civil y Estructural, Ingeniería Mecánica y Piping, Ingeniería Eléctrica, Instrumentación, Control DCS, Metalurgia, procesos e Ingeniería hidráulica.
- Desarrollar los estudios de optimización para el diseño necesarios para el desarrollo de la Ingeniería de Detalle. El nivel de detalle de la información de estos estudios será clave para desarrollar un diseño optimizado para el Proyecto.
- Optimizar y finalizar los diseños con la información topográfica actualizada.
- Optimizar y finalizar el diseño detallando la ubicación de los equipos, de las instalaciones y la infraestructura requerida.
- Describir, documentar, resolver interferencias existentes y saneamiento/repificaciones requeridas.
- Definir el uso potencial de la infraestructura existente en el sitio para el Proyecto durante la ejecución/operación.
- Cumplir con el proceso de la Compañía para aplicarla iniciativa “Sustainability in Design” (SiD) en el proceso de diseño y producir registros auditables para identificar y eliminar/mitigar riesgos peligrosos a través del diseño. Preparar el procedimiento SiD en el cual se explique cómo se tratará este tema en el desarrollo del estudio.
- Presentar los diseños en los formatos necesarios para apoyar la tramitación de permisos, si aplica.
- Preparar la documentación necesaria para la cotización presupuestaria de equipos y materiales.
- Se solicitará revisar la vida útil de la solución y documentarlo con recomendaciones de uso de la piscina y detección de fugas.
- Se debe ajustar al alcance y propósito del proyecto a través de metodología que se enfoque a optimizar los requerimientos técnicos, evitando sobredimensionamiento. Optimizando el Layout, Estandarizando los diseños en modelos conocidos y probados, diseñando con un enfoque en la constructibilidad y utilizando la modularización de equipos y componentes analizando los procesos constructivos, con el objetivo principal de optimizar el CAPEX del proyecto. Cumplir con la últimas normativas nacionales e internacionales para el diseño.
- Cumplir con los estándares de seguridad y estándares para las instalaciones en Escondida.
- Se deberá recoger/analizar la experiencia de los usuarios (operación y mantenimiento), así como también del equipo de construcción para los diseños Diseños que aprovechen capacidades disponibles de instalaciones existentes.

- Evitar diseños sobreestimados, buscando siempre la optimización de los recursos.

Se deberá considerar los siguientes talleres durante el desarrollo de las Ingenierías donde el contratista deberá preparar documentación y facilitar los talleres; Lecciones Aprendidas, Análisis de Riesgos, SiD, Interferencia y tie-in, Hazop, Constructibilidad, Operabilidad y Mantenimiento, Comisionamiento y Calidad, talleres de rango Capex y Schedule.

Para las actividades de levantamiento en terreno requerido durante el desarrollo de cada Ingeniería, la empresa consultora debiera disponer de recursos para realizar levantamientos a través de nube de puntos y modelo 3D que permita visualizar fácilmente la trazabilidad de los distintos aspectos de las instalaciones existentes, identificando potenciales problemas a través de análisis de datos agregando valor a las actividades en terreno.

- Se debe garantizar un diseño que considera las condiciones de entorno, proceso e interferencias, como línea base para el diseño. Dado que los planos que se entregan no siempre suelen ser reflejo de las instalaciones existentes (Proyectos Brown-Field).
- Debe incluir todas las disciplinas que intervienen en el proyecto.
- Deben Identificar posibles interferencias con las instalaciones existentes y con la operación.
- Se debe verificar el equipamiento/ instrumentación e Identificar posibles sinergias con las instalaciones existentes.

Dada la contingencia sanitaria, se considera en la actualidad un recurso adicional para los levantamientos en terreno elementos reales y virtuales de un entorno a través de cámaras digitales portátil que permita la comunicación bidireccional con múltiples usuarios remotos a través de video, voz y la realidad mixta para levantamientos, considerando las restricciones de ingreso a la mina de personal contratista por la contingencia Covid-19.

2.1.3.2 Empresas habilitadas en contrato marco

Luego de un proceso competitivo, las empresas de ingeniería habilitadas e incluidas en el contrato marco, se sub-dividen en ingenierías mayores (de complejidad alta) e ingenierías menores (complejidad media a baja). A continuación, se describen las empresas adjudicadas:



Figura 8. Empresas de ingeniería que conforman el contrato marco de ingeniería.
Fuente: Elaboración propia.

En Anexo C, se describen en forma ejecutiva, los organigramas de las distintas empresas de ingeniería que forman parte del contrato marco.

2.1.3.2.3 Capacidades de implementación de metodología BIM

Realizando revisión de las capacidades de las empresas de ingeniería y según información proporcionadas por las áreas técnicas de dichas empresas, con ocasión de entrevistas realizadas por el suscrito, se puede observar lo siguiente:



Figura 9. Capacidades de empresas de ingeniería declaradas en adopción de metodología BIM. Fuente: Elaboración propia.

Para realizar un análisis más profundo respecto de las capacidades de implementación BIM en las empresas de ingeniería habilitadas para realizar dichos servicios en Minera Escondida, se toma como referencia indicadores relevantes separados en: **Proceso**, **Infraestructura** e **Impacto**.

- Indicadores de proceso:** Son aquellos en que se hace referencia a los procesos de las empresas para desarrollar o coordinar los proyectos, por lo que resulta ser de gran relevancia aislar los procesos donde realmente se puede utilizar BIM, debido a que en muchas ocasiones no es posible usarlo o el mandante no lo requiere.
- Indicadores de infraestructura:** Son aquellos relacionados a la inversión en la que ha incurrido la empresa para desarrollar metodologías BIM, por lo que se sugiere considerar algún indicador que mida capacitaciones, y desarrollo de procedimientos y estándares, debido a que en la mayoría de los casos la inversión es muy incidente en estos ámbitos.
- Indicadores de impacto:** Son aquellos que buscan identificar alguna relación entre la forma en cómo se está usando BIM y los resultados obtenidos. Un desglose de los indicadores, se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Indicadores de proceso en el nivel de uso de metodología BIM. Fuente: Eliash, 2015.

Categoría	N°	Indicador	Qué mide	Cómo se mide	Rango de valores	Pregunta
Proceso	1	Modelos compartidos de los proyectos.	Mide el grado de adopción de la práctica de compartir modelos BIM con otros actores.	Según el porcentaje de proyectos en los que una oficina de diseño comparte los modelos BIM al menos con un actor más.	< 10% > 10% y <30% > 30% y <50% > 50% y <80% > 80%	En el proceso de diseño ¿cuál es el porcentaje de proyectos en los que su empresa comparte los modelos con otros actores?
Proceso	2	Primer momento de uso de BIM	Mide la primera etapa del proceso de diseño en que la empresa usa BIM para el desarrollo de sus proyectos.	Según la primera etapa en el desarrollo del proyecto en el que se usa BIM	Diseño conceptual Ante proyecto Proyecto Documentación: planimetría y EE. TT.	En el proceso de diseño ¿cuál es la primera etapa en la que usa metodologías BIM?
Proceso	3	Grado de adopción de BIM en la empresa - procesos	Mide cuán masificado está el uso de BIM entre el personal técnico de la empresa.	Según el porcentaje de procesos en los cuales se utiliza BIM.	Diseño conceptual Ante proyecto Proyecto Documentación: planimetría y EE. TT.	¿En cuál de las siguientes etapas del proceso de diseño usted utiliza BIM? Marque todas las alternativas que corresponda.
Proceso	4	Grado de adopción de BIM en la empresa - personas	Mide cuán masificado está el uso de BIM entre el personal técnico (no considera personal administrativo).	Según el porcentaje de personas que utilizan BIM para realizar su trabajo.	< 10% > 10% y <30% > 30% y <50% > 50% y <80% > 80%	¿Qué porcentaje de personas de su empresa utilizan metodologías BIM para realizar su trabajo?
Proceso	5	Personas en la organización con conocimientos BIM	Mide la cantidad de capital intelectual de la organización respecto a la metodología BIM.	Según el porcentaje de personas dentro de la organización que tengan conocimientos BIM	< 10% > 10% y <30% > 30% y <50% > 50% y <80% > 80%	¿qué porcentaje de las personas de su empresa tienen conocimientos en el uso de metodologías BIM?
Proceso	6	Grado de adopción de BIM en la empresa - tiempo.	Mide cuán masificado está el uso de BIM en términos de las horas de trabajo.	Según el porcentaje de HH usada en procesos BIM en relación a la totalidad de las horas hombre de procesos productivos (HH procesos BIM / HH totales)	< 10% > 10% y <30% > 30% y <50% > 50% y <80% > 80%	¿Cuál es el porcentaje de horas hombre usadas en procesos BIM en relación a la totalidad de las horas hombre de procesos productivos de su empresa?
Proceso	7	Estandarización del proceso de diseño usando metodología BIM	Mide el nivel de definición de los procesos.	Según el nivel de estandarización de los procesos mediante protocolos u otro tipos de documentos similares.	Alto: El proceso de diseño está documentados en un protocolo u otro documento que garantice la estandarización. Medio: Los documentos están en desarrollo o son usados ocasionalmente o hay algunos procesos estandarizados. Bajo: No existe un procedimiento documentado para realizar los diseños.	¿Cuál es nivel promedio de estandarización de los procesos de su empresa?
Proceso	8	Estandarización de herramientas de análisis y modelación.	Mide el grado de estandarización de los procedimientos técnicos de trabajo.	Según el nivel de estandarización que existe dentro de la empresa en relación al uso de instrumentos que apoyan el uso de las herramientas BIM (librerías)	Alto: para los procesos de diseño la empresa cuenta con una o más herramientas BIM. Medio: Las herramientas se encuentran en desarrollo o se ocupan en algunos procesos. Bajo: No existe herramientas.	¿Cuál es el nivel de estandarización que existe dentro de la empresa en cuanto a la utilización de instrumentos que apoyan el uso de las herramientas BIM? (librerías de objetos, plugins, layers, templates, filtros.
Proceso	9	Integración de BIM en la estrategia de la empresa	Mide el nivel de compromiso de la empresa con la utilización de metodologías BIM	Según una estimación del uso de BIM para lograr los objetivos estratégicos de la empresa.	Alto: BIM es fundamental para lograr los objetivos estratégicos de la empresa. Medio: BIM tiene un rol importante pero se pueden usar otras metodologías. Bajo: Se usa BIM para aprovechar ventajas coyunturales, porque lo usa la competencia pero sin una relación con los objetivos.	¿Cuál es el nivel promedio de compromisos de la organización con la utilización de metodologías BIM?
Proceso	10	Tipo de software - concepto.	Mide las herramientas utilizadas para generar los modelos BIM	Según el tipo de herramienta que está utilizando para cada etapa del proceso de diseño (diseño conceptual, anteproyecto, proyecto, generación de documentación).	CAD: Principalmente modela geometría. Paramétrica: Enfatiza el uso de parámetros para explorar formas (Grasshoper, Digital Project). BIM: La geometría está empaquetada en objetos como vigas, columnas y otros, que tienen información y parámetros que permiten darle inteligencia (Revit, Archicad, Tekla, Bentley)	En la etapa de diseño conceptual ¿qué herramienta es la que mayormente está utilizando?

(Continuación Tabla 7).

Proceso	11	Tipo de software - anteproyecto.	Mide las herramientas utilizadas para generar los modelos BIM	Según el tipo de herramienta (CAD, paramétrica, BIM, análisis) que está utilizando para cada etapa del proceso de diseño (diseño conceptual, anteproyecto, proyecto, generación de documentación).	CAD: Principalmente modela geometría. Paramétrica: Enfatiza el uso de parámetros para explorar formas (Grasshoper, Digital Project). BIM: La geometría está empaquetada en objetos como vigas, columnas y otros, que tienen información y parámetros que permiten darle inteligencia (Revit, Archicad, Tekla, Bentley)	En la etapa de anteproyecto ¿qué herramienta es la que mayormente está utilizando?
Proceso	12	Tipo de software - proyecto.	Mide las herramientas utilizadas para generar los modelos BIM	Según el tipo de herramienta (CAD, paramétrica, BIM, análisis) que está utilizando para cada etapa del proceso de diseño (diseño conceptual, anteproyecto, proyecto, generación de documentación).	CAD: Principalmente modela geometría. Paramétrica: Enfatiza el uso de parámetros para explorar formas (Grasshoper, Digital Project). BIM: La geometría está empaquetada en objetos como vigas, columnas y otros, que tienen información y parámetros que permiten darle inteligencia (Revit, Archicad, Tekla, Bentley)	En la etapa de proyecto ¿qué herramienta es la que mayormente está utilizando?
Proceso	13	Tipo de software - documentación.	Mide las herramientas utilizadas para generar los modelos BIM	Según el tipo de herramienta (CAD, paramétrica, BIM, análisis) que está utilizando para cada etapa del proceso de diseño (diseño conceptual, anteproyecto, proyecto, generación de documentación).	CAD: Principalmente modela geometría. Paramétrica: Enfatiza el uso de parámetros para explorar formas (Grasshoper, Digital Project). BIM: La geometría está empaquetada en objetos como vigas, columnas y otros, que tienen información y parámetros que permiten darle inteligencia (Revit, Archicad, Tekla, Bentley)	En la etapa de generación de documentación ¿qué herramienta es la que mayormente está utilizando?
Proceso	14	Interoperabilidad del modelo BIM.	Mide cómo se enfrenta la interoperabilidad de los modelos con otros actores	Según el tipo de archivo con el cual se comparten los modelos BIM.	Formato nativo IFC Modelo centralizado (plataforma colaborativa). Otro.	¿Con qué tipo de archivo se comparten los modelos BIM?
Proceso	15	Roles para la gestión de BIM	Mide el grado de formalización de los métodos de trabajo.	Según el grado de definición de los roles que se observa en el equipo de trabajo.	Alto: Existe claridad de los roles dentro del equipo de trabajo. Medio: Los roles pueden ser compartidos. Bajo: No existe una definición de roles.	¿Cuál es el nivel de definición de los roles en el equipo de trabajo BIM?
Proceso	16	Grado de adopción proyectos	Mide cuán masificado está el uso de BIM en la empresa.	Según el porcentaje anual de proyectos en los cuales se ha utilizado BIM.	< 10% > 10% y <30% > 30% y <50% > 50% y <80% > 80% Mediamente negativo Altamente negativo	¿Cuál es el porcentaje anual de proyectos de la empresa en los que se ha utilizado BIM?
Proceso	17	Participantes de proceso de coordinación.	Mide (identifica) los actores que participan en la coordinación de especialidades con BIM.	Según una identificación de los actores relevantes dentro del desarrollo de un proyecto que participan en la coordinación de proyectos.	Mandante Especialistas proyectistas. ITO Coordinador de proyectos. Consultor externo. Arquitecto. Constructor.	¿Quién o quiénes son los actores que participan en el proceso de coordinación de especialidades con BIM?
Proceso	18	Utilización de modelos centralizados.	Mide el nivel de uso del enfoque centralizado v/s distribuido.	Según el porcentaje de proyectos que utiliza un modelo central el cual es compartido entre los distintos actores.	< 10% > 10% y <30% > 30% y <50% > 50% y <80% > 80%	¿Cuál es el porcentaje de proyecto en lo que su empresa utiliza un modelo central el cual es compartido entre los distintos actores?
Proceso	19	Utilización de BIM en el diseño / coordinación	Mide la forma en que se utilizó la metodología BIM en el proyecto.	Según como se enfrentó o se requirió el mandante se desarrolle el proyecto.	Todo el diseño y especialidades con BIM Todo en 2D y luego modelado para BIM. Sólo arquitectura / Cálculo con BIM. Sólo especialidades con BIM Sin BIM. Otras alternativas.	Generalmente ¿cómo requieren los mandantes el desarrollo de sus proyectos?

Tabla 8. Indicadores de infraestructura en el nivel de uso de metodología BIM. Fuente: Eliash, 2015.

Categoría	N°	Indicador	Qué mide	Cómo se mide	Rango de valores	Pregunta
Infraestructura	20	Grado de competencia BIM	Mide la calidad del capital intelectual de la organización	Según una estimación del nivel promedio de conocimientos BIM del personal que usa esta metodología.	Alto Medio-alto Medio Medio-bajo Bajo	¿Cuál es su estimación del nivel promedio de conocimientos BIM del personal de su empresa que usa esta metodología?
Infraestructura	21	Infraestructura BIM en capital humano.	Mide la capacidad de la empresa en términos de su capital humano para realizar los procesos BIM.	Según una estimación de la conformidad del capital humano con respecto a los procesos que deben realizar.	Alto: Considera que la cantidad y competencia de las personas es consistente con las necesidades de los procesos BIM que realiza la empresa. Medio: Considera que la cantidad y competencia de la persona es medianamente consistente con las necesidades de los procesos BIM que realiza la empresa. Bajo: Considera que la cantidad y competencia de las personas no es consistente con las necesidades de los procesos BIM que realiza la empresa.	¿Cuál es el nivel promedio de la capacidad del capital humano de su empresa para realizar los procesos BIM?
Infraestructura	22	Pertinencia de software de diseño.	Mide cuán apropiados son los softwares usados en relación a los procesos.	Según una estimación de cuán adecuadas son las herramientas utilizadas para cada proceso de diseño (diseño conceptual, anteproyecto, proyecto, generación de documentación).	Muy adecuado Adecuado Poco adecuado No adecuado	¿Cuán adecuados son los softwares usados en su empresa en relación al proceso de diseño?
Infraestructura	23	Inversión requerida para la implementación de BIM-Infraestructura.	Mide la inversión en que ha incurrido la empresa para implementar de manera óptima toda la infraestructura requerida para el desarrollo de modelos BIM.	Según un monto estimado por funcionario de la inversión.	> \$USD 3 MM y < \$USD 5 MM > \$USD 5 MM y < \$USD 8 MM > \$USD 8 MM	¿Cuál es la inversión en que ha incurrido la empresa para implementar la infraestructura requerida para el desarrollo de modelos BIM?
Infraestructura	24	Inversión requerida para la implementación de BIM -Capital humano.	Mide la inversión en que ha incurrido la empresa para capacitar el capital humano para el desarrollo de modelos BIM (capacitaciones y desarrollo de procedimientos y estándares).	Según un monto estimado por funcionario de la inversión.	> \$USD 250 M y < \$USD 500 M. > \$USD 500 M y < \$USD 1 MM. > \$USD 1 MM y < \$USD 3 MM. > \$USD 3 MM y < \$USD 5 MM. > \$USD 5 MM.	¿Cuál es la inversión en que ha incurrido la empresa para capacitar al capital humano en el aprendizaje de uso de metodologías BIM?
Infraestructura	25	Infraestructura BIM.	Mide la capacidad de la empresa en términos de su infraestructura para utilizar procesos BIM.	Según una estimación de la consistencia de los niveles de infraestructura (hardware y software) con respecto a los usos BIM.	Alto: Se encuentra conforma con la infraestructura con que cuenta. Medio: Cuenta con la infraestructura, pero requiere de mejoras. Bajo: No cuenta con la infraestructura necesaria para utilizar procesos BIM.	¿Cuál es el nivel promedio de la capacidad del capital humano de su empresa para realizar los procesos BIM?
Infraestructura	26	Pertinencia de software de coordinación de especialidades.	Mide cuán apropiados son los softwares usados en relación a los procesos.	Según una estimación de cuán adecuadas son las herramientas utilizadas en la coordinación de especialidades.	Muy adecuado Adecuado Poco adecuado No adecuado	¿Cuán adecuados son los softwares usados en su empresa para la coordinación de especialidades?

Tabla 9. Indicadores de impacto en el nivel de uso de metodología BIM. Fuente: Eliash, 2015.

Categoría	N°	Indicador	Qué mide	Cómo se mide	Rango de valores	Pregunta
Impacto	27	Percepción interna de beneficios del uso de BIM	Mide la percepción interna que tienen los usuarios de BIM sobre los beneficios que le otorga la metodología a la empresa.	Según una percepción cualitativa respecto a las ventajas competitivas que otorga BIM	Alto: Considera que el uso de BIM le otorga grandes ventajas competitivas. Medio: Considera que el uso de BIM le otorga ventajas competitivas, pero se pueden usar otras metodologías. Bajo: Considera que el uso de BIM no le otorga ventajas competitivas.	¿En qué medida considera que BIM le otorga ventajas competitivas a su empresa?
Impacto	28	Productividad por uso de BIM	Mide el impacto en la productividad de los procesos de la empresa al usar BIM.	Según una estimación del impacto en la productividad al usar BIM.	Altamente positivo. Medianamente positivo. Ni positivo ni negativo. Medianamente negativo. Altamente negativo.	¿Cuál ha sido el impacto en su empresa al utilizar BIM?

Los resultados de análisis de capacidad en proceso, infraestructura e impacto para cada empresa de ingeniería, se muestran en Anexo D.

Análisis de resultados: En base a los resultados obtenidos respecto del nivel de utilización de metodología BIM en empresas de contrato marco en Minera Escondida, (Ver Tabla 10) en los indicadores: Proceso, Infraestructura e Impacto, se observa que efectivamente 3 de 5 empresas consultoras se encuentran en un nivel medio a alto en dicha implementación. Cabe recalcar que, la evaluación fue realizada por entrevistas a las áreas técnicas de las empresas de ingeniería, desarrollada por el suscrito.

Tabla 10. Nivel de implementación metodología BIM. Empresas consultoras contrato marco. Fuente: Elaboración propia.

Ítem evaluado	Nivel de avance				
	Hatch	Worley	Pares & Alvarez	keypro	Promec
Procesos	58,02%	58,02%	58,02%	37,04%	33,33%
Infraestructura	100,00%	100,00%	100,00%	62,50%	62,50%
Impacto	100,00%	100,00%	100,00%	62,50%	62,50%
Ponderación	86,01%	86,01%	86,01%	54,01%	52,78%
	Nivel Alto de Implementación	Nivel Alto de Implementación	Nivel Alto de Implementación	Nivel medio de implementación	Nivel medio de implementación

2.1.3.3 Benchmark de desviaciones en la industria de desarrollo de proyectos.

En un trabajo realizado por Matrix Consulting¹⁰ para la Cámara Chilena de la Construcción, en colaboración con actores de la industria y la Comisión Nacional de Productividad, se busca generar propuestas para impulsar la productividad del sector a estándares mundiales, fundamentadas en un análisis y benchmark internacional, que reúne la información de 100 obras en Chile y 40 en el extranjero, y más de 400 entrevistas y talleres, realizados entre octubre de 2019 y septiembre de 2020. Para efectos de dicho estudio los países considerados como referentes son: Alemania, Australia, Canadá, Estados Unidos, Japón, Nueva Zelanda, Reino Unido, Singapur y Suecia. Estos países fueron seleccionados según sus indicadores de productividad, marco regulatorio, y su desempeño en indicadores específicos relacionados a adopción tecnológica, capital humano, y sostenibilidad, entre otros.

Al comparar la productividad de la construcción local, esta alcanza a un tercio del promedio de los países OCDE. El benchmark realizado en este estudio confirma este diagnóstico macro a nivel de obras individuales, donde los referentes internacionales logran una productividad promedio de un 53% y un 220% mayor para edificaciones en altura y obras viales, respectivamente. Además, dentro de la muestra nacional, se observa una alta dispersión en la productividad, lo que evidencia oportunidades dentro del sistema local que se están desperdiciando.

Estas problemáticas encuentran su raíz en múltiples causas: excelencia a lo largo de la cadena de valor (diseño, planificación y ejecución); adopción y desarrollo de metodologías y tecnologías constructivas; disponibilidad de capital humano capacitado; una regulación eficiente y la existencia de prácticas de sostenibilidad. En la Figura 10, se muestra el diagnóstico de la industria, desde las distintas dimensiones claves.

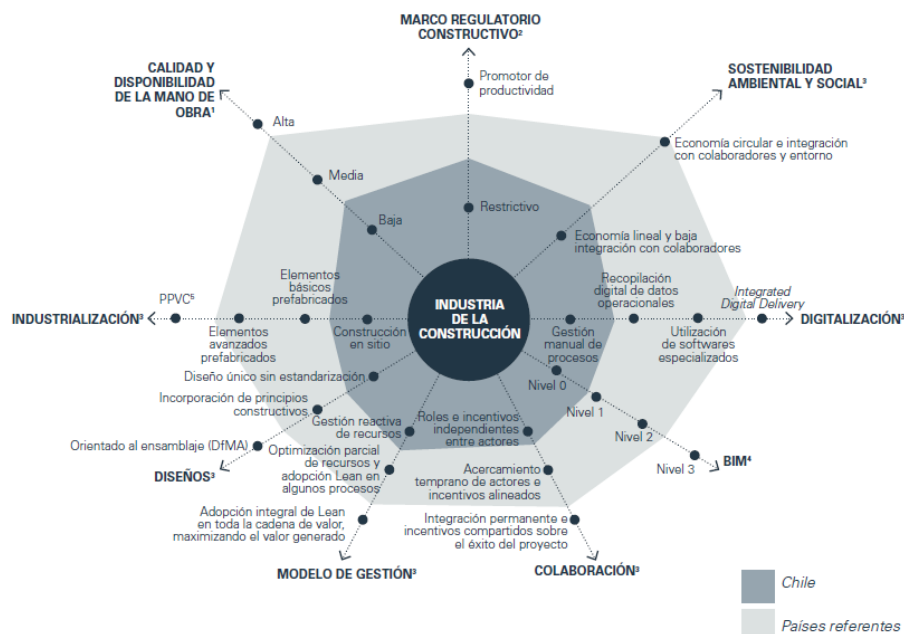


Figura 10. Dimensiones clave y diagnóstico de la industria. Fuente: Análisis Matrix Consulting, 2020.

¹⁰ Matrix Consulting, Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales, 2020.

2.1.4 Estado del arte. Utilización metodología BIM.

2.1.4.1 Metodología BIM¹¹.

BIM es un acrónimo usado para dos conceptos:

- BIM (Building Information Model) es la representación digital paramétrica del producto de construcción (losas, muros, pilares, equipamiento, puertas, ventanas, etc.) que incluye su geometría e información.
- BIM (Building Information Modeling) es una metodología/proceso para desarrollar y utilizar modelos BIM para apoyar decisiones de diseño, construcción y operación durante todo el ciclo de vida de un proyecto, lo que implica una integración y gestión de información provista y usada por diferentes actores del proyecto.

No obstante, la coexistencia de estos dos conceptos, es importante aclarar que en la práctica no deben desarrollarse de forma independiente, sino que el concepto “Building Information Model” entendido como “Modelo” se encuentra implícito en el concepto de “Building Information Modeling” entendido como “Metodología”. Es decir, la generación del modelo implica desarrollarlo bajo una metodología y procesos formalmente establecidos.

2.1.4.2 Levantamiento potenciales herramientas.

a) Usos Metodología BIM.

Los usos BIM se han categorizado en objetivos primarios:

- Levantar o recoger información existente.
- Generar o producir información.
- Analizar o validar el activo.
- Realizar – validar.

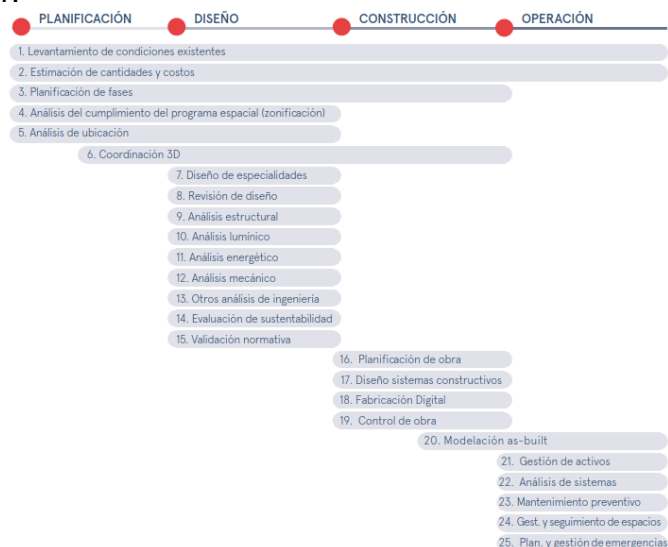


Figura 11. Usos BIM organizadas en las fases de un proyecto. Fuente: Estándar BIM para Proyectos Públicos, 2019.

¹¹ CDT, 2015.

La Tabla 11 presenta otros autores y consolida los factores identificados en la literatura que son relevantes al momento de llevar a cabo la adopción de BIM. Estos factores van desde un foco estratégico, donde se ve a la empresa con una visión global, hasta una visión más operacional de la implementación.

Tabla 11. Factores claves en la implementación BIM. Fuente: Valle, 2014.

	(Flood et al. 2003)	(Migilinskas et al. 2013)	(Homayouni et al. 2010)	(Nawari 2011)	(Rowlinson et al. 2010)	(Gu and London 2010)	(Arayici et al. 2011)	(Hartmann et al. 2012)	(Homayouni et al. 2010)	(Slevin and Pinto 1987)
1. Existencia de una guía con toda la información necesaria sobre la implementación de BIM.		■						■		
2. Existencia de un enfoque de colaboración entre los distintos participantes de la empresa que utilizarán BIM para el desarrollo de proyectos.		■	■				■			
3. Apoyo a la implementación tanto de los cargos gerenciales como de los cargos operacionales.		■					■	■		
4. Claridad de cómo se realizará el intercambio de información luego de implementar BIM.				■						
5. Capacidad de la empresa para modificar los procesos de trabajo existentes hoy en día, para que se adecuen a la metodología BIM.		■			■	■	■			
6. Capacitación de los equipos de trabajo en base a los conceptos BIM.	■	■				■	■			
7. Claridad de las responsabilidades y roles de cada uno de los actores.						■	■			
8. Existencia de un área técnica que entregue las herramientas para apoyar la implementación.								■		
9. Existencia de un equipo estratégico que guíe la implementación.									■	
10. Comunicación de los cambios que se desean realizar para el conocimiento de todos los involucrados.										■
11. Existencia de objetivos claros para la implementación.										■
12. Existencia de un programa detallado con las actividades y pasos individuales con las que se llevará a cabo la implementación.										■

b) Plataformas disponibles en el mercado.

A continuación, se describen las plataformas disponibles en el mercado:

Modelamiento BIM.

- ArchiCAD (Graphisoft)

ArchiCAD permite trabajar con "smart objects" y ha sido uno de los pioneros en BIM, diseñado para generar, no sólo dibujos en 2D sino modelos virtuales completos con toda una base de datos con información constructiva. Cuenta con una gran biblioteca de objetos prediseñados como paredes, techos, puertas, ventanas y muebles.

- REVIT (Autodesk)

También uno de los más asentados en el mercado. Permite al usuario modelar con objetos paramétricos prediseñados. Su uso en BIM está consolidado y dispone de las herramientas necesarias para el modelado de diseños arquitectónicos, ingeniería y construcción de edificios.

- Allplan (Memetschek)

El software BIM más utilizado en Alemania. Buen software para pasar del 2D al 3D, una herramienta CAD orientada a BIM como dice su eslogan. Permite renderizar imágenes de alta calidad con su plugin incorporado "CineRender". Con prestaciones parecidas a ArchiCAD y REVIT pero con menor uso entre los usuarios.

- Aecosim (Bentley Systems)

Es sucesor de Microstation (CAD) enfocado a BIM, que sería algo así como la sucesión de AutoCAD con REVIT. Se utiliza bastante en obra civil, y está orientado a la fase completa del edificio más que a la fase de diseño.

- Vectorworks (Nemetschek)

Programa económico para arquitectura en dos y tres dimensiones, que incluye varios módulos como Fundamentals, Architect, Landmark y Designer, enfocado a diseño para la industria de construcción, entretenimiento, paisajismo y mecánica industrial.

- Edificius (ACCA Software)

De fácil manejo, es otro de los modeladores BIM del mercado, aunque poco conocido. Es un software que integra BIM con render en tiempo real para visualizar el proyecto a la vez que se modela.

Visores BIM.

- BIM Collab Zoom

Es visor BIM gratuito y compatible con diferentes softwares, que dispone de los flujos de trabajo BCF. Es muy rápido para abrir cualquier IFC y puede ayudar al usuario a encontrar y visualizar fallos de información, ya que puede filtrar y colorear objetos.

- BIMx (Graphisoft)

Es uno de los mejores visores del mercado, tanto en versión móvil como en versión escritorio. Con la tecnología Hyper-Modelo, ofrece una navegación fluida dentro del proyecto de en 2D y 3D. Compatibilidad total con ArchiCAD.

- Solibri Model Viewer

Solibri Model Viewer es un software que permite abrir y visualizar todos los archivos IFC y también editados con Solibri Model Checker. Esta herramienta, cuya función principal es compartir información para ahorrar tiempo, dinero y recursos, es de fácil uso y acerca todas las ventajas del BIM a todos aquellos profesionales que deseen operar con él.

- A360 (Autodesk)

Se trata de un visor online, con tecnología rica en detalles para poder acceder desde cualquier dispositivo con calidad y fluidez. Compatibilidad con multitud de formatos de CAD y visualización de diseños BIM sin necesidad de instalar ningún software.

- DALUX BIM Viewer

Una forma gratuita de compartir modelos BIM. La versión gratuita de esta app puede manejar modelos BIM grandes y complejos. Accesibilidad sin conexión y compatible con formatos como IFC, RVT, PDF, DWG, DWFx, PNG y JPEG.

- BIMSYNC

Se trata también de un visor 3D de alto rendimiento con planos de planta 2D generados automáticamente para obtener una visión general completa de todos los modelos BIM.

- BIM Vision

BIM Vision es un visor de modelos IFC gratuito. Permite visualizar modelos virtuales procedentes de sistemas de CAD como ArchiCAD, Revit, VectorWorks, Allplan y otros sin necesidad de una licencia comercial de estos sistemas o de tener un visor de cada sistema en particular.

- BIMkeeper

Sistema de gestión de edificios totalmente online con visor 3D IFC avanzado. Almacena toda la información de modelos BIM. Muy útil para organizar un proceso de desarrollo, mantenimiento y soporte.

- usBIM Viewer (ACCA Software)

usBIM.Viewer es también un visor de modelos IFC gratuito que te permite sin problemas importar y exportar archivos en formato estándar IFC de modelos Open BIM realizados con cualquier software de BIM.

Planificación de obra (4D).

- Naviswork (Autodesk)

Permite a los usuarios abrir y combinar los modelos 3D, navegar por ellos en tiempo real y revisar el modelo utilizando un conjunto de herramientas que incluye comentarios, redlining, punto de vista, y mediciones. Una amplia posibilidad de complementos para detección de interferencias, y simulación de tiempo 4D.

- SYNCHRO

Ofrece solución para visualizar, analizar, editar y rastrear con precisión todo un proyecto, incluyendo logística y trabajos temporales. Este entorno visual y rico en datos involucra a todos los miembros del equipo en un proceso transparente para optimizar proyectos de construcción. Muy asentado en el mercado.

- TCQi

Es un software para construcción virtual, Software-as-a-Service (SaaS) del proceso constructivo, basada en la metodología TCQ y las aportaciones de sus usuarios, que incluye 12 módulos para la Gestión Colaborativa e Integral de Proyectos y Obras durante TODO su ciclo de vida.

- Project (Microsoft)

Otro software de gestión de proyectos y aplicable a BIM, desarrollado y vendido por Microsoft. Está diseñado para ayudar a un gerente de proyecto a desarrollar un cronograma, asignar recursos a las tareas, rastrear el progreso, administrar el presupuesto y analizar las cargas de trabajo. Se puede vincular otros softwares.

Medición y presupuesto (5D).

- Arquímedes (CYPE)

Se enlaza con REVIT y es un programa muy completo para el BIM 5D. Da opción a realizar mediciones, presupuestos, certificaciones, pliegos de condiciones, así como el manual de uso y mantenimiento de un edificio.

- Presto – Cost It

Puede generar las mediciones completas del modelo, de forma estructurada y con trazabilidad, convertir las mediciones en el presupuesto necesario para valorar o licitar el proyecto y obtener toda información relacionada, como las superficies útiles y construidas, los parámetros relevantes para determinar el precio o la documentación.

- Gest.MidePlan (Arktec)

Realiza la medición automática de proyectos, a partir del modelo BIM en formato IFC. La presupuestación de proyectos de MidePlan permite obtener de forma automática una valoración completa de todos los elementos diseñados. Como el presupuesto es obtenido a partir del diseño del proyecto, sus valores son mediciones reales.

Gestión ambiental y eficiencia energética (6D).

- EcoDesigner (Graphisoft)

Permite al usuario realizar la evaluación del rendimiento energético del edificio con una tecnología que cumple las normativas, con el soporte de múltiples bloques térmicos. Como resultado, los diseñadores pueden hacer cálculos de energía de forma dinámica y precisa desde el mismo principio, durante y hasta el final del proyecto.

- Green Building Studio (Autodesk)

Servicio flexible basado en la nube que le permite ejecutar simulaciones de rendimiento del edificio para optimizar la eficiencia energética al principio del proceso de diseño. Tiene herramientas para diseñar edificios de alto rendimiento en una fracción del tiempo y costo menor que los métodos convencionales.

- CYPETHERM HE

Sirve también para el cálculo de la carga térmica de los edificios de acuerdo con el Método de las series temporales radiantes (RTSM), con total integración en un flujo de trabajo BIM.

Facility Management (7D).

- RIUSKA

Una aplicación de simulación de energía y confort eficiente y versátil. Ideal en los casos en que se requieren cálculos detallados de carga de calefacción y refrigeración o cálculos completos de consumo de energía.

- Maximo (IBM)

IBM Maximo desde su módulo Building Information Models, permite su integración con proyectos BIM y da la opción de tener un modelo único actualizado donde todos los intervinientes puedan mirar y conectar con Maximo para la fase de mantenimiento de sus activos.

- ARCHIBUS

Software de gestión diseñado para simplificar el trabajo, al automatizar el flujo de información desde las fases de diseño y construcción de la propiedad hasta la gestión completa del ciclo de vida de los activos. Uno de los más utilizados.

Diseño de instalaciones.

- CYPECAD MEP

Es un programa para el diseño y dimensionamiento de la envolvente, la distribución, y las instalaciones del edificio sobre un modelo BIM. Se estructura en diferentes solapas interrelacionadas. Dependiendo del país seleccionado en la creación de una obra, CYPECAD MEP realiza diferentes comprobaciones y dimensionamientos.

- DDS CAD

Se ha extendido a todo el mundo con su probado software CAD / BIM para el diseño de proyectos MEP. Con respecto a la funcionalidad, DDS ofrece soluciones para sistemas eléctricos, de fontanería, calefacción, ventilación, aire acondicionado y sistemas fotovoltaicos. Es compatible con el proceso de diseño Open BIM.

Diseño de estructuras.

- Tricalc

Software que calcula estructuras de acero, de hormigón y de cualquier material, incluso estructuras de hormigón con cerchas de acero, y naves de acero con forjados, losas, muros resistentes y muros de contención o pilotes; con una misma forma de trabajo y con todas sus prestaciones.

- Tekla Structures

Es una solución 3D integrada basada en modelos para gestionar bases de datos de múltiples materiales (acero, hormigón, madera, etc.). Tekla presenta modelado interactivo, análisis estructural y diseño, y creación automática de dibujos.

Escáner Láser 3D.

Permite capturar o documentar la realidad de un entorno en 3D. Su tecnología le permite lanzar una cortina de rayos láser rotativa con un barrido de 360° y alcanzar un rango determinado dependiendo del escáner utilizado. Con la aparición del escáner láser 3D se consigue:

- Simplificar, en tiempo y forma, la necesidad de tomar medidas a mano.
- Reducir la posibilidad de error: humano o de dificultad.
- Acelerar la obtención de los datos obtenidos.
- Obtener un modelo fiable, preciso y con un margen de error milimétrico.
- Abarcar, en el mismo tiempo y con los mismos recursos, una mayor cantidad de datos.
- Iniciar la adaptación a la metodología BIM.

Se observan las siguientes ventajas:

PRECISIÓN: Hablar de tecnología láser es hablar de precisión milimétrica. Esta cualidad está más que ratificada y garantizada, contando además estos escáneres láser 3D con su correspondiente certificado de calibración, emitido por los fabricantes.

RAPIDEZ: La velocidad de lectura mediante escáner láser 3D oscila entre los 122.000 y los 900.000 puntos por segundo, de modo que con el servicio de escaneado láser 3D además de una herramienta muy potente te garantizamos agilidad en el proceso, lo que permite ahorrar dinero y ganar tiempo.

CALIDAD/DETALLE: El nivel de detalle resultante es máximo, ofreciendo por tanto una información no alcanzable de otro modo y con nivel único.

ALCANCE: Ya sea una fachada catalogada, un artesonado o una red de conductos descolgados, todo lo que quede en un radio de más de 120 metros quedará registrado. Puedes prescindir por tanto de andamios, grúas y otros medios auxiliares para la toma de datos con el consiguiente e indiscutible ahorro de tiempo y dinero.

VERSATILIDAD: El empleo del escáner láser 3D como herramienta es muy adaptable a todo tipo de terrenos y situaciones. La maniobrabilidad del escáner y su capacidad incluso de escanear en ausencia total de luz, hacen el resto.

SIMPLICIDAD: Su complejidad como herramienta de medición es proporcional a la sencilla operabilidad del registro realizado.

EFICACIA: Si la regla básica del carpintero es “medir dos veces, cortar solo una vez”, en el escaneado láser se da un paso más que equivaldría a “medir una vez, trazar una vez”. Un correcto levantamiento da lugar a una única solución y elimina cualquier posibilidad de duda o mala interpretación, evitando la realización de mediciones adicionales o comprobación.

DISTINCIÓN: Aplicar un servicio tecnológico de gran precisión da confianza a tus clientes y te asegura una mayor notoriedad con respecto a tu competencia directa.

2.1.4.3 Utilización de ambiente colaborativo internacional.

2.1.4.3.1 Adopción en metodología BIM en países.

En estudio realizado, Terán et al, 2019, concluye que la comparación de la macro-adopción entre países muestra que existen importantes diferencias entre ellos que repercuten directamente en la manera en que las organizaciones han enfrentado la implementación de BIM.

En la dimensión de **procesos** es donde se aprecian las diferencias más marcadas, particularmente en las dinámicas de difusión y en los alcances de los esfuerzos de estandarización. Reino Unido muestra el caso más emblemático de difusión descendente gatillada por un exigente mandato gubernamental. Australia, en el otro extremo, es un caso de difusión ascendente, caracterizada por una adopción que comenzó en pequeñas empresas y ha ido lenta y paulatinamente escalando hacia organizaciones mayores, sin todavía llegar al nivel gubernamental federal. Estados Unidos ha seguido una dinámica radial, con organizaciones públicas y privadas de tamaño mediano que fueron pioneras en el uso de la tecnología y que motivaron con sus buenos resultados la implementación en otras más pequeñas y más grandes, incluso a nivel federal. Finalmente, Brasil hasta ahora ha seguido una dinámica combinada, con organizaciones medianas y grandes que comenzaron a usar BIM y fueron seguidas primero por organizaciones pequeñas, y más tarde por el gobierno federal.

En la dimensión de **personas**, las principales diferencias están los roles y grados de liderazgo de los distintos participantes. En Estados Unidos, los mandantes (públicos y privados) aparecen como líderes del proceso de difusión, pues conocen y exigen la tecnología a sus profesionales proveedores. En Reino Unido, sin dudas, es el gobierno central quien ha asumido el liderazgo en su calidad de regulador y ha actuado como integrador y coordinador del trabajo de todos los demás participantes. En Australia existe una falta de liderazgo de instituciones gubernamentales, profesionales, privadas o académicas, y han sido grupos de terceros quienes han adquirido los principales roles. Brasil, como mercado joven, está todavía en un proceso de definición de roles, manteniendo hasta ahora un notable equilibrio entre todos los participantes. La única excepción, común a todos los mercados, la constituyen las empresas tecnológicas de software, quienes, evidentemente, promueven activamente la difusión de la tecnología.

En la dimensión de **tecnología** las diferencias son más sutiles. Todos los países comparten un similar nivel de infraestructura tecnológica, y relativamente similar mercado de software. Autodesk Revit es el producto dominante en todos los mercados, seguido por Graphisoft ArchiCAD, Bentley AECOsim y Nemetschek Vectorworks (con diferentes participaciones de mercado en cada país). Brasil, en cambio, muestra una presencia mucho más dominante de Autodesk Revit. Posiblemente la alta tasa de piratería resta competitividad al mercado brasileño (y latinoamericano) y actúa como desincentivo para la introducción de nuevos participantes.

2.1.4.3.2 Experiencia internacional. Resultados reportados en rentabilidad.

Existen variadas publicaciones de investigación que demuestran los beneficios de BIM y sus aplicaciones¹² a nivel internacional. Sin embargo, se han publicado pocos datos empíricos sobre los ahorros de costos que BIM puede generar o cómo esos ahorros se están comparando entre sí. En 2006, un estudio estimó que la utilización de Metodología BIM resultó en el potencial ahorro en los costos de construcción que van del 15% al 40% (Holness, 2006). Por otro lado, Holness (2008) señala que un análisis del Instituto de la Industria de la Construcción estima ahorros de 3% a 7.5% asociados con una mejor coordinación y menor aparición de conflictos.

En una encuesta de profesionales de la industria realizada por McGraw Hill (2008), indica que entre los principales beneficios obtenidos por la utilización de metodología BIM, se incluyen: reducción en la emisión de Requerimientos de Información (RFI, por sus siglas en inglés), reducción en problemas de coordinación de campo, mejor comunicación a través de visualización 3D y mejor productividad del personal, entre otros (McGraw-Hill Construction, 2008, p. 27).

En la Tabla 12, se muestran valores de Retorno sobre la Inversión, ROI, para varios proyectos con utilización de Metodología BIM en EE. UU. Dichos valores de ROI, oscilan entre 229% a 39.900%.

La identificación de los factores de Metodología BIM que influyen en el retorno ROI de BIM es clave en un principio para comprender y garantizar la obtención del valor agregado de BIM. En la Tabla 13, se muestran principales factores que influyen en el retorno ROI reportados en un período de 16 años (2004-2020) en diversos países.

Tabla 12. Resultados de Retornos sobre Inversión, ROI, con incorporación de BIM en proyectos en EE. UU. Fuente: Adaptado desde Giel R. et. All, 2008.

Costo Proyecto (MMUSD)	Proyecto	Costo BIM (USD)	Beneficio BIM (USD)	Costo BIM / Costo Proyecto (%)	Beneficio BIM / Costo Proyecto (%)	ROI BIM (%)
30	Ashley Overlook	5.000	135.000	0,02%	0,45%	2600%
54	Progressive Data Center	120.000	395.000	0,22%	0,73%	229%
47	Raleigh Marriott	4.288	500.000	0,01%	1,06%	11560%
16	GSU Library	10.000	74.120	0,06%	0,46%	641%
88	Mansion on Peachtree	1.440	15.000	0,00%	0,02%	942%
47	Aquarium Hilton	90.000	800.000	0,19%	1,70%	789%
58	1515 Wynkoop	3.800	200.000	0,01%	0,34%	5163%
82	HP Data Center	20.000	67.50A0	0,02%	0,08%	238%
14	Savannah State	5.000	2.000.000	0,04%	14,29%	39900%
32	NAU Science Lab	1.000	330.000	0,00%	1,03%	32900%
	Promedio			0,06%	2,02%	9496%
	σ			0,08%	4,34%	14688%
	s			142%	215%	155%
	Máx			0,22%	14,29%	39900%
	Mín			0,00%	0,02%	229%

¹² Giel R., et. all, 2011.

Tabla 13. Factores que influyen en el Retorno de Inversión, ROI, reportados en distintos proyectos y países. Fuente: Adaptado de Sompolgrunk et. All, 2021.

País	Factores de retorno informados	ROI reportado	Referencia / Autor
EE. UU.	Ganancia de productividad después del entrenamiento.	-39% a 16%	Autodesk, 2004
	Detección de conflictos.	140% a 39.900%	Azhar, 2011
	Detección de conflictos (Estudio de caso).	300% a 500%	McGraw-Hill, 2008
	Reducción de los excesos de programación, menos RFI y reducción de CO.	16% a 1.654%	Giel et al., 2009
	Mejores resultados del proyecto (como menos RFI y problemas de coordinación de campo), Mejor comunicación debido a la visualización en 3D, Mejora de la productividad del personal, Impacto positivo en los proyectos exitosos, Valor del ciclo de vida de BIM y Costo inicial de capacitación del personal.	11% a > 1.000%	McGraw-Hill, 2008, 2009, 2012, 2014
	Mejor comprensión del alcance del trabajo, Mayor calidad, Productividad del diseño y mejores documentos, Modelo basado en análisis y energía sostenible; Productividad de la instalación, Duración total del diseño, Menos RFI y rápidamente resueltas, Menos órdenes de cambio de diseño, Satisfacción del propietario con mayor conciencia y más confianza, Visualización más fácil y rápida para el contratista general (GC), subcontratistas, inspectores, Visualización 3D y 4D, Estudios de logística/secuenciación, Eficiencias de campo, Documentos simples y seguros, Herramientas de diseño y gestión de datos Personal de proyecto más reducido y de mayor rendimiento, más eficiente, Centrado en la excelencia del proyecto, Costos más bajos de impresión, embalaje, envío, recepción, distribución y copiado Subcontratistas, Ofertas con menor riesgo, menos contingencia incorporada, Confianza en la prefabricación / preensamblaje, Menor duración de la construcción: Menor costo para GC, Subcontratistas en general BIM de campo, Seguimiento de equipos, Sitio más seguro, Encuesta digital, Guía de equipos BIM para presupuesto y planificación de seguridad, Cédula de habitabilidad anterior y Rica información.	1,8% a 10,5%	Stowe et al., 2015
Corea	Reducción de los costos de reelaboración debido a errores de diseño.	22% a 97%	Lee et al., 2012
	Los errores de diseño: diseño simple, relacionados con la reelaboración que pueden conducir a la demolición y la reelaboración; y relacionados con demoras que probablemente prolonguen el período de construcción.	94,41%	Ham et al., 2018
	Mejora de la productividad, reducción de horarios, reducción de costos, estratégica superioridad de una empresa y propiedad intelectual con respecto a los empleados e incluye la mejora de la preferencia del cliente por la introducción de BIM, expansión del mercado BIM y aumento de la productividad de los empleados.	146% a 350%	Kim et al., 2020
	Prevención de reelaboración, Cumplimiento de cronogramas, Eficiencia laboral mejorada, Seguridad mejora, mejora de la calidad y capacidad BIM fortalecida.	167,8% a 476,72%	Lee and Lee., 2020
Suecia	Ahorros en Desarrollo de Proyectos, Ahorros en Diseño y Construcción, Ahorros en COs y; Reducción de excesos de programa.	735%	Salih, 2012

2.1.4.3.3 Ambiente colaborativo internacional.

La implantación con éxito de un sistema colaborativo BIM internacional en proyectos de envergadura, pudiera ser posible para el caso de empresas de ingeniería con oficinas y/o sede central fuera de Chile. Lo anterior, a juicio de personal experto entrevistado (representantes de empresas de ingeniería Contrato Marco MEL), se basa en los siguientes puntos:

- Los estándares de diseño son cada vez más universales.
- Los profesionales que componen las empresas consultoras con presencia internacional, presentan un nivel técnico similar.
- Permite el trabajo continuo, durante mayor cantidad de horas en el día. Lo anterior, se maximiza en caso de presentar diferencias horarias mayor a 8 horas.

Los plazos de entrega ajustados y un gran volumen de modificaciones tanto en etapa de proyecto como en obra suelen ser fuente de problemas en la gestión del proyecto. Si además se añaden colaboraciones cada vez más complejas, en las que participan una multitud de agentes, la comunicación se vuelve insostenible y mantener el seguimiento de la última versión casi imposible.

En el desarrollo de proyectos en ambientes colaborativos se establecen las virtudes del uso de la nube y un sistema de intercambio de información BCF. Por ejemplo, BIMCollab. Entre otras virtudes se puede determinar:

- Ya no es necesario dejar de usar el software de diseño, perder el tiempo en costosas exportaciones. BCF manager se integra en un amplio software BIM y permite comunicarse de manera fluida y eficaz.
- No sólo se reducen las incidencias notablemente, sino que también se experimenta una reducción importante en correo generado.
- Los datos permiten organizarse de manera intuitiva. El rol de los intervinientes, así como la edición se puede administrar fácilmente, permitiendo grados de control y edición. También las gráficas proporcionan una retroalimentación muy necesaria para valorar el estado de las incidencias, el cumplimiento de los hitos, reparto entre los agentes intervinientes, entre otros, todo en una interface en constante mejora.
- Todo ello facilita que la gestión del cambio sea transparente y fluida. Además, la aplicación de filtros y la posibilidad de generar informes permite en cualquier momento el reporte a terceros, incrementándose así la trazabilidad de la actividad en la plataforma y, en consecuencia, en la satisfacción del cliente que puede en cualquier momento si lo desea monitorizar el estado del proyecto.

De los análisis realizados, las empresas de ingeniería que pudieran generar sinergias con sus sedes internacionales, corresponden a Hatch y Worley. Lo anterior, respaldado por experiencias indicadas por las propias empresas en desarrollo de proyectos anteriores y en circunstancias de optimizar plazos según requerimientos. Las demás empresas, debieran generar compromisos contractuales con consultoras internacionales que pudieran trabar la eficiencia y/o costos del desarrollo del servicio.

2.2 Síntesis del diagnóstico.

2.2.1 Adopción y Madurez BIM.

En base al análisis del acápite anterior, asociado a las capacidades actuales de las empresas de ingeniería que prestan servicios a Minera Escondida, es necesario analizar la forma en la que cada organización ha enfrentado y avanzado en cada una de las tres dimensiones de gestión (tecnología, procesos y personas), teniendo siempre en consideración el contexto de macro-adopción en el cual se desenvuelven.

En nuestro caso, para proyectos menores de sostenimiento se analizará el nivel de madurez BIM según SUCCAR¹³.

La Matriz de Madurez BIM, propuesta por Bilal Succar en 2009, es una herramienta de análisis que permite identificar de manera sencilla el nivel de madurez BIM de organizaciones o equipos de proyecto. Consiste en una matriz (Ver Tabla 14) cuyo eje vertical está constituido por diez áreas clave de desempeño BIM organizadas en tres campos y cuyo eje horizontal está constituido por cinco niveles progresivos de madurez. Los tres campos propuestos por Succar (tecnologías, procesos y políticas) constituyen una estructura de análisis similar, pero no idéntica, a la división tradicional de dimensiones de gestión (tecnologías, procesos y personas). Cada celda de la matriz tiene descriptores que permiten identificar el nivel que mejor representa a la organización. Adicionalmente, se establecen tres etapas de capacidades BIM: etapa 1 (modelación basada en objetos), etapa 2 (colaboración basada en modelos) y etapa 3 (integración basada en redes), cada una con los mismos cinco niveles de madurez (denominados inicial, definido, gestionado, integrado, y optimizado). Es importante señalar que, en este análisis se utilizó el juicio experto de personal ejecutivo de las distintas compañías. Esto es, se entrevistan a los gerentes técnicos de las empresas de ingeniería y superintendentes de ingeniería de Minera Escondida.

- Jorge Riffo. Administrador de contrato, Hatch Ingenieros Consultores.
- Sixto Torres. Administrador de contrato, Worley.
- José Campos. Administrador de contrato, Keypro.
- Rodrigo Dassori. Administrador de contrato, Pares & Alvarez.
- Manuel Ocampo. Administrador de contrato, Promec.
- Alejandra González, Principal Engineering. Minera Escondida.

El detalle de las preguntas abordadas en las entrevistas, se describen en Anexo A.

¹³ Succar, 2016.

Tabla 14. Matriz de Madurez BIM. Fuente: Succar, 2016.

		Niveles de madurez				
Campos	Áreas	Inicial	Definido	Gestionado	Integrado	Optimizado
Tecnología	Software					
	Hardware					
	Redes					
Procesos	Recursos					
	Actividades y flujos de trabajo					
	Productos y Servicios					
	Liderazgo y Gestión					
Políticas	Preparatorias					
	Reguladoras					
	Contractuales					
Capacidades BIM						
Etapa 1	Modelación					
Etapa 2	Colaboración					
Etapa 3	Integración					

Las diez áreas clave de madurez BIM propuestas por Succar son las siguientes:

- **Software** : Uso de programas BIM, generación de entregables, y manejo de datos.
- **Hardware** : Equipos computacionales, incluyendo inversión, mantenimiento y renovación.
- **Redes** : Infraestructura de redes computacionales y métodos de control de seguridad.
- **Recursos** : Infraestructura física (ambiente de trabajo) y de conocimiento.
- **Actividades y Flujos de Trabajo**: Definición de roles, competencias y dinámicas de trabajo.
- **Productos y Servicios** : Especificación y diferenciación de productos y servicios ofrecidos.
- **Liderazgo y Gestión** : Cualidades estratégicas, organizacionales y administrativas.
- **Preparatorias** : Programas de formación y capacitación.
- **Regulatorias** : Guías, estándares y manuales, tanto obligatorios como referenciales.
- **Contractuales** : Definición de responsabilidades, riesgos y beneficios.

Las tres etapas de capacidades BIM son:

- **Modelado basado en objetos** : Uso de BIM con modelos sencillos unidisciplinarios con intercambios unidireccionales, asíncronos, y disociados.
- **Colaboración basada en modelos** : Intercambio interdisciplinario de modelos multidimensional (nD) a lo largo del ciclo de vida del proyecto.
- **Integración basada en redes** : Intercambio concurrente interdisciplinario con modelos centrales que se usan a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto.

Los resultados obtenidos, se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 15. Nivel de madurez y capacidad BIM. Small Projects. Minera Escondida.

Fuente: Elaboración propia.

Campos	Áreas	Niveles de madurez. Small Projects MEL				
		Inicial	Definido	Gestionado	Integrado	Optimizado
Tecnología	Software					
	Hardware					
	Redes					
Procesos	Recursos					
	Actividades y flujos de trabajo					
	Productos y servicios					
	Liderazgo y gestión					
Políticas	Preparatorias					
	Reguladoras					
	Contractuales					
Capacidades BIM						
Etapa 1	Modelación					
Etapa 2	Colaboración					
Etapa 3	Integración					

Tabla 16. Nivel de madurez y capacidad BIM. Small Projects. Hatch.

Fuente: Elaboración propia.

Campos	Áreas	Niveles de madurez. Hatch				
		Inicial	Definido	Gestionado	Integrado	Optimizado
Tecnología	Software					
	Hardware					
	Redes					
Procesos	Recursos					
	Actividades y flujos de trabajo					
	Productos y servicios					
	Liderazgo y gestión					
Políticas	Preparatorias					
	Reguladoras					
	Contractuales					
Capacidades BIM						
Etapa 1	Modelación					
Etapa 2	Colaboración					
Etapa 3	Integración					

Tabla 17. Nivel de madurez y capacidad BIM. Small Projects. Worley.
Fuente: Elaboración propia.

Campos	Áreas	Niveles de madurez. Worley				
		Inicial	Definido	Gestionado	Integrado	Optimizado
Tecnología	Software					
	Hardware					
	Redes					
Procesos	Recursos					
	Actividades y flujos de trabajo					
	Productos y servicios					
	Liderazgo y gestión					
Políticas	Preparatorias					
	Reguladoras					
	Contractuales					
Capacidades BIM						
Etapa 1	Modelación					
Etapa 2	Colaboración					
Etapa 3	Integración					

Tabla 18. Nivel de madurez y capacidad BIM. Small Projects. Pares & Alvarez.
Fuente: Elaboración propia.

Campos	Áreas	Niveles de madurez. Parez & Alvarez				
		Inicial	Definido	Gestionado	Integrado	Optimizado
Tecnología	Software					
	Hardware					
	Redes					
Procesos	Recursos					
	Actividades y flujos de trabajo					
	Productos y servicios					
	Liderazgo y gestión					
Políticas	Preparatorias					
	Reguladoras					
	Contractuales					
Capacidades BIM						
Etapa 1	Modelación					
Etapa 2	Colaboración					
Etapa 3	Integración					

Tabla 19. Nivel de madurez y capacidad BIM. Small Projects. Keypro.
Fuente: Elaboración propia.

Campos	Áreas	Niveles de madurez. Keypro				
		Inicial	Definido	Gestionado	Integrado	Optimizado
Tecnología	Software					
	Hardware					
	Redes					
Procesos	Recursos					
	Actividades y flujos de trabajo					
	Productos y servicios					
	Liderazgo y gestión					
Políticas	Preparatorias					
	Reguladoras					
	Contractuales					
Capacidades BIM						
Etapa 1	Modelación					
Etapa 2	Colaboración					
Etapa 3	Integración					

Tabla 20. Nivel de madurez y capacidad BIM. Small Projects. Promec.
Fuente: Elaboración propia.

Campos	Áreas	Niveles de madurez. Promec				
		Inicial	Definido	Gestionado	Integrado	Optimizado
Tecnología	Software					
	Hardware					
	Redes					
Procesos	Recursos					
	Actividades y flujos de trabajo					
	Productos y servicios					
	Liderazgo y gestión					
Políticas	Preparatorias					
	Reguladoras					
	Contractuales					
Capacidades BIM						
Etapa 1	Modelación					
Etapa 2	Colaboración					
Etapa 3	Integración					

Tabla 21. Nivel de madurez y capacidad BIM esperado. Small Projects.
Fuente: Elaboración propia.

Campos	Áreas	Niveles de madurez. Small Projects MEL				
		Inicial	Definido	Gestionado	Integrado	Optimizado
Tecnología	Software					
	Hardware					
	Redes					
Procesos	Recursos					
	Actividades y flujos de trabajo					
	Productos y servicios					
	Liderazgo y gestión					
Políticas	Preparatorias					
	Reguladoras					
	Contractuales					
Capacidades BIM						
Etapa 1	Modelación					
Etapa 2	Colaboración					
Etapa 3	Integración					

Análisis de resultados: En base a los resultados obtenidos respecto del nivel de nivel de madurez en la implementación BIM, se observa que:

- Para empresas de ingeniería Hatch, Worley y Pares & Alvarez, presentan una magnitud de avance similares. Además, no todas las dimensiones analizadas presentan un nivel parejo. Esto es, en las dimensiones **Tecnología (Área Software)**, **Procesos (Área Liderazgo y gestión)**, **Capacidades (Área Modelación)**, presentan un nivel de madurez **Optimizado (mayor avance)**, mientras que para las demás dimensiones se observan en un nivel de avance **Integrado (avance avanzado)**. El nivel más atrasado para dichas empresas, corresponde a **Políticas (Área Contractuales)**, con un nivel de avance **Gestionado (avance intermedio)**.
- Para empresas de ingeniería Keypro y Promec, presentan una magnitud de avance inferior en varios niveles. En forma similar, no todas las dimensiones analizadas presentan un nivel parejo. Esto es, en las dimensiones **Tecnología**, **Procesos**, **Políticas y Capacidades (Área Modelación)**, presentan un nivel de madurez **Definido (avance primario)**, mientras que en **Capacidades (Áreas Colaboración e Integración)** presentan un nivel de avance **Inicial (menor nivel)**.

- Para el área de ingeniería en Minería Escondida, presenta una magnitud de avance similar a las empresas Keypro y Promec, a diferencia de las dimensiones **Tecnología (Área Redes)**, **Procesos (Área Recursos)**, **Políticas (Área Preparatorias)**, presentan un nivel de madurez **Gestionado (avance intermedio)**.
- El nivel esperado para la etapa de implementación BIM corresponde a un nivel de madurez **Integrado (avance avanzado)**, pues para alcanzar un nivel **Optimizado**, se requiere un mayor nivel de funcionamiento para ser auditado (Forum BIM, 2019).

2.2.2 Modelo de las 7s¹⁴.

El modelo de las 7s de McKinsey, se describe en acápite 1.6.3 en forma ejecutiva.

En base a lo anterior, se pretende definir que tan bien posicionada se encuentra la organización para alcanzar el objetivo final de implementación de metodología BIM, en cada uno de los siguientes aspectos:

- Área proyectos. Minera Escondida.
- Área operaciones y mantención. Minera Escondida (cliente final).
- Área colaboradores. Empresas de Ingeniería.

2.2.2.1 Style (Cultura).

a) Área proyectos y Área operaciones y mantenciones (cliente final). Minera Escondida.

En este aspecto, se aprovechará la forma de trabajo generalizada en Minera Escondida, de modo tal que la implementación propuesta no impacte mayormente en la cultura de trabajo basada en mejoramiento continuo.

Desde ya cuatro años BHP ha estado implementando un Sistema de Mejoramiento Operacional, que afecta en todas sus actividades incluyendo el desarrollo de proyectos, consistente en aplicar las mejores capacidades de la industria a los activos de clase mundial. La estrategia de seguridad y productividad ha entregado importantes beneficios a los accionistas, sin embargo, se observa que algunas compañías en el mundo avanzan más rápido. Dicho Sistema Operacional, funciona de la siguiente manera:

- El Sistema Operacional de BHP adopta elementos comunes de cómo operan las mejores compañías del mundo y los trata de aplicar al negocio.
- Delinea un marco de trabajo común para guiar la forma de trabajar, lo cual mejora en forma sustancial la función de cada uno de los participantes.
- En el día a día, se focaliza a que cada uno inicie su trabajo diario con un sentido de propósito y que termine cada día con una sensación de logro.

Los comportamientos se basan en tres principios que respaldan el sistema operacional y de cómo abordar el desarrollo de proyectos:

¹⁴ Peters, Thomas & Waterman, Robert, 2006.

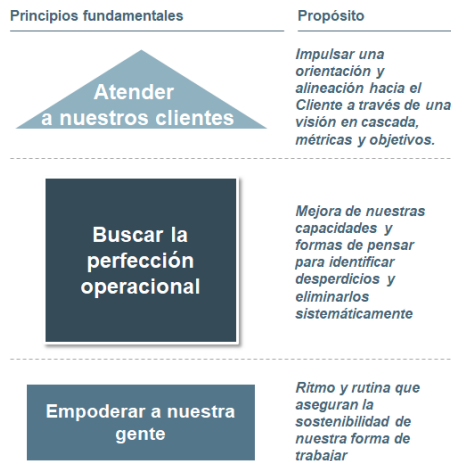


Figura 12. Principios del Sistema Operacional de proyectos. Fuente: Elaboración propia.



Figura 13. Prácticas necesarias para responder a los principios culturales fundamentales. Fuente: Elaboración propia.

b) Área colaboradores. Empresas de ingeniería.

Al igual que para el caso interno, se aprovechará la forma de trabajo generalizada en la gestión de proyectos Minera Escondida, de modo tal que la implementación propuesta aproveche la cultura de trabajo e interacción con las empresas colaboradoras de ingeniería.

Es en este ámbito, que el Gerente de Ingeniería, con facultades de “Contract Owner”, es el responsable por parte de Minera Escondida Ltda., de la Administración, Gestión y Control del contrato en forma integral con las empresas de ingenierías colaboradoras, debiendo verificar el cumplimiento a las obligaciones en materia de; Calidad del Servicio, Seguridad y Salud en el trabajo. Además, lidera las reuniones mensuales de medición y gestión de desempeño (*High Performance Contract Management, HPCM*) del contrato. Es el responsable de coordinar los requerimientos y dar soporte a los Usuarios del contrato, “Contract User” tanto de la Head of Project como de las áreas usuarias (NPI, Cátodos, Mina y Planta Concentradoras).

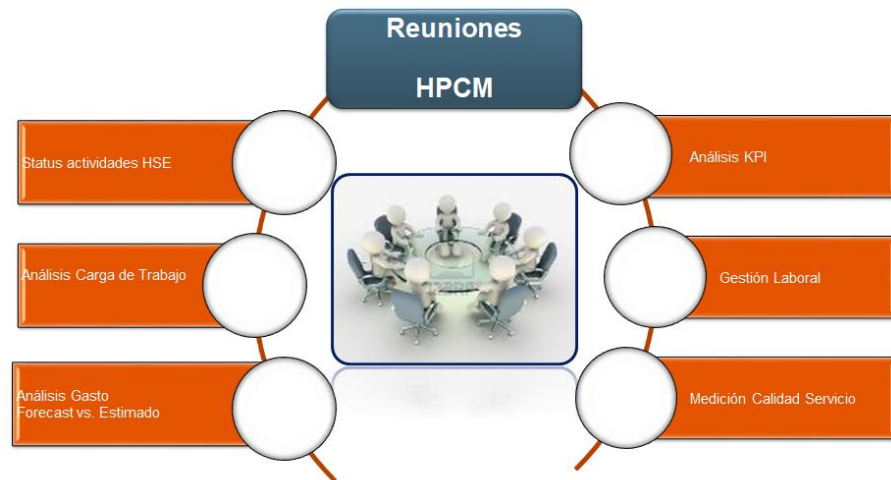


Figura 14. Actividades de seguimiento en reuniones periódicas HPCM. Fuente: Manual de operación. Contrato Marco Ingenierías Menores. Minera Escondida, 2017.

Las expectativas, en la gestión, coordinación y liderazgo en actividades con empresas de ingeniería son las siguientes:

- a. Asegurar que las empresas de ingeniería sean de alto nivel en términos de:
 - i. Calidad de entregables de ingeniería.
 - ii. Cumplimiento de plazos de entrega y estimación de costos.
- b. Agregar valor a través del desarrollo de ingenierías:
 - i. Actualización frecuente de modos y modelos de trabajo de ingenierías.
 - ii. Actualización de estándares adecuados a cada proyecto y desarrollo de actividades.
 - iii. Potenciar el equipo de Ingenieros preparados y desarrollados para estas Ingenierías.
 - iv. Estandarizar criterios para diseño “*Lean Design*” y prácticas “*Fit for Purpose*”.

Es así, como la incorporación de Metodología BIM, se encuentra en las expectativas formales de actual contrato marco, a lo menos, según acápite b.i, y b.ii indicados anteriormente.

2.2.2.2 Staff (Personal).

a) Área proyectos y Área operaciones y mantenciones (cliente final). Minera Escondida.

En la actualidad, la gestión de proyectos considera un Staff de profesionales del owner (Minera Escondida), encargados de la gestión integral de proyectos según se muestra en la Figura 15, para un proyecto típico.

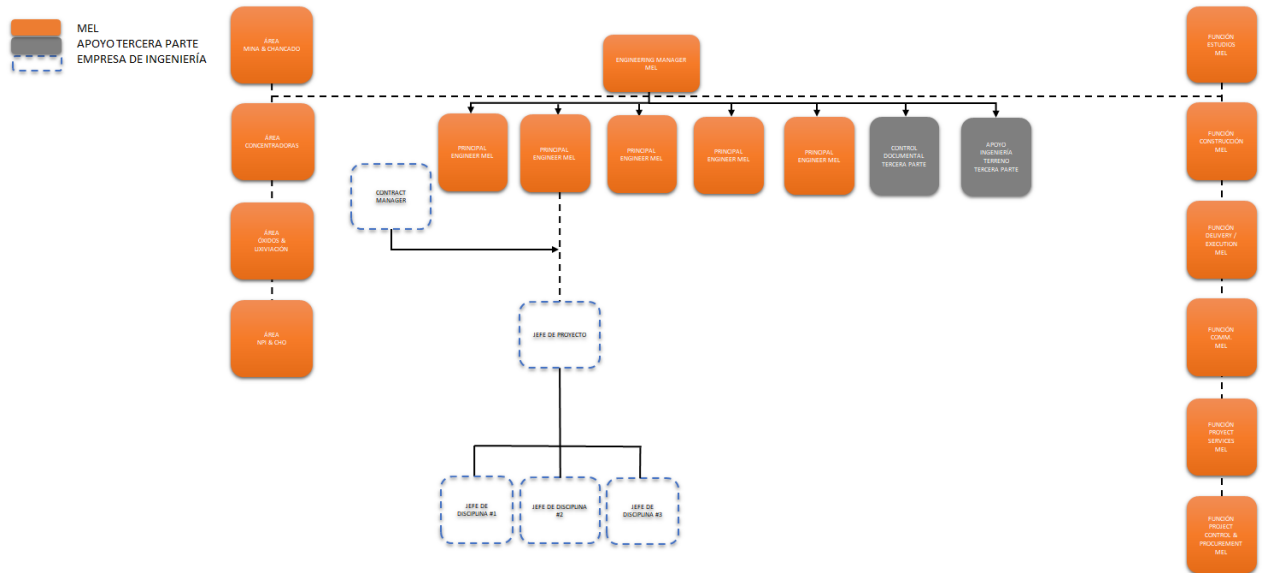


Figura 15. Organigrama actual en la gestión de proyectos menores en Minera Escondida. Fuente: Elaboración propia.

b) Área colaboradores. Empresas de ingeniería.

En el escenario propuesto, la empresa de ingeniería, debiera incorporar un Staff de profesionales que permitan integrar y dar continuidad a la comunicación y gestión de la metodología BIM, liderado por un Gerente de proyectos BIM. Dicha estructura, a partir de coordinadores y jefes de disciplinas pudieran tener una capacidad de administrar 5 proyectos en forma síncrona. Lo anterior, según lo indicado por los representantes de las mismas empresas de ingeniería. La ventaja tiene relación con que el equipo tradicional se ve potenciado en el trabajo colaborativo y coordinado con el área BIM, de modo tal de no desviar su foco en el desarrollo de ingeniería, teniendo en cuenta que los coordinadores BIM asegurarán la intercolaboración con los distintos stakeholders.

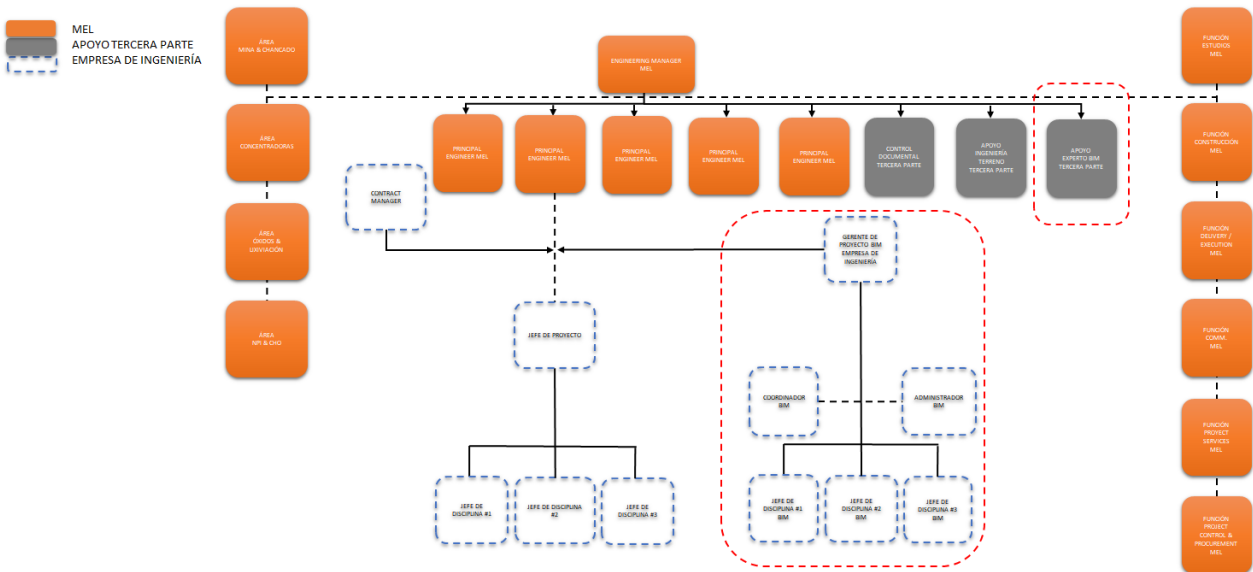


Figura 16. Organigrama propuesto en la gestión de proyectos menores en Minera Escondida, una vez implementada la Metodología BIM. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, las posiciones o especialidades adicionales que deben estar representadas en el equipo son:

- Gerente de Proyecto BIM.
- Coordinador BIM.
- Administrador BIM.
- Jefes de Disciplinas.
- Modeladores BIM.
- Asesor Experto BIM (Tercera parte. Owner).

2.2.2.3 Systems (Sistemas).

a) Área proyectos y Área operaciones y mantenciones (cliente final). Minera Escondida.

Sistemas gestión de proyectos.

En la actualidad se tienen diversos informes que rescatan y reportan el desarrollo del proyecto en su ciclo de vida. Se tienen los siguientes informes:

- Avances diarios.
- Avances mensuales.
- Cierre de proyectos.

Dicha reportabilidad es generada a partir de los mismos ejecutores en las distintas disciplinas, y compartidas en forma serial sólo a nivel de proyectos. No se incluye comunicación con área operaciones y mantención. Lo anterior, expone al proyecto a reprocesos con ocasión de posibles interferencias no detectadas en forma oportuna, brechas en coordinaciones

entre disciplinas, requerimientos de usuarios no abordadas, entre otros, una vez conocida la reportabilidad por los afectados.

Con la implementación de BIM, la reportabilidad es en forma síncrona según necesidad de los stakeholders, accediendo al modelo integrado, pudiendo levantar en forma oportuna las posibles brechas y/o inconsistencias.

Software.

En la actualidad el área de proyectos de Minera Escondida y las áreas usuarias de operaciones y mantenimiento, realizan gestión documental vía plataforma Share Point, de Microsoft, o mediante comunicación electrónica. Lo anterior, no genera trazabilidad de las comunicaciones y actualizaciones realizadas a la documentación.

El siguiente paso, es utilizar plataforma SmartPlan Foundation actualmente disponible y nuevas plataformas que sean interoperables (versátiles en la visualización), que permitan visualizar modelo en 3D, interferencia, nivel de avance en costos, nivel de avance en programa, entre otros.

Recursos humanos.

En la actualidad y dada la contingencia sanitaria, el desarrollo de los estudios se efectúa con personal MEL de proyectos con sistema de trabajo híbrido. Oficina / terreno y casa. Este escenario, también se extrapola al equipo de operaciones y mantenimiento (cliente final). Lo anterior, ha dificultado el avance eficiente de los proyectos. Han aumentado el nivel de reuniones telemáticas junto a los distintos stakeholders para dar a conocer los avances y obtener validaciones. Muchas de dichas reuniones, no cuentan con la participación del personal clave, exponiendo riesgos de reprocesos.

En el escenario propuesto asociado a la implementación de metodología BIM, posibilita el trabajo colaborativo en forma síncrona, oportuna, remota y con alternativa de revisión atemporal disminuyendo el riesgo que quedar expuestos a reprocesos, o no abordar requerimientos de usuarios relevantes.

Comunicación.

En el escenario actual, las comunicaciones se basan específicamente por canales electrónicos (correo corporativo). No se han observado problemas relevantes de conexiones en sus sistemas informáticos tanto en faena, como si se accede en forma remota. Además, en caso de trabajo telemático, los trabajadores disponen de laptop y telefonía móvil corporativos. No se dispone trazabilidad robusta de las comunicaciones entre las áreas de Proyectos MEL y áreas operativas.

En el escenario propuesto, las comunicaciones potenciarían, focalizarían y canalizarían temas de proyecto sólo vía plataformas BIM, separando las comunicaciones con aquellas que se tengan con ocasión de temas inherentes a las operaciones.

Almacenamiento de documentos.

En el escenario actual, el almacenamiento de documentos se basa en dos sistemas:

- Almacenamiento de información en forma física a través de carpetas de proyectos en instalaciones de faena.
- La empresa tiene un servidor central donde se almacenan archivos de la empresa que se hayan digitalizado, compartiendo dicha información por plataformas web corporativas, o mediante recursos de sistemas computacionales (SharePoint de Microsoft, correos electrónicos).

En el escenario propuesto, la Metodología BIM, implica la colaboración de información mediante plataformas interoperables, gestionando la emisión, edición, revisión y actualizaciones de documentaciones generadas con ocasión de proyecto.

Procedimientos.

En el escenario actual, existen estandarizaciones generados a nivel corporativo direccionadas en:

- Existen lineamientos de diseño.
- Codificación de planos.
- Formatos de control y gestión de cambios.
- Formatos de protocolos de recepción de trabajos.

Sin embargo, no se observan que dichos procedimientos sean de conocimiento transversal durante la gestión de proyectos. Los procedimientos de comunicaciones son generados según el tipo de proyecto y no existe un estándar común.

En el escenario propuesto, la documentación corporativa y aquella generada con ocasión de proyecto, sería conocida en forma transversal y en forma estandarizada para todo el ciclo de vida del proyecto, disminuyendo riesgos de duplicidad y/o utilización de documentación desactualizada.

b) Área colaboradores. Empresas de ingeniería.

Sistemas gestión de proyectos.

Los documentos de reporte y seguimiento de proyecto entre y hacia las empresas de ingeniería durante el ciclo de vida de proyecto, se describen en acápite anterior (informes de avances diarios y mensuales). Dicha reportabilidad es generada a partir de los mismos ejecutores en las distintas disciplinas, y compartidas en forma serial. Lo anterior, expone al proyecto a reprocesos con ocasión de posibles interferencias no detectadas en forma oportuna, brechas en coordinaciones entre disciplinas, requerimientos de usuarios no abordadas, entre otros, una vez conocida la reportabilidad por los afectados.

Con la implementación de BIM, la reportabilidad es en forma síncrona según necesidad de los stakeholders, accediendo al modelo integrado, pudiendo levantar en forma oportuna las posibles brechas y/o inconsistencias, haciendo partícipe a personal de operaciones y mantenciones.

Software.

En la actualidad, las empresas de ingeniería y el área de proyectos de Minera Escondida, realizan gestión documental vía plataforma SmartPlan Foundation. Sin embargo, dicha plataforma no es utilizada por los stakeholders fuera de dicho círculo. Esto es, falta asegurar la participación del área de operaciones y mantenimiento (cliente final), aportando sus observaciones respectivas.

Al igual que en el caso interno MEL, el siguiente paso, es utilizar nuevas plataformas que sean interoperables (versátiles en la visualización), que permitan visualizar modelo en 3D, interferencia, nivel de avance en costos, nivel de avance en programa, entre otros.

Recursos humanos.

Al igual que en el caso interno MEL, dada la contingencia sanitaria, el desarrollo de proyectos se efectúa con personal con sistema de trabajo híbrido. Oficina / terreno y casa. Lo anterior, ha dificultado el avance eficiente de los proyectos. Han aumentado el nivel de reuniones junto a los distintos stakeholders para dar a conocer los avances y obtener validaciones. De modo similar, muchas de dichas reuniones, no cuentan con la participación del personal clave, exponiendo riesgos de reprocesos.

En el escenario propuesto asociado a la implementación de metodología BIM, posibilita el trabajo colaborativo en forma síncrona, oportuna y remota disminuyendo el riesgo que quedar expuestos a reprocesos, o no abordar requerimientos de usuarios relevantes.

Comunicación.

En el escenario actual, las comunicaciones se basan específicamente por canales electrónicos (correo corporativo). No se han observado problemas relevantes de conexiones en sus sistemas informáticos tanto en faena, como si se accede en forma remota. No se genera trazabilidad robusta de dichas comunicaciones. En el escenario propuesto, las comunicaciones potenciarían, focalizarían y canalizarían temas de proyecto sólo vía plataformas BIM, separando las comunicaciones con aquellas que se tengan con ocasión de temas inherentes a las operaciones y mantención.

Almacenamiento de documentos.

Al igual que en el caso interno MEL, el almacenamiento de documentos se basa en sistema de almacenamiento físico a través de carpetas de proyectos en instalaciones de faena.

El sistema de servidor central donde se almacenan archivos de la empresa que se hayan digitalizado, no es posible compartir con empresas de ingeniería, por corresponder a plataformas web corporativos.

En el escenario propuesto, la Metodología BIM, implica la colaboración de información mediante plataformas interoperables, gestionando la emisión, edición, revisión y actualizaciones de documentaciones generadas con ocasión de proyecto.

Procedimientos.

Al igual que en el escenario interno, existen estandarizaciones generados a nivel corporativo direccionadas en: lineamientos de diseño, codificación de planos, formatos de control y gestión de cambios y formatos de protocolos de recepción de trabajos.

Similarmente, no se observan que dichos procedimientos sean de conocimiento transversal durante la gestión de proyectos. Los procedimientos de comunicaciones son generados según el tipo de proyecto y no existe un estándar común.

En el escenario propuesto, la documentación corporativa y aquella generada con ocasión de proyecto, sería conocida en forma transversal y en forma estandarizada para todo el ciclo de vida del proyecto, disminuyendo riesgos de duplicidad y/o utilización de documentación desactualizada.

2.2.2.4 Strategy (Estrategia).

a) Área proyectos y Área operaciones y mantenciones (cliente final). Minera Escondida.

El propósito de BHP es:

- *“Reunir personas y recursos para construir un mundo mejor”*

El propósito de la vicepresidencia de proyectos es:

- *“Conectamos recursos y clientes para generar oportunidades y decisiones que nos permitan desarrollar juntos inversiones sustentables que agreguen valor”*

El propósito de la función de ingeniería es:

- *“Trabajar unidos con un enfoque disciplinado y colaborativo agregando valor a través de soluciones integrales de Ingeniería”*

b) Área colaboradores. Empresas de ingeniería.

Los propósitos de las empresas de ingeniería se describen a continuación:

Hatch Ingenieros Consultores

- *“Construyendo soluciones que hacen realidad su visión”*

Worley

- *“Entregando un mundo más sustentable”*

Pares & Alvarez

- *“Generamos soluciones industriales para la minería, energía, química, derivados de la madera, petróleo, gas, alimentos, manufactura e infraestructura, entregando soluciones y calidad a sus clientes”*

Keypro Ingeniería

- *“Con la atención personalizada en primer plano, entregamos soluciones confiables, flexibles y efectivas para la minería e industria tanto en Chile como en Perú. Creemos en una relación directa y colaborativa con nuestros clientes, entendiendo que hay requerimientos que no pueden esperar”*

Promec Chile

- “Entregar soluciones integrales a nuestros clientes que signifiquen mejorar la eficiencia en sus procesos productivos”

Analizando los propósitos declarados tanto para la compañía, como para la vicepresidencia de proyectos, función de ingeniería y empresas de ingeniería, se observan relativamente alineados hacia la implementación conjunta con el cliente y eficiencia y sostenibilidad.

Para lograr los propósitos antes planeados, se vislumbran los siguientes ítems, focalizados con la implementación de metodología BIM:

- Mejoramiento continuo del personal profesional a través de cursos, seminarios, conferencias, entre otras actividades.
- Dar cumplimiento estricto a las legislaciones en la materia en: construcción, desarrollo de proyecto, seguridad y salud en el trabajo, medio ambiente y comunidad (HSEC).
- Búsqueda de nuevas fórmulas de interrelación y software, en pro de las mejoras espaciales y funcionales de los proyectos.

Tabla 22. Objetivos a 5 años. Fuente: Elaboración propia.

Mejora	5 años a partir de año base	Estrategias
Disminución de costos.	Disminución de costos en al menos 15%, en fase de construcción.	Implementación Metodología BIM
Disminución de plazos.	Disminución de plazos en al menos 15%, en fase de construcción.	Implementación Metodología BIM
Mejorar eficiencia y competitividad.	Interrelación en forma colaborativa a nivel internacional en proyectos menores.	Implementación Metodología BIM

2.2.2.5 Structura (Estructura).

a) Área proyectos y Área operaciones y mantenciones (cliente final). Minera Escondida.

La organización actual e interacciones en la gestión de proyectos se muestra en la Figura 17. La organización propuesta para la estrategia se muestra en la Figura 16.

Producto del carácter administrativo y de gestión del equipo de ingeniería y área usuaria, con la incorporación de metodología BIM, el control del proyecto se realiza de manera centralizada y la toma de decisiones dependiendo del nivel de importancia es centralizada. La comunicación interna con el área usuaria es de manera explícita, la información es expresada con claridad, no quedando lugar a dudas del contenido de la información que se está transmitiendo o generando.

Se observa que el principal impacto organizativo en el equipo interno de proyectos MEL, corresponde a la incorporación de personal asesor experto en metodología BIM, que sirva para gestionar inquietudes internas en la operación de dicha metodología. En este sentido, se considera como

apoyo de tercera parte (externo), con el fin de obtener la flexibilidad necesaria en estructura.

b) Área colaboradores. Empresas de ingeniería.

Al igual que en el ámbito interno, la organización actual e interacciones en la gestión de proyectos se muestra en la Figura 18. La organización propuesta para la estrategia se muestra en la Figura 16.

En este caso, la participación de la empresa de ingeniería es mayormente operativa. Tomando en cuenta el nivel de madurez en la implementación BIM, se observa que el principal impacto organizativo en el equipo de proyectos de las empresas de ingeniería, corresponde a la incorporación de una estructura que posibilite la gestión mediante metodología BIM. En este sentido, se considera un staff según se describe en acápite 2.2.2.2.

2.2.2.6 Skills (Habilidades).

**a) Área proyectos y Área operaciones y mantenciones (cliente final).
Minera Escondida.**

Se observan las siguientes habilidades del equipo de proyectos interno MEL (análisis FODA):

- Experiencia en la gestión de proyectos en el rubro minero.
- Establecimiento de área de proyectos consolidada en la organización.
- Disponibilidad de contratos de equipos de apoyo a proyectos (terceras partes).
- Disponibilidad de contrato marco de ingeniería y construcción.
- Buenos resultados de seguridad en las etapas de estudio y construcción.
- Cartera de proyectos relativamente constante.

b) Área colaboradores. Empresas de ingeniería.

Se observan las siguientes habilidades del equipo de proyectos interno MEL (análisis FODA):

- Experiencia en el desarrollo de proyectos en el rubro minero.
- Personal altamente capacitado.
- Recursos tecnológicos físicos y sistemas.
- En general, buen nivel de madurez de implementación BIM.
- Establecimiento de área de proyectos consolidada en la organización.
- Disponibilidad de contratos de equipos de apoyo a proyectos (terceras partes).

2.2.2.7 Shares values (valores compartidos).

a) Área proyectos y Área operaciones y mantenciones (cliente final). Minera Escondida.

El propósito de BHP es reunir personas y recursos para construir un mundo mejor. Su actuar y de sus trabajadores se rige por una carta de valores:

- **Sostenibilidad** : Situar a la salud y la seguridad en primer lugar, ser ambientalmente responsables y apoyar a nuestras comunidades.
- **Integridad** : Hacer lo correcto y cumplir con nuestra palabra.
- **Respeto** : Valorar la transparencia, la confianza, el trabajo en equipo, la diversidad y las relaciones de beneficio mutuo.
- **Desempeño** : Alcanzar altos resultados para el negocio, utilizando al máximo nuestras capacidades.
- **Simplicidad** : Concentrar nuestros esfuerzos en lo más importante.
- **Responsabilidad** : Definir y aceptar la responsabilidad, y cumplir nuestros compromisos.

Además, sostiene una política estricta de ética y conducta de negocios. Indica *“Los valores de integridad, respeto y responsabilidad, junto con desempeño, sostienen nuestra forma de hacer negocios. Estamos comprometidos a actuar siempre en forma ética y a esforzarnos continuamente por mejorar los sistemas y procesos que sustentan este compromiso”*. Para lo anterior, BHP tiene establecido un Código de Conducta de Negocios, la cual es una herramienta que busca poner en práctica la carta de valores de la compañía.

Como se menciona en acápites anteriores, en BHP se encuentra implementando un Sistema de Mejoramiento Operacional, que afecta en todas sus actividades incluyendo el desarrollo de proyectos, consistente en aplicar las mejores capacidades de la industria a los activos de clase mundial. Dicho Sistema Operacional, se muestra en Figura 12.

c) Área colaboradores. Empresas de ingeniería.

Los valores declarados de las empresas de ingeniería se describen a continuación:

Hatch Ingenieros Consultores

- *“Creemos en las ideas excepcionales que se entregan a través de un servicio excepcional”*

Worley

- *“Transformarse más rápido para emerger más fuerte”*

Pares & Alvarez

- *“Flexibilidad; Compromiso; Transparencia; Innovación; Seguridad y Sustentabilidad; Calidad”.*

Keypro Ingeniería

- *“Ingeniería sustentable, segura y ambientalmente responsable.”*

Promec Chile

- *“Seguridad e integración; Respeto; Profesionalismo y Compromiso; Orientación al Cliente; Trabajo en Equipo; Trabajo En Equipo; Responsabilidad Social y Ambiental; Creatividad y Mejora Continua”*

Analizando los valores declarados tanto para la compañía, como para la vicepresidencia de proyectos, función de ingeniería y empresas de ingeniería, se observan relativamente alineados hacia la innovación, transformación, sostenibilidad y trabajo en equipo. En ese sentido, la implementación de metodología BIM se encuentra, en general, alineado a los valores declarados entre los distintos participantes.

2.2.3 FODA de los distintos tipos de proyectos.

Tabla 23. Análisis FODA. Desarrollo proyectos menores. Fuente: Elaboración propia.

<p>Fortalezas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.-Experiencia en el rubro minero. 2.-Personal altamente capacitado. 3.-Recursos tecnológicos físicos y sistemas. 4.-Establecimiento de área de proyectos consolidada en la organización. 5.-Disponibilidad de contratos de equipos de apoyo. 6.-Disponibilidad de contrato marco de ingeniería y construcción. 7.-Buenos resultados de seguridad en las etapas de estudio y construcción. 8.-Cartera de proyectos relativamente constante. 	<p>Debilidades</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.-Cartera de proyectos insertas en áreas operacionales. 2.-Poca flexibilidad en los procesos internos de aprobaciones. 3.-Presencia de variados stakeholders con incentivos no necesariamente alineados. 4.-Baja utilización de tecnologías durante el desarrollo de proyectos. 5.-Etapa de levantamientos de terreno deficientes. 6.-Información as-built poco confiable. 7.-Integración deficiente entre los stakeholders y desarrolladores.
<p>Oportunidades</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.-Implementación de información asociado a L.L. A.A. 2.-Implementación de iniciativas de optimización de valor. 3.-Ciclos de precio de cobre al alza. 4.-Disponibilidad de tecnologías para gestión, coordinación y levantamientos en proyectos. 5.-Disponibilidad de personal especializado con capacidad de adopción de nuevas tecnologías. 	<p>Amenazas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.-Industria altamente competitiva. 2.-Condiciones climáticas y geográficas extremas. 3.-Presencia de sindicatos fuertes. 4.-Dependencia de ciclos de precios del cobre. 5.-Plazos acotados para la etapa de estudio de un proyecto.

Tabla 24. Análisis FODA. Implementación BIM. Fuente: Elaboración propia.

<p>Fortalezas</p> <p>1.-Mayor facilidad para colaborar entre los participantes del proyecto.</p> <p>2.-Aumento de productividad gracias a una información estructurada y estandarizada.</p> <p>3.-Mejor comprensión de las intenciones del diseño.</p> <p>4.-Mayor precisión y mejores planificaciones de proyecto.</p> <p>5.-Mayor conocimiento generalizado de todos los procesos constructivos desde diseño a fin de obra.</p> <p>6.-La documentación final de obra, será mucho más ajustada a la realidad.</p> <p>7.-Toda la documentación es generada de forma automática y vinculada a un único modelo de datos (mediciones, planos y cálculos). Tanto para el proyecto, la construcción, planos de taller para fabricantes con la máxima calidad y detalle, lo que implica ahorro de costos y tiempo.</p>	<p>Debilidades</p> <p>1.-Mayor dependencia de las herramientas de software ya que no son capaces de desarrollar su propias apps.</p> <p>2.-La metodología BIM debe ser adoptada por todos los miembros participantes relevantes del proyecto.</p> <p>3.-Necesidad de aprender herramientas de mayor complejidad. Implica más tiempo de formación (y más costo); y una dificultad adicional para solventar problemas de representación / modeladamiento, que al principio pueden bajar la productividad.</p> <p>4.-Necesidad de contratación de profesionales que entiendan la nueva metodología o formar al staff, con el costo que supone.</p> <p>5.-Temor a la complejidad del BIM, sentirse no preparado para ello, temor a que arruine su modelo de negocio.</p>
<p>Oportunidades</p> <p>1.-Aumentar la rentabilidad del proyecto.</p> <p>2.-Disminuir los tiempos de ejecución del proyecto..</p> <p>3.-Mejorar la calidad del producto final..</p> <p>4.-Determinación temprana de posibles interferencias.</p> <p>5.-Obtener mayor satisfacción del cliente.</p>	<p>Amenazas</p> <p>1.-Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto.</p> <p>2.-Posibilidad de cometer errores por falta de dominio dela herramienta.</p> <p>3.-Posibilidad de pérdida de productividad.</p> <p>4.-Dependencia de los desarrolladores de softwares.</p> <p>5.-Resistencia al cambio.</p> <p>6.-Aineamiento de las empresas colaboradoras de ingeniería.</p>

Un análisis FODA detallado respecto de los distintos usos de Metodología BIM (Figura 11), y principales brechas observadas en etapa de estudio y que impactan en fase construcción (Base de datos; Modelamiento; Coordinación; Interferencias), se describe en Anexo B. En virtud de lo anterior, nos permite abordar los principales usos BIM a ser implementados.

2.2.4 Priorización de atractivos e impactos en la utilización de BIM.

La estimación de impactos en costos (directos) y programa, se determina a partir de los resultados de la base de datos indicada en capítulo 1.6.2.3, identificando el número de desviaciones en proyectos (en costo directo) en las áreas definidas como: Base de datos, Coordinación, Modelamiento e interferencia, traspasándolas ponderadamente hacia las iniciativas BIM que abordan dichas desviaciones. La base de datos, a su vez, se levanta en virtud de análisis de lecciones aprendidas, no conformidades, reclamos de contratistas y potenciales de desvío (PDN). El resultado, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 25. Porcentaje de brechas levantadas desagregadas en los distintos proyectos analizados. Fuente: Elaboración propia.

Código	Nombre proyecto	Base de datos	Coordinación	Modelamiento	Interferencias
Mina-155	Reemplazo Alimentador B10 y B42 (Mine Loop)	2%	2%	0%	0%
Conc-165	Nuevo Puente Grúa Molienda CLC	2%	4%	4%	4%
NPI-311	Upgrade Casinos VCA y VSL	0%	4%	4%	4%
NPI-215	Cambio de diseño de estanques 4 y 5	2%	2%	2%	0%
NPI-153	Standardization fuel tank CLC	7%	4%	2%	0%
NPI-195	Respaldo (n-1) para SVC Sistema Potencia Escondida	2%	5%	4%	5%
Conc-177	SPCI Sala Eléctrica N°4 y N°202 CLC	4%	2%	0%	0%
Conc-166	Reparación Soporte Bombas CLC	4%	4%	2%	2%
NPI-214	Mejorar Puente Grúa Área 440	0%	7%	9%	9%
		21,1%	31,6%	24,6%	22,8%

Tabla 26. Impactos en CAPEX [USD] producto de brechas desagregados en los distintos proyectos analizados. Fuente: Elaboración propia.

Código	Nombre proyecto	Base de datos	Coordinación	Modelamiento	Interferencias	Peso Proyecto CAPEX
Mina-155	Reemplazo Alimentador B10 y B42 (Mine Loop)	\$ 434.219	\$ 434.219	\$ -	\$ -	13%
Conc-165	Nuevo Puente Grúa Molienda CLC	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	12%
NPI-311	Upgrade Casinos VCA y VSL	\$ -	\$ 54.633	\$ 54.633	\$ 54.633	11%
NPI-215	Cambio de diseño de estanques 4 y 5	\$ 12.033	\$ 12.033	\$ 12.033	\$ -	9%
NPI-153	Standardization fuel tank CLC	\$ 377.136	\$ 188.568	\$ 94.284	\$ -	17%
NPI-195	Respaldo (n-1) para SVC Sistema Potencia Escondida	\$ 57.830	\$ 173.490	\$ 115.660	\$ 173.490	13%
Conc-177	SPCI Sala Eléctrica N°4 y N°202 CLC	\$ 74.214	\$ 37.107	\$ -	\$ -	3%
Conc-166	Reparación Soporte Bombas CLC	\$ 176.802	\$ 176.802	\$ 88.401	\$ 88.401	18%
NPI-214	Mejorar Puente Grúa Área 440	\$ -	\$ 41.718	\$ 52.147	\$ 52.147	3%
Total impacto en CAPEX, \$USD		\$ 1.132.234	\$ 1.118.570	\$ 417.159	\$ 368.672	100%

Tabla 27. Impactos en días al programa producto de brechas desagregados en los distintos proyectos analizados. Fuente: Elaboración propia.

Código	Nombre proyecto	Base de datos	Coordinación	Modelamiento	Interferencias	Peso Proyecto Programa
Mina-155	Reemplazo Alimentador B10 y B42 (Mine Loop)	70	70	0	0	8%
Conc-165	Nuevo Puente Grúa Molienda CLC	0	0	0	0	10%
NPI-311	Upgrade Casinos VCA y VSL	0	11	11	11	11%
NPI-215	Cambio de diseño de estanques 4 y 5	5	5	5	0	19%
NPI-153	Standardization fuel tank CLC	60	30	15	0	12%
NPI-195	Respaldo (n-1) para SVC Sistema Potencia Escondida	13	40	27	40	14%
Conc-177	SPCI Sala Eléctrica N°4 y N°202 CLC	30	15	0	0	5%
Conc-166	Reparación Soporte Bombas CLC	18	18	9	9	9%
NPI-214	Mejorar Puente Grúa Área 440	0	30	38	38	11%
Total impacto en Programa, días		197	220	105	98	100%

En base a la realización de los acápite anteriores, se puede inferir que las herramientas BIM a implementar son las siguientes:

Tabla 28. Herramientas BIM a implementar. Fuente: Elaboración propia.

N°	Descripción	Base de datos	Coordinación	Modelamiento	Interferencias	Software
1	Levantamiento de condiciones existentes.	✓			✓	LIDAR
2	Estimación de cantidades y costos.		✓	✓		BIM 360, ArchiCAD, Vectorworks, Project Wise, BricsCAD BIM, Trimble Connect, Vico Software, Aconex
3	Planificación de fases.		✓	✓		BIM 360, Project Wise, BricsCAD BIM, Tekla Structures, Trimble Connect, Vico Software
4	Análisis de cumplimiento del programa espacial.	✓			✓	BIM 360, Project Wise, BricsCAD BIM, Tekla Structures, Trimble Connect, Vico Software
5	Análisis de ubicación.	✓		✓		Revit, BIM 360, AchiCAD, Vectorworks, Project Wise, BricsCAD BIM, Tekla Structures, Tekla BIM Sight, Trimble Connect, Vico Software, Solidwords, Aconex, BIManywhere
6	Coordinación 3D.		✓		✓	Revit, BIM 360, AchiCAD, Vectorworks, Project Wise, BricsCAD BIM, Tekla Structures, Tekla BIM Sight, Trimble Connect, Vico Software, Solidwords, Aconex, BIManywhere
7	Diseño de especialidades.	✓	✓			Revit, BIM 360, AchiCAD, Vectorworks, Project Wise, BricsCAD BIM, Tekla Structures, Tekla BIM Sight, Trimble Connect, Vico Software, Solidwords, Aconex, BIManywhere
8	Revisión de diseño.		✓	✓		Revit, BIM 360, AchiCAD, Vectorworks, Project Wise, BricsCAD BIM, Tekla Structures, Tekla BIM Sight, Trimble Connect, Vico Software, Solidwords, Aconex, BIManywhere
9	Análisis estructural.		✓		✓	Revit, BIM 360, AchiCAD, Vectorworks, Project Wise, BricsCAD BIM, Tekla Structures, Tekla BIM Sight, Trimble Connect, Vico Software, Solidwords, Aconex, BIManywhere
12	Análisis mecánico.		✓		✓	Revit, BIM 360, AchiCAD, Vectorworks, Project Wise, BricsCAD BIM, Tekla Structures, Tekla BIM Sight, Trimble Connect, Vico Software, Solidwords, Aconex, BIManywhere
13	Otros análisis de ingeniería.		✓		✓	Revit, BIM 360, AchiCAD, Vectorworks, Project Wise, BricsCAD BIM, Tekla Structures, Tekla BIM Sight, Trimble Connect, Vico Software, Solidwords, Aconex, BIManywhere
16	Planificación de obra.		✓	✓		Revit, BIM 360, AchiCAD, Vectorworks, Project Wise, BricsCAD BIM, Tekla Structures, Tekla BIM Sight, Trimble Connect, Vico Software, Solidwords, Aconex, BIManywhere
17	Diseño sistemas constructivos.		✓	✓		Revit, BIM 360, AchiCAD, Vectorworks, Project Wise, BricsCAD BIM, Tekla Structures, Tekla BIM Sight, Trimble Connect, Vico Software, Solidwords, Aconex, BIManywhere
19	Control de obra.		✓	✓		Revit, BIM 360, AchiCAD, Vectorworks, Project Wise, BricsCAD BIM, Tekla Structures, Tekla BIM Sight, Trimble Connect, Vico Software, Solidwords, Aconex, BIManywhere
20	Modelación as-Built.	✓			✓	Revit, BIM 360, AchiCAD, Vectorworks, Project Wise, BricsCAD BIM, Tekla Structures, Tekla BIM Sight, Trimble Connect, Vico Software, Solidwords, Aconex, BIManywhere

Tabla 29. Estimación de impactos directos en ahorro costos por implementación BIM. Fuente: Elaboración propia.

N°	Descripción	Impacta en Costos			
		Base de datos	Coordinación	Modelamiento	Interferencias
1	Levantamiento de condiciones existentes.	0,3%			0,1%
2	Estimación de cantidades y costos.		0,1%	0,1%	
3	Planificación de fases.		0,1%	0,1%	
4	Análisis de cumplimiento del programa espacial.	0,3%			0,1%
5	Análisis de ubicación.	0,3%		0,1%	
6	Coordinación 3D.		0,1%		0,1%
7	Diseño de especialidades.	0,3%	0,1%		
8	Revisión de diseño.		0,1%	0,1%	
9	Análisis estructural.		0,1%		0,1%
12	Análisis mecánico.		0,1%		0,1%
13	Otros análisis de ingeniería.		0,1%		0,1%
16	Planificación de obra.		0,1%	0,1%	
17	Diseño sistemas constructivos.		0,1%	0,1%	
19	Control de obra.		0,1%	0,1%	
20	Modelación as-Built.	0,3%			0,1%
	4,3%	1,6%	1,6%	0,6%	0,5%

Tabla 30. Estimación de impactos directos en ahorro en programa por implementación BIM. Fuente: Elaboración propia.

N°	Descripción	Impacta en Programa			
		Base de datos	Coordinación	Modelamiento	Interferencias
1	Levantamiento de condiciones existentes.	1,0%			0,3%
2	Estimación de cantidades y costos.		0,5%	0,4%	
3	Planificación de fases.		0,5%	0,4%	
4	Análisis de cumplimiento del programa espacial.	1,0%			0,3%
5	Análisis de ubicación.	1,0%		0,4%	
6	Coordinación 3D.		0,5%		0,3%
7	Diseño de especialidades.	1,0%	0,5%		
8	Revisión de diseño.		0,5%	0,4%	
9	Análisis estructural.		0,5%		0,3%
12	Análisis mecánico.		0,5%		0,3%
13	Otros análisis de ingeniería.		0,5%		0,3%
16	Planificación de obra.		0,5%	0,4%	
17	Diseño sistemas constructivos.		0,5%	0,4%	
19	Control de obra.		0,5%	0,4%	
20	Modelación as-Built.	1,0%			0,3%
	15,0%	4,8%	5,3%	2,5%	2,4%

3 DISEÑO ESTRATÉGICO.

3.1 Selección de iniciativa objetivo.

Dado el nivel de impacto tanto en costo y programa, abordando a las principales desviaciones en la generación de proyectos durante la etapa de Selección / Definición combinada, esto es, oportunidades en generación y manejo de Base de datos, oportunidades en una correcta coordinación de especialidades, oportunidades en un correcto modelamiento para aceptación y conocimiento de los distintos stakeholders y detección oportuna de posibles interferencias, se propone abordar las herramientas BIM según la siguiente tabla.

Tabla 31. Herramientas BIM a implementar para generar valor en la disminución de costos y plazos. Fuente: Elaboración propia.

N°	Descripción	Base de datos	Coordinación	Modelamiento	Interferencias
1	Levantamiento de condiciones existentes.	✓			✓
2	Estimación de cantidades y costos.		✓	✓	
3	Planificación de fases.		✓	✓	
4	Análisis de cumplimiento del programa espacial.	✓			✓
5	Análisis de ubicación.	✓		✓	
6	Coordinación 3D.		✓		✓
7	Diseño de especialidades.	✓	✓		
8	Revisión de diseño.		✓	✓	
9	Análisis estructural.		✓		✓
12	Análisis mecánico.		✓		✓
13	Otros análisis de ingeniería.		✓		✓
16	Planificación de obra.		✓	✓	
17	Diseño sistemas constructivos.		✓	✓	
19	Control de obra.		✓	✓	
20	Modelación as-Built.	✓			✓

3.2 Factores críticos

En el entorno BIM de un proyecto participan y colaboran muchos agentes que trabajan con una gran plataforma de información. Por lo que trabajar con esta nueva metodología puede llevar un cierto riesgo adicional de proceso cuando no se está del todo familiarizado con las estrategias y procesos. Para que la metodología BIM tenga sentido, los equipos de un proyecto BIM deben saber en todo momento donde se quiere llegar, de qué forma se va a llevar a cabo y a qué niveles de información se va a trabajar durante cada fase de proyecto.

La Tabla 11 presenta otros autores y consolida los factores identificados en la literatura que son relevantes al momento de llevar a cabo la adopción de BIM. Estos factores van desde un foco estratégico, donde se ve a la empresa con una visión global, hasta una visión más operacional de la implementación.

3.3 Hoja de ruta para implementación BIM

Tomando un enfoque particular asociado a un cuadro de mando integral, el proceso descrito en la Hoja de Ruta para la implementación de BIM en la unidad operativa tiene como objetivo generar una visión global de implantación que incorpore conceptos y factores claves mostrados en este trabajo, dejando las decisiones referentes a los temas operacionales para cuando se haga efectiva la implementación.

La estrategia que rige esta iniciativa es el supuesto de contratación de empresa consultora externa, quien será, la encargada de efectuar un programa para la formación y capacitación BIM.

Esta Hoja de Ruta se expresa como un esquema temporal con horizonte de 1 año siendo dividido en 4 fases trimestrales, donde se pueden visualizar los recursos y habilidades a obtener para abordar las áreas de adopción y lograr las metas y objetivos planteados.

Las 4 fases trimestrales, representan 4 planes de evolución hacia la madurez de implementación deseada, a través de la evolución de 4 ejes estratégicos como la Organización, Tecnología, Procesos y Políticas, que apoyados de los índices de madurez indicados en la matriz BIM, mostrarán los hitos que cumplir para seguir el camino hacia la incorporación de esta metodología de trabajo. A continuación, se dejan los planes de evolución para cada fase.

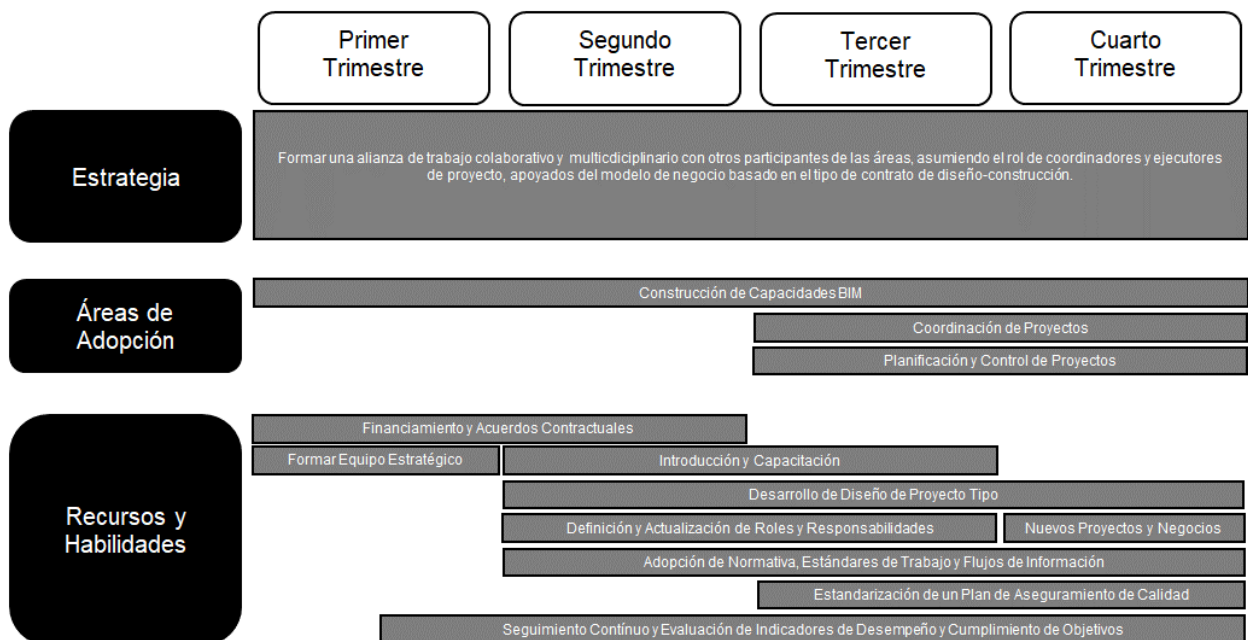


Figura 19. Hoja de ruta para implementación BIM en organizaciones de Minería Escondida. Fuente: Adaptación, Vergara, 2017.

3.3.1 Fase 1. Plan estratégico.

Esta fase inicial de la hoja de ruta, comienza desde el momento que se decide dar el vamos a la implementación de BIM, momento en que también, se debe comprometer a la inversión en recursos tecnológicos, en reconocer la necesidad de educar y capacitar a los agentes que participarán y se deberá estar dispuesto a generar y aceptar cambios tanto en la estructura como en los procesos de trabajo. Esta fase de carácter estratégico-preparatorio se sub-divide en los hitos relevantes a nivel interno (Fase 1.1) como a nivel de equipo estratégico (Fase 1.2), junto con los objetivos en común que deben lograr en cada eje estratégico.

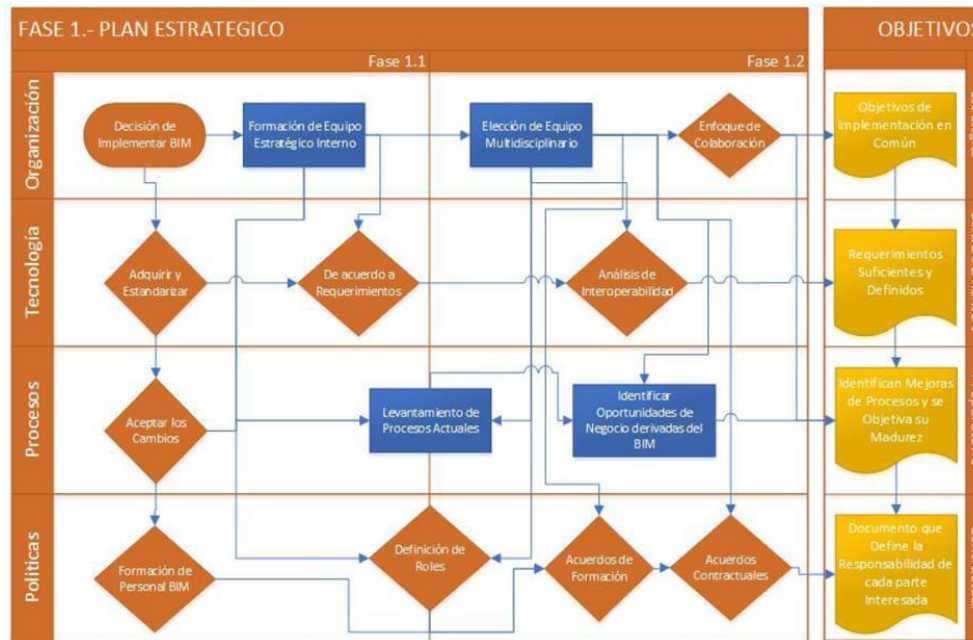


Figura 20. Implementación BIM. Plan estratégico.

Fuente: Adaptación, Vergara, 2017.

3.3.1.1 Fase 1.1.

Centrada netamente en estructurar de un equipo estratégico interno encargado de liderar el proceso de implementación. Guiado por un Líder BIM, este equipo deberá tomar de decisiones y llevar a cabo tareas como:

- i. Hacer partícipe a la gerencia incorporándola al equipo estratégico.
- ii. Definir roles y responsabilidades al interior del equipo de trabajo.
- iii. Identificar claramente los objetivos y las competencias necesarias para obtenerlos.
- iv. Definir el enfoque de trabajo de la alianza estratégica y los socios claves de este.
- v. Estandarizar el perfil y los requisitos técnicos necesarios para la selección de integrantes al equipo.
- vi. Pre-Establecer acuerdos contractuales de la alianza de trabajo.
- vii. Gestionar la contratación de la asesoría externa BIM.

3.3.1.2 Fase 1.2.

Constituir un equipo de trabajo multidisciplinario a través de una alianza estratégica, que posea un enfoque colaborativo con el que sea posible compartir los riesgos y beneficios asociados a trabajar bajo esta metodología, aparece como la tarea principal de esta fase. A continuación, se indican las tareas relevantes a ejecutar para obtener los objetivos que permitan avanzar a la siguiente fase.

- i. Estructurar equipo de trabajo mediante un enfoque colaborativo.
- ii. Instrucción y nivelación en los conceptos básicos de BIM para cada socio.
- iii. Orientar a socios estratégicos en la identificación de oportunidades y a la determinación de objetivos BIM.
- iv. Establecer acuerdos contractuales que definan roles y responsabilidades de esta alianza estratégica.
- v. Realizar la contratación del asesor externo BIM.
- vi. Gestionar proyecto real para utilizar como proyecto piloto.

3.3.2 Fase 2. Formación y capacitación.

La ejecución de esta fase será, a través de la contratación de una consultora externa BIM-Chile cuyo programa de trabajo planteado consiste de 4 puntos: Diagnóstico, Capacitación, Implementación - Desarrollo y Coaching. Con el cual, se busca realizar un entrenamiento en herramientas y procesos BIM, como también, estructurar los flujos de información que intervienen en cada proceso (Fase 2.1), desde la idea y estudio de un proyecto hasta su materialización en obra mediante el desarrollo de un proyecto piloto (Fase 2.2).

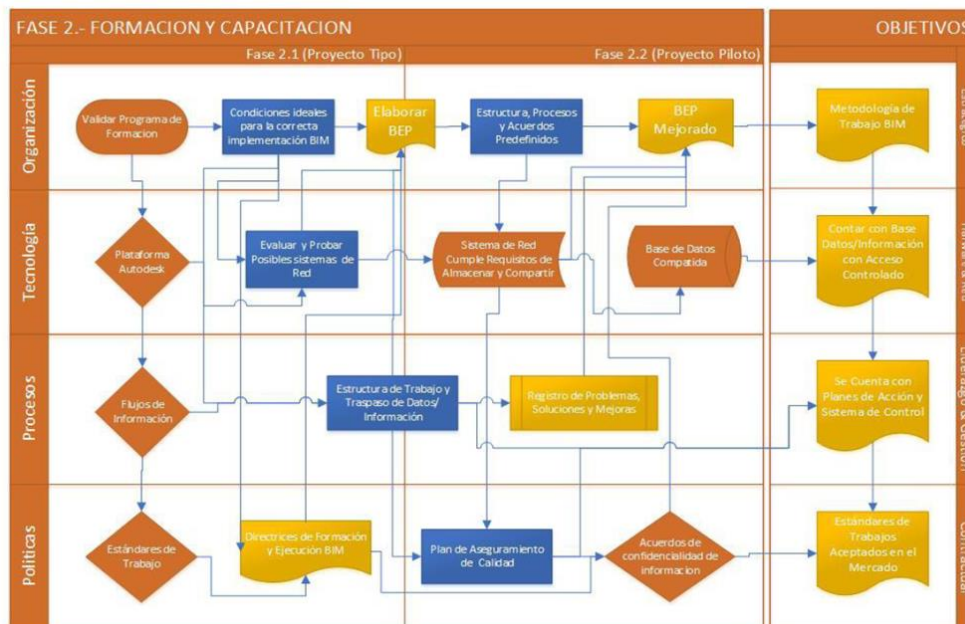


Figura 21. Implementación BIM. Formación y capacitación.

Fuente: Adaptación, Vergara, 2017.

3.3.2.1 Fase 2.1.

Comprende en detectar y recopilar los antecedentes de funcionamiento interno y externo de cada empresa, para descubrir y demostrar la ruta más adecuada de implementación, creando capacidades BIM en el uso de herramientas de diseño mediante el modelamiento instructivo de un proyecto tipo de principio a fin, en el cual se visualizan todas las etapas de interconexión BIM relacionadas con las distintas disciplinas generando un proyecto multidisciplinario para ser simulado y coordinado a través de la plataforma escogida.

Se presentan algunas de las tareas y/o decisiones claves para lograr las condiciones ideales para la correcta implementación BIM:

- i. Definir los coordinadores y responsables por cada especialidad involucrada en el proceso de implementación.
- ii. Definir y adecuar el entorno de trabajo a las condiciones necesarias.
- iii. Establecer una pauta de reuniones de coordinación y chequeo al inicio y final.
- iv. Implantar estándares de trabajo BIM específicos, a partir de los estándares nacionales BIM-Chile / MOP.
- v. Especificar el tipo de infraestructura de red para almacenamiento y traspaso de datos/información que se utilizará.
- vi. Creación de documento BEP (Plan de Ejecución BIM) para desarrollo de proyecto piloto con posibilidades de ejecución.

3.3.2.2 Fase 2.2.

Se pone en práctica los conocimientos obtenidos en el manejo de herramientas, procesos y estándares BIM a través del desarrollo de un proyecto piloto real, el equipo abordara la nueva metodología siguiendo la estructura de trabajo y flujo de información predeterminada encontrándose aquí con primeros problemas reales de ejecución y dificultades para solucionarlos, siendo necesario recurrir al Coaching de BIM-Chile mediante soporte presencial o remoto según sea el caso, produciendo eventuales actualizaciones en el documento BEP.

Siendo el objetivo principal llegar a la materialización el proyecto piloto modelado, se describen tareas y decisiones claves.

- i. Crear carta Gantt con plazos entregables en el proceso de diseño y un “checklist” de revisión de modelos según los estándares.
- ii. Se consolida solución de red según requerimientos de cada uno para compartir y almacenar datos/información.
- iii. Implantar base de datos con información de proyectos y conocimientos BIM.
- iv. Revisar los objetivos propuestos y evaluar de desempeño del proceso implementación.
- v. Generar un plan de aseguramiento de la calidad para la estructura de trabajo.
- vi. Documentar cualquier información que modifique y actualice el BEP.

3.3.3 Fase 3. Marcha blanca.

Desde este punto, se habla de implementación de BIM al contar con los conocimientos y capacidades que permitan modelar nuevos proyectos, evaluando su eventual construcción en un menor tiempo que con los recursos que de la manera tradicional, como también, al integrar otros usos BIM al proceso constructivo que apoyen las decisiones en las etapas de planificación y control de obras, como programaciones de la obra (4D) y los costos de construcción (5D).

Nuevamente se subdivide en 2 fases que describen las tareas y decisiones claves que deben darse al interior de la constructora (Fase 3.1) y en el equipo de proyecto (Fase 3.2) de manera simultánea o en paralelo durante esta fase.

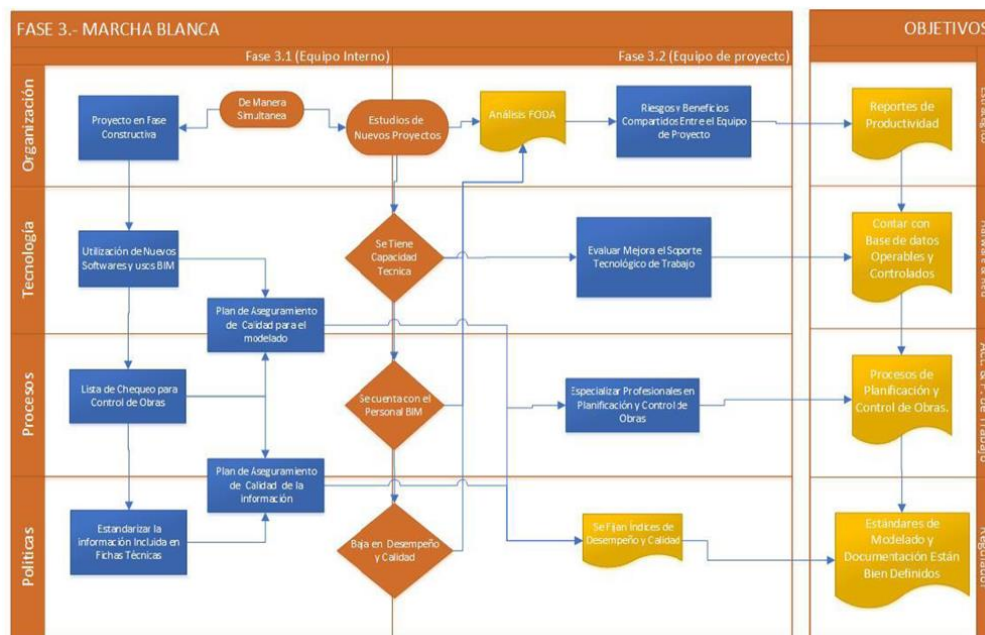


Figura 22. Implementación BIM. Marcha blanca.
Fuente: Adaptación, Vergara, 2017.

3.3.3.1 Fase 3.1.

Centrada en consolidar los procesos de gestión de proyectos en la unidad operativa de Minera Escondida en procesos y metodología BIM, a través del estudio de nuevas obras y de la integración nuevos usos BIM al trabajo, obteniendo en esta fase las primeras señales de aumentos de productividad y/o de retorno de la inversión.

- i. Medir rendimientos de productividad en el diseño y modelamiento de proyectos v/s calidad de la documentación generada.
- ii. Actualizar análisis FODA con la situación actual.
- iii. Esclarecer los estándares y formatos de modelos 3D de proyectos As-Built a entregar.
- iv. Estructurar una lista de chequeo para revisión de programas de obra y controles de costos.
- v. Estandarizar la información y la forma de complementar los documentos actos para construcción.

3.3.3.2 Fase 3.2.

El equipo reconoce a BIM como una serie de tecnología, procesos y cambios en las políticas que deben ser gestionadas priorizando la comunicación a través de una colaboración proactiva, demostrando que existe confianza mutua al continuar trabajando en nuevos proyectos e incorporándose a etapas constructivas aportando soluciones.

- i. Protocolos de trabajo son revisados y actualizados (BEP) antes de iniciar algún proyecto nuevo.
- ii. Actualizar análisis FODA con la situación actual.
- iii. Revisar rutas de monitoreo y control del uso, almacenamiento e intercambio de datos antes de iniciar algún proyecto nuevo.
- iv. Se monitorea planes de aseguramiento de calidad, actualizándose si es necesario.
- v. Evaluar el desempeño de nuevos usos BIM incorporados de manera grupal como individual.

3.3.4 Fase 4. Autonomía.

La estrategia de formar una alianza estratégica de trabajo colaborativo con otros participantes del sector rinde sus primeros frutos a través del aumento en la cantidad de proyectos, con nuevos requerimientos técnicos e incorporación de otras especialidades. Obligando al equipo de proyecto a, evaluar la integración de nuevos participantes en el proceso de diseño y construcción, comenzar un programa de transferencia de conocimientos y capacidades BIM, y a renovar la solución de infraestructura de red utilizada. Tanto al interior de la constructora (Fase 4.1) como en el equipo multidisciplinario (Fase 4.2) se deberán llevar a cabo tareas y tomar decisiones claves, para seguir produciendo y acumulando madurez BIM.

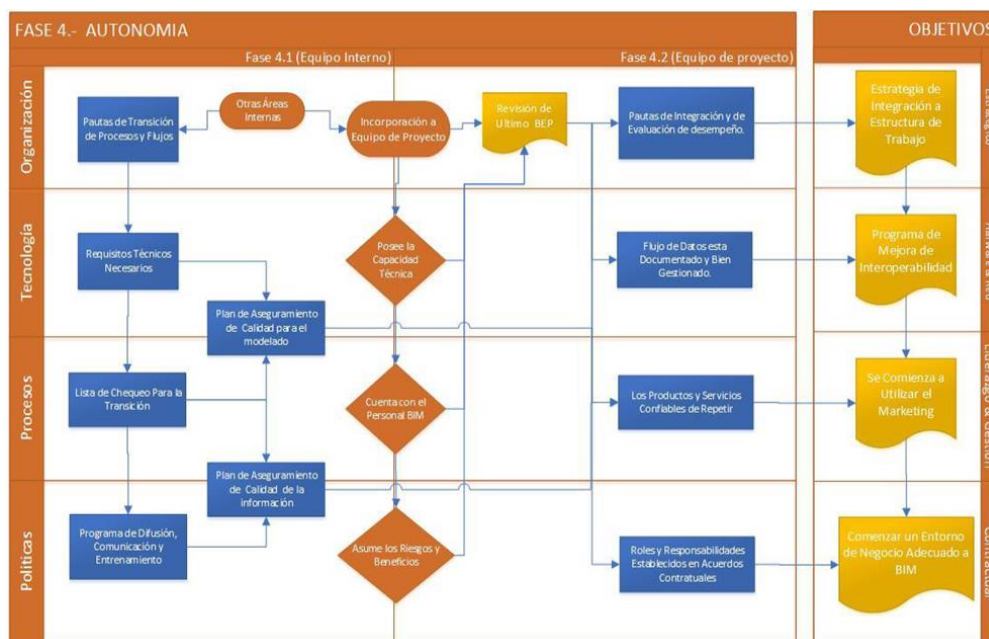


Figura 23. Implementación BIM. Autonomía.
Fuente: Adaptación, Vergara, 2017.

3.3.4.1 Fase 4.1.

Iniciar la transición de los principales procesos de gestión de proyectos en la unidad operativa a procesos y metodología BIM, a través de incorporación de otras áreas de trabajo, de la capacitación e incorporación de nuevos profesionales y de un soporte tecnológico de red que cumpla con los requisitos.

- i. Elaborar programa de difusión, comunicación y entrenamiento multinivel dentro de la empresa.
- ii. Establecer las pautas de incrementación progresiva al personal que estará directamente involucrado en los procesos.
- iii. Crear plan estratégico para la transición a un nivel de capacidad BIM mayor.
- iv. Obtención de financiamiento para nuevo soporte tecnológico de redes.
- v. Efectuar evaluación anual de desempeño y calidad en la gestión de proyectos a través de BIM.

3.3.4.2 Fase 4.2.

La incorporación de socios estratégicos para cumplir los requerimientos de nuevos y mejores proyectos, debe tomarse como una oportunidad para demostrar que los flujos de información y procesos de trabajos se encuentran bien estructurados por estándares y normativas claras. Lo que, acelerara la incorporación y adaptación de estos nuevos socios a la metodología de trabajo BIM.

Mientras que la infraestructura de redes utilizada para compartir y almacenar datos debe transformarse en la herramienta esencial a mejorar la interoperabilidad en el equipo de proyecto.

- i. Establecer las pautas de incorporación progresiva y de capacitación a personal que estará directamente involucrado en los procesos.
- ii. Definir roles y responsabilidades de nuevos socios en acuerdos contractuales.
- iii. Crear programa de transición para el cambio de soporte tecnológico de redes.
- iv. Elaborar programa de difusión, comunicación y entrenamiento multinivel dentro del equipo de proyecto.
- v. Efectuar evaluación anual de desempeño y calidad en la gestión de proyectos a través de BIM.
- vi. Generar plan de marketing para informar a los clientes potenciales sobre sus nuevas habilidades.
- vii.

3.4 Análisis implementación de metodología BIM.

El proceso de implementación BIM se aborda en tres dimensiones de análisis: tecnología, procesos, personas.

3.4.1 Tecnología.

3.4.1.1 La implementación de BIM incrementa la cantidad y variedad de herramientas digitales.

Se observa absoluta coincidencia en que la adopción de BIM en ningún caso se limita a implementar una sola herramienta o proveedor de software. Muy por el contrario, la experiencia internacional (Terán et al., 2018) indican que las empresas estudiadas utilizan un conjunto extenso de herramientas digitales que componen un verdadero “ecosistema” de herramientas de gestión de información que se complementan en sus funcionalidades.

3.4.1.2 Mayor variedad y complejidad de herramientas digitales implica costos sustancialmente mayores.

Los costos de software no se reducen a una o unas pocas herramientas BIM, sino que se multiplican considerablemente debido no sólo a la mayor cantidad de herramientas, sino también a su mayor complejidad que exige inversión en hardware y adquisición de nuevos talentos con competencias fuera de las tradicionales disciplinas. Similar situación se observa con el hardware: no se trata de tener sólo equipos de escritorio más potentes. Algunas tecnologías de gestión de información BIM están diseñadas para utilizarse con equipos digitales móviles o en reuniones de coordinación con equipos proyectores. La disponibilidad de suficientes recursos para la adquisición y renovación constante de tecnología se considera un prerrequisito fundamental para una correcta adopción de BIM.

3.4.1.3 El costo de implementación de herramientas BIM está determinado por la madurez de los modos de trabajo y de gestión del cambio organizacional, no por las características del software.

El costo de implementación de herramientas BIM no está determinado mayormente por la elección de un cierto software, sino por la madurez de los modos de trabajo (particularmente desarrollo de estándares y protocolos establecidos de trabajo), y la disposición y gestión del cambio al interior de las organizaciones. Son estos aspectos procedimentales (y no tecnológicos) los que más determinan la naturalidad o dificultad que enfrentan las organizaciones en la implementación de BIM, e indirectamente, el alcance de la inversión necesaria. Es importante comprender que la implementación de BIM es un proceso complejo que abarca muchísimo más que la adquisición de nuevas herramientas de software. Es un proceso de cambio organizacional para transitar de un enfoque basado en documentos a un enfoque basado en datos.

3.4.1.4 La inversión en redes y servidores es comparativamente menos relevante.

Con relación a las tecnologías de hardware y redes, la utilización de sistemas digitales intensivos en manejos de grandes volúmenes de datos requiere equipos computacionales con más capacidades que los tradicionalmente usados para trabajos basados en documentación 2D y texto.

3.4.2 Procesos.

3.4.2.1 La definición de estándares y protocolos de trabajo es el principal factor determinante del éxito (y de los costos) de la adopción BIM.

Los aspectos procedimentales de la adopción de BIM son los más determinantes del éxito de la implementación de la tecnología (Terán et al., 2018), y donde se encuentran los más importantes costos del proceso de implementación, muy por encima de los costos de tecnología y de personas.

Uno de los aspectos más desafiantes de la implementación efectiva de BIM es la necesidad de contar con procesos y procedimientos de trabajo claramente definidos, tan detallados y precisos como sea posible. Saber con certeza quién hace qué, de qué forma y en qué momento es una condición indispensable para alcanzar el objetivo de trabajo colaborativo e integrado que propugna BIM.

3.4.2.2 Factores culturales pro-estandarización minimizan los costos de implementación.

La definición de procesos de trabajo con BIM puede verse facilitada significativamente por factores contextuales externos a las empresas (Terán et al., 2018). La cultura de estandarización en una organización es uno de los aspectos más influyentes.

En Minera Escondida, se observa una extensa cultura de estandarización de sus procesos. Las áreas operativas y de proyectos están organizadas en torno a diferentes estándares de trabajo que son ampliamente aceptados y seguidos.

3.4.2.3 La existencia de estándares BIM nacionales es uno de los principales factores reductores de costos de implementación transversalmente en una industria.

En la definición de procesos de trabajo, un factor acelerante de los procesos de implementación es la existencia de estándares BIM nacionales ya definidos y aceptados. En específico, que se presente una definición consensuada de los esquemas y protocolos de trabajo, tales como definición de roles, responsabilidades, etapas de trabajo, métodos de colaboración, y otros aspectos organizacionales, procedimentales, e instrumentales del trabajo en equipo y manejo de información digital.

El máximo valor de un estándar se alcanza cuando es adoptado por el mayor número posible de empresas. De hecho, entre mayor sea su adopción, menores serán los costos de implementación y adopción para las empresas y mayores serán las externalidades positivas para toda la industria.

3.4.3 Personas.

3.4.3.1 La formación de competencias BIM abarca muchísimo más que dominio de software.

Es bastante común observar que la “*capacitación*”, o más correctamente, la formación de competencias en BIM sea entendida como formación en el manejo de una herramienta de software particular. Si bien las destrezas computacionales son importantes, la formación de competencias BIM en las empresas exitosas excede con creces el sólo dominio de herramientas de software (Terán et al., 2018). Los programas de formación de competencias BIM de las personas al interior de las organizaciones debiese apuntar a mejorar la toma de decisión y los procesos de trabajo basada en información digital, no en enseñar el uso de software.

3.4.3.2 La formación de competencias BIM basadas en procesos de trabajo es más compleja y costosa que la formación tradicional basada en software.

La formación de competencias BIM basada en un enfoque de gestión de datos es más compleja y extensa que aquella orientada sólo a usar herramientas de modelación o análisis (Terán et al., 2018). El manejo de herramientas de software es la parte más sencilla de resolver, pues existen innumerables opciones de aprendizaje y auto aprendizaje adaptables a todos tipos de empresas. La parte difícil está, precisamente, en el desarrollo de habilidades de trabajo colaborativo y metodologías de gestión integral de información, las cuales, por su naturaleza más compleja, requieren mucho más tiempo para su desarrollo que un curso intensivo de software. Los formatos utilizados por las distintas empresas para mantener formación continua y permanente varían (cursos externos, seminarios internos, sesiones de trabajo, autoaprendizaje, generación de manuales, etc.). La formación de competencias necesarias para la correcta adopción de BIM no es un costo “inicial” de inversión para la implementación de la tecnología, sino es un costo “*permanente*” de operación.

3.4.3.3 Se requiere mantener “facilitadores BIM” permanentes al interior de las empresas.

Los casos exitosos indican que un elemento común es la existencia de un “*gestor BIM*” (o “*facilitador BIM*”) al interior de las empresas, encargado de capacitar y asistir a las personas en relación a los métodos de trabajo BIM y facilitar la distribución de conocimiento al interior de las empresas (Terán et al., 2018). La misión de esta figura no se limita a la generación de las capacidades básicas y gestión de la transición durante las primeras fases de implementación, sino que se mantiene en el tiempo para evaluar y mejorar continuamente los procesos de gestión de información en las empresas.

3.4.3.4 El conocimiento compartido reduce los costos transversalmente en la industria.

Los casos exitosos indican que un elemento común es la existencia de una profunda convicción de que el conocimiento compartido es clave en reducir los costos de adopción BIM (Terán et al., 2018). El conocimiento compartido debe extenderse más allá de la organización, incluso hasta el punto de transformarse en una política que permita distribuir de forma más equitativa el costo de la adopción entre actores y empresas de menor y mayor tamaño.

4 EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA.

4.1 Resultados de implementación BIM

Existe bastante documentación en la literatura acerca de beneficios de la correcta implementación de BIM. Por ejemplo, Rowlinson et al. (2010) identificaron disminución en la duración de los proyectos y en las interferencias de diseño en dos casos de estudio; y Manning and Messner (2008) identificaron los siguientes beneficios en un estudio de centros médicos: Fácil visualización del proyecto, apoyo en la toma de decisiones, rápida actualización de los cambios, aumento en la comunicación entre los actores, y el aumento en la confianza del proyecto. Otros estudios han logrado cuantificar estos beneficios con diversos indicadores. Migilinskas et al. (2013) identificaron un 20% de ahorro en el tiempo para planificar y ver los planos. Lu and Korman (2010) identificaron 560 interferencias en el diseño previas a la construcción. Lu et al. (2013) identificaron una reducción de 40% en los cambios no presupuestados, variación de la estimación del costo menor al 3%, ahorro de un 80% del tiempo para generar una estimación de costos, ahorro en un 10% del valor del contrato, y reducción de hasta 7% en tiempo del proyecto.

Por otro lado, Giel and Issa (2011) estimaron el costo de la implementación en un 0,5% del costo total del proyecto y calcularon el retorno sobre la inversión para una serie de casos, en un rango desde un 16% a un 1.654%.

Dentro de la literatura de implementación BIM en el contexto de empresa, Harrington (2010) describe el caso de una empresa de diseño. El primer paso que dieron fue tomar la decisión de implementar BIM y capacitar a los empleados de altos mandos para poder aprovechar al máximo la implementación. Luego esta empresa formó un equipo BIM para modelar y tomar las decisiones frente a la implementación, a los que capacitó enfocándolos en el manejo del software, primero mediante asesoría una visión operacional que se enfoca en la capacitación de los empleados para que sepan utilizar el software y en cómo se generan los modelos, dejando de lado la mirada estratégica de la implementación.

Kaner et al. (2008) estudiaron el caso de dos empresas de diseño estructural. Una de estas enfocó su implementación en la capacitación de los empleados y en que estos modelaran para generar elementos estándares. La otra empresa tuvo una visión distinta, ya que primero se definió la estrategia a largo plazo, la cual fue apoyada por la alta gerencia. Luego se definieron las etapas de adopción que se llevarían a cabo, empezando por modelar los proyectos para automatizar la generación de planos para pasar al uso de los modelos para análisis estructural. Finalmente se llevó a cabo una etapa de capacitación y luego se implementó el uso de BIM en los proyectos. De este estudio se concluyó que existen amenazas al implementar BIM; la posible dependencia en el equipo capacitado para trabajar con BIM o que las personas no se adapten a esta forma de trabajo. También se identificó que la capacitación formal y un líder que gestione a las personas son muy importantes para la implementación de BIM.

Por último, resultados evaluados por la Universidad de Stanford, específicamente el Centro de Servicios Integrados de Ingeniería (CIFE) en el año 2009, cuantificó los beneficios que se obtuvieron aplicando BIM en 32 grandes proyectos, destacándose los siguientes resultados:

- Eliminación de hasta un 40% de los cambios no presupuestados (imprevistos).
- Reducción de hasta el 80% del tiempo empleado para generar una estimación de los costos.
- Ahorro de hasta un 10% del valor del contrato a través de detecciones de interferencias y conflictos.
- Reducción de hasta el 7% en el tiempo del proyecto.

Por otro lado, en Estados Unidos, la utilización de los programas BIM aplicados al desarrollo de los proyectos han demostrado una disminución del costo final de construcción estimado entre un 3 y hasta un 9% del presupuesto base, y es por esta razón que actualmente más del 50% de los gestores de proyectos exigen tecnologías BIM para el desarrollo de sus proyectos (McGraw Hill, 2008).

4.2 Evaluación escenario propuesto. Costos y plazos de construcción con metodología BIM.

Los gastos mostrados a continuación corresponden a la inversión que debe realizar la empresa de ingeniería para materializar el plan de implementación, considerados la estructura de trabajo mostrada en la siguiente.

Se consideran los siguientes ítems:

- i. **Formación y capacitación:** Siendo distribuido entre todos los integrantes del equipo de proyecto de acuerdo a la cantidad de participantes en el.
- ii. **Asesoría experta:** Asesoría continua adicional en caso de presentarse inconvenientes.
- iii. **Licencia de software & actualización de hardware:** Herramientas de trabajo necesarias.
- iv. **Entorno de Trabajo:** Espacio físico adecuado especialmente para realizar talleres y reuniones de coordinación.
- v. **Infraestructura de redes:** Soporte tecnológico que permite almacenar, monitorear y compartir información. No se incluirá por ser un servicio que se definirá en instancias operativas.

Desglosando para cada proyecto, se tiene las siguientes cifras.

Tabla 32. Benchmark valores de costo (en UF) de horas hombre en contratos de ingeniería. Fuente: Elaboración propia. Base de datos Head of Projects. Minera Escondida.

Empresa	Jefe de Proyecto	Ingeniero Senior	Lider de disciplina	Ingeniero A	Ingeniero B	Proyectista	Dibujante	Control Documentos	Ingeniero de Control	Ingeniero QA/QC	Ingeniero Prevención
Consultora Santiago N°1	2,70	2,60	1,75	1,40	0,90	1,00	0,50	0,75	1,50	1,80	1,80
Consultora Santiago N°2	2,80	2,60	2,40	1,45	0,90	1,10	0,75	1,00	2,00	1,40	1,40
Consultora Santiago N°3	2,30	2,50	2,00	1,60	1,20	1,40	1,20	1,20	1,45	1,75	1,75
Consultora Santiago N°4	2,00	2,60	2,40	1,75	1,35	1,50	1,30	1,30	1,60	1,75	1,75
Consultora Antofagasta	0,55	0,88	0,68	0,68	0,26	0,51	0,20	0,31	0,41	0,41	0,51
Promedio	2,07	2,24	1,85	1,38	0,92	1,10	0,79	0,91	1,39	1,42	1,44
cr	0,91	0,76	0,71	0,41	0,42	0,39	0,47	0,40	0,59	0,59	0,55
s	44%	34%	38%	30%	45%	36%	59%	43%	42%	41%	38%
Máx	2,80	2,60	2,40	1,75	1,35	1,50	1,30	1,30	2,00	1,80	1,80
Min	0,55	0,88	0,68	0,68	0,26	0,51	0,20	0,31	0,41	0,41	0,51
Análisis Considerando Todas la Empresas (Santiago + Antofagasta)	Promedio	2,45	2,58	2,14	1,55	1,09	1,25	0,94	1,06	1,64	1,68
	cr	0,37	0,05	0,32	0,16	0,23	0,24	0,38	0,24	0,25	0,18
	s	15%	2%	15%	10%	21%	19%	40%	23%	15%	11%
	Máx	2,80	2,60	2,40	1,75	1,35	1,50	1,30	1,30	2,00	1,80
	Min	2,00	2,50	1,75	1,40	0,90	1,00	0,50	0,75	1,45	1,40
Análisis Considerando Empresas de Santiago	Promedio	2,45	2,58	2,14	1,55	1,09	1,25	0,94	1,06	1,64	1,68
	cr	0,37	0,05	0,32	0,16	0,23	0,24	0,38	0,24	0,25	0,18
	s	15%	2%	15%	10%	21%	19%	40%	23%	15%	11%
	Máx	2,80	2,60	2,40	1,75	1,35	1,50	1,30	1,30	2,00	1,80
	Min	2,00	2,50	1,75	1,40	0,90	1,00	0,50	0,75	1,45	1,40

La Tabla 32, muestra el costo en UF de las horas hombre de profesionales que forman parte de la base de datos en la estimación de costos.

Tabla 33. Estimación inversión como aumento con ocasión de implementación de BIM. Fuente: Elaboración propia.

		30-06-2022	1 UF	\$ 33.086,83	\$CLP	
		30-06-2022	1 USD	\$ 919,97	\$CLP	
Profesionales						
Descripción	Cantidad (N°)	% Proyecto (%)	Remuneración (UF)	Meses (N°)	Total (UF)	
Jefe de Proyecto BIM	1	25%	441,00	60	6.615,00	
Jefe de Ingeniería	1	25%	441,00	60	6.615,00	
Coordinador BIM	1	25%	384,75	60	5.771,25	
Administrador BIM	1	25%	384,75	60	5.771,25	
Jefe de Disciplina BIM. Civil-Estructural	1	25%	279,00	60	4.185,00	
Jefe de Disciplina BIM. Mecánico-Piping	1	25%	279,00	60	4.185,00	
Jefe de Disciplina BIM. Eléctrico-Instrumentación	1	25%	279,00	60	4.185,00	
Modelador BIM. Civil-Estructural	2	25%	225,00	60	6.750,00	
Modelador BIM. Mecánico-Piping	2	25%	225,00	60	6.750,00	
Modelador BIM. Eléctrico-Instrumentación	2	25%	225,00	60	6.750,00	
Asesoría Experta BIM	1	7%	540,00	60	2.268,00	USD
Subtotal					59.845,50	2.152.350
Software						
Licencia (UF)	Cantidad (N°)	% Proyecto (%)	Costo (UF)	Meses (N°)	Total (UF)	USD
Software	4	25%	125	60	7.500,00	269.738
Hardware						
Estaciones de trabajo (UF)	Cantidad (N°)	% Proyecto (%)	Costo (UF)	Meses (N°)	Total (UF)	USD
Hardware	6	25%	30	60	2.700,00	97.106
Entorno de trabajo						
Entorno de trabajo (UF)	Cantidad (N°)	% Proyecto (%)	Costo (UF)	Meses (N°)	Total (UF)	USD
Talleres y sala de reuniones	3	25%	200	60	9.000,00	323.686
Infraestructura de redes						
Infraestructura de redes (UF)	Cantidad (N°)	% Proyecto (%)	Costo (UF)	Meses (N°)	Total (UF)	USD
Soporte tecnológico, almacenamiento y monitoreo.	1	25%	150	60	2.250,00	80.922
					UF	USD
					81.296	2.923.802

Es interesante ver cómo el esfuerzo asociado con los procesos tradicionales se centra más en la fase de ejecución, sin embargo, los costos de implementación comienzan antes de esta etapa, lo que favorece en la disminución de contratiempos en ésta. Mientras antes y más detallado sea el estudio del proyecto, menor será el impacto sobre sus costos, por lo que se busca resolver de forma temprana los problemas, debido que se complejizan a medida que el proyecto avanza. La aplicación del BIM en etapas tempranas favorece entonces la tendencia de disminuir los imprevistos o problemas asociados a la coordinación o falta de detalles en el proyecto.

Se ha tratado que la implementación del BIM implica grandes cambios por lo cual, es preciso analizar los pros y los contras, hacer un balance y tomar una decisión informada. En general, los contras de una manera u otra se evalúan en términos de costos. Desde la perspectiva de la herramienta, los costos directos representan la inversión realizada en la adquisición de licencias y capacitación de los usuarios, y los costos indirectos representan las consecuencias de la pérdida de productividad en el período de aprendizaje y adaptación. Estos factores pueden ser combinados y ponderados en la forma de un análisis de Retorno sobre la Inversión (*ROI – Return on Investment*).

Básicamente, el análisis del ROI es un estudio comparativo entre las ganancias y las pérdidas previsibles de la inversión.

$$ROI = \frac{\text{Ganancias}}{\text{Costos}}$$

Ecuación 1

La complejidad de la fórmula aumenta a medida que se consideran más variables de costos. Algunas variables son difíciles de determinar, por lo que es preciso realizar estimaciones o proyecciones basadas en estudios o antecedentes que puedan sustentar los planteamientos.

La variable asociada a la pérdida de productividad es difícil de precisar, siendo probable que en un principio exista una pérdida de productividad, pero a medida que aumenta el aprendizaje, la tendencia es a obtener ganancias. La siguiente figura ilustra lo que sucede cuando el nuevo sistema se pone en marcha:

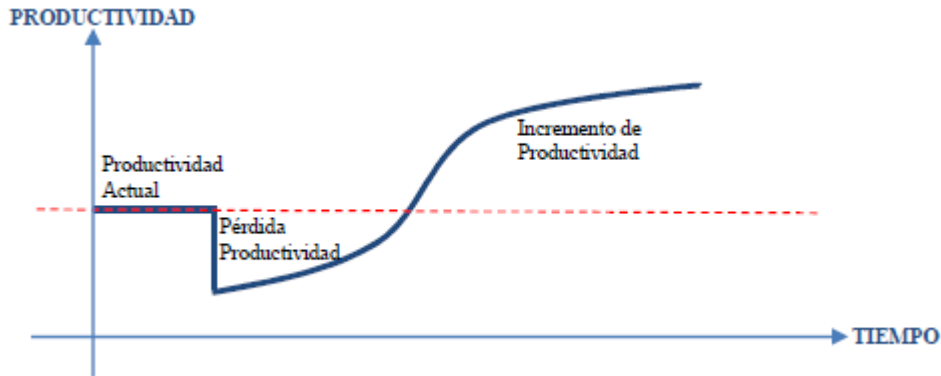


Figura 24. Productividad del diseño en la implementación de un sistema BIM.
Fuente: Coloma, 2012.

A continuación, se muestra una fórmula estándar para el cálculo del retorno de la inversión en el primer año, el uso de variables relacionadas con los costos del sistema, el aprendizaje y el sistema general de ahorro productivo:

$$ROI = \frac{\left(B - \left(\frac{B}{1+E} \right) \right) \times (12 - C)}{A + (B \times C \times D)}$$

Ecuación 2

Donde:

- A : costo del hardware y software [USD].
- B : costo de mensual implementación [USD].
- C : tiempo para formación y entrenamiento [meses].
- D : pérdidas de productividad durante la formación [%].
- E : ganancias de productividad después de la formación y entrenamiento [%].

Notar que:

- El numerador de la ecuación representa los beneficios a una mayor productividad.
- $B - (B/(1+E))$, representa el incremento medio mensual de la productividad.
- $(12-C)$, representa el número de meses al año que ya no están bajo el aprendizaje.
- El denominador de la ecuación representa la parte relativa a los costos.

Tabla 34. Estimación Retorno sobre la inversión en Implementación BIM. Fuente: Elaboración propia.

		Valor
A	Costo Software y Hardware, USD	366.844
B	Costo Mensual Mano de Obra, USD	35.873
C	Tiempo de formación, Meses	6
D	Pérdida de productividad durante la formación, %	50%
E	Aumento de productividad después de la formación, %	25%
		Año 1
	ROI	9,1%

Los valores indicados, tienen la siguiente base:

- **Formación:** Corresponde al mayor tiempo declarado por los gerentes técnicos de empresas de ingenierías del contrato marco consultadas.
- **Pérdida de productividad:** Corresponde al mayor valor declarado por los gerentes técnicos de empresas de ingenierías del contrato marco consultadas.
- **Aumento de productividad:** Corresponde al menor valor declarado por los gerentes técnicos de empresas de ingenierías del contrato marco consultadas.

Utilizando las cifras presentadas en la anterior, el ROI calculado está por encima del 9%. Es un ROI favorable para una inversión en tecnología, y sería una decisión financiera favorable para un mandante.

4.3 Comparación diferencial entre ambos escenarios. Actual y con implementación BIM en función de parámetros de evaluación de proyecto.

Para realizar un análisis diferencial de las posibles ganancias de implementación BIM, se tomarán en cuenta los siguientes ítems.

- Disminución de costos directos por ahorro en la detección oportuna de interferencias, realización de correcta coordinación de disciplinas, mantener base de datos para obtener correcta información as-built y mejorar el conocimiento aceptación oportuna de los distintos stakeholders por un correcto modelo compartido.
- Ganancia de valor con ocasión de entrega oportuna a operaciones según lo pronosticado en fase de estudio. Esto es, se ahorran la desviación promedio del 15% en plazos de entrega a operaciones. Lo anterior, en virtud de la revisión de resultados históricos analizados en base de datos de Minera Escondida.

Para lo anterior, la ganancia de entrega oportuna a operaciones, se determinará según el costo diario de detención de la Concentradora de menor capacidad. Lo anterior, pues deteniendo dicho proceso, se estima que Minera Escondida detiene parte importante de la producción total. Dicho costo, corresponde a USD 1,19 MM/día (Área de Riesgos Minera Escondida, 2019). A modo conservador, se considerará un 1% de dicho costo diario, como generación de valor por entrega según lo programado. Lo anterior, pues según información proporcionada por el área de operaciones, pueden implementar medidas mitigadoras direccionadas a continuar la producción, pero a niveles reducidos que van de 25% a 50%.

Los resultados en base a Tasa Interna de Retorno, se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35. Determinación Tasa Interna de Retorno por implementación BIM.

Fuente: Elaboración propia.

N° de Proyectos		4	Proyectos/año			
Costo promedio anual implementación BIM	\$	584.760	USD/año			
CAPEX promedio	\$	7.927.830	USD/proyecto			
SCHEDULE promedio		457	Días/proyecto		1,25	año/proyecto
Ahorro directo estimado en costo		4,26%	%/proyecto			
Ahorro directo estimado en plazo		15,03%	%/proyecto			
Costo de oportunidad por día de detención	\$	1.191.000	USD/día	\$	434.715.000	USD/año
%Atribución de detención		5,00%				

Ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	\$ 2.923.802					
Δ Costo Fase SPS / DPS		\$ 584.760	\$ 584.760	\$ 584.760	\$ 584.760	\$ 584.760
Δ Costo Proyecto, directo con BIM		\$ -1.349.615	\$ -1.349.615	\$ -1.349.615	\$ -1.349.615	\$ -1.349.615
Δ Costo Proyecto, indirecto con BIM entrega en plazo		\$ -16.372.280	\$ -16.372.280	\$ -16.372.280	\$ -16.372.280	\$ -16.372.280
	\$ 2.923.802	\$ -17.137.135	\$ -17.137.135	\$ -17.137.135	\$ -17.137.135	\$ -17.137.135
TIR		586,1%				

4.4 Análisis de sensibilidad.

Con el objeto de facilitar la toma de decisiones y análisis, se realiza una revisión de la sensibilidad, el cual indicará las variables que más afectan el resultado económico del proyecto de implementación BIM y cuáles son las variables que tienen poca incidencia en el resultado final.

En dicho proyecto de implementación, la sensibilidad debe hacerse con respecto al parámetro más incierto. Sin embargo, se ha considerado aconsejable estimar la posibilidad de modificaciones de todas las variables.

4.4.1 Análisis ROI.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos al modificar las variables de Ecuación 1:

Tabla 36. Análisis de sensibilidad. Determinación de Retorno sobre la inversión.

Fuente: Elaboración propia.

Variable	Variación	ROI	%Variación Caso Base
Costo Software & Hardware	50%	6,5%	-27,9%
	25%	7,6%	-16,2%
	0%	9,1%	0,0%
	-25%	11,2%	24,0%
	-50%	14,8%	63,0%
Costo Mano de Obra	50%	12,2%	34,7%
	25%	10,7%	18,3%
	0%	9,1%	0,0%
	-25%	7,2%	-20,5%
	-50%	5,1%	-43,6%
Tiempo de Formación	50%	4,1%	-55,1%
	25%	6,4%	-29,0%
	0%	9,1%	0,0%
	-25%	12,0%	32,5%
	-50%	15,4%	69,2%
Pérdida de Productividad	50%	8,1%	-10,2%
	25%	8,6%	-5,4%
	0%	9,1%	0,0%
	-25%	9,6%	6,0%
	-50%	10,2%	12,8%
Aumento de Productividad	50%	12,4%	36,4%
	25%	10,8%	19,0%
	0%	9,1%	0,0%
	-25%	7,2%	-21,1%
	-50%	5,0%	-44,4%

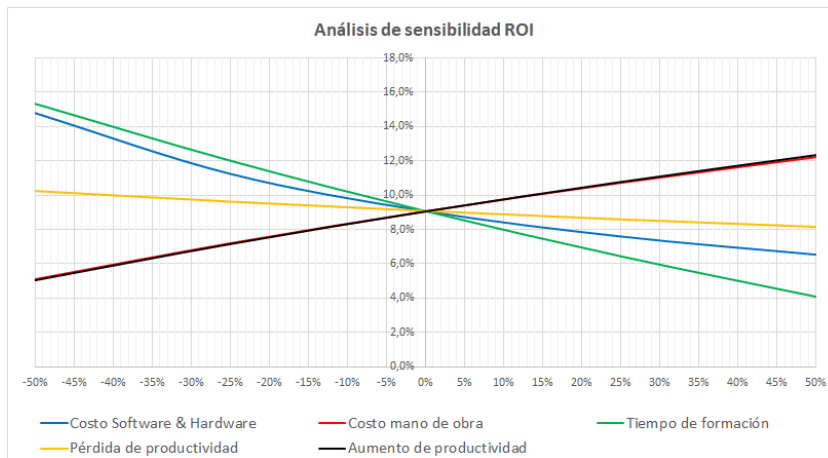


Gráfico 4. Análisis de sensibilidad. Determinación de Retorno sobre la inversión. Fuente: Elaboración propia.

Analizando la Ecuación 1 a partir de sus variables y considerando escenario base, se tiene lo siguiente:

- Aumento variable A, Costo Software y Hardware, considerando las demás variables constantes:

$$\lim_{A} ROI = 0,0\%$$

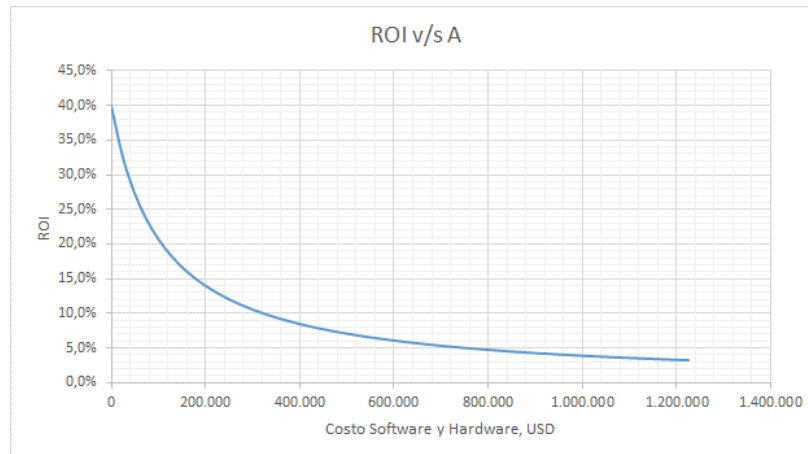


Gráfico 5. Variación ROI, con aumento del Costo Software y Hardware. Fuente: Elaboración propia.

- Aumento variable B, Costo Medio Mano de Obra, considerando las demás variables constantes:

$$\lim_{B} ROI = (1 - (1/(1+E))) (12-C) / (CD)$$

$$\lim_{B} ROI = 40,0\%$$

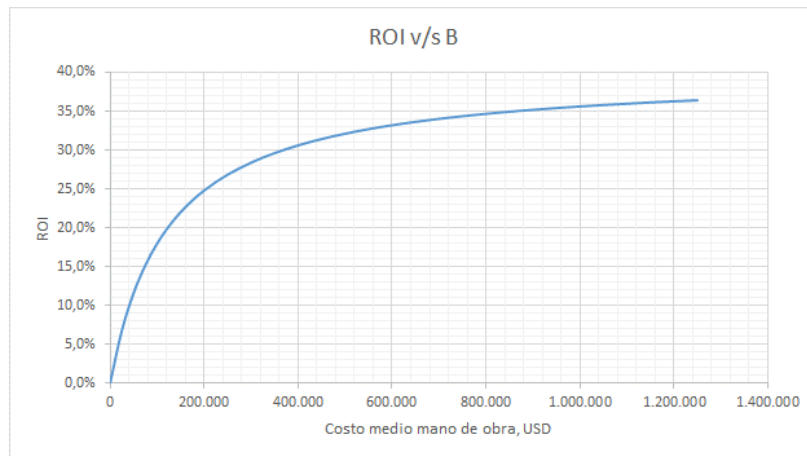


Gráfico 6. Variación ROI, con aumento del Costo Medio Mano de Obra. Fuente: Elaboración propia.

- Aumento variable C, Tiempo de Formación, considerando las demás variables constantes:

$$\lim_C ROI = 0,0\%$$

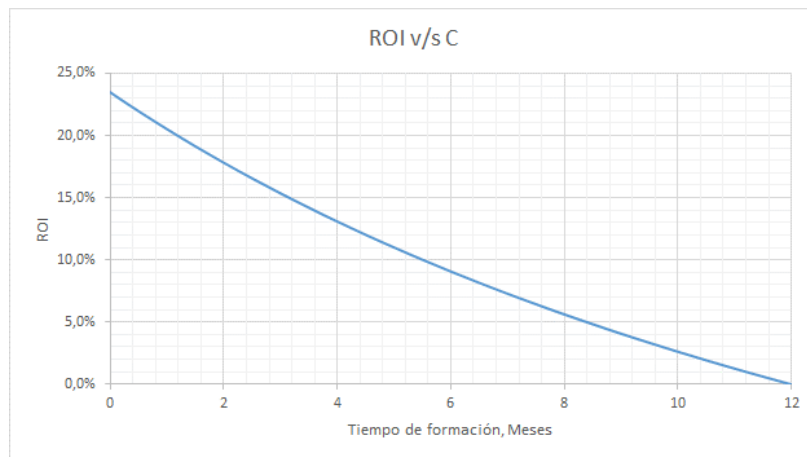


Gráfico 7. Variación ROI, con aumento en Tiempo de Formación. Fuente: Elaboración propia.

- Aumento variable D, Pérdida de Productividad Durante la Formación, considerando las demás variables constantes:

$$\lim_D ROI = 0,0\%$$

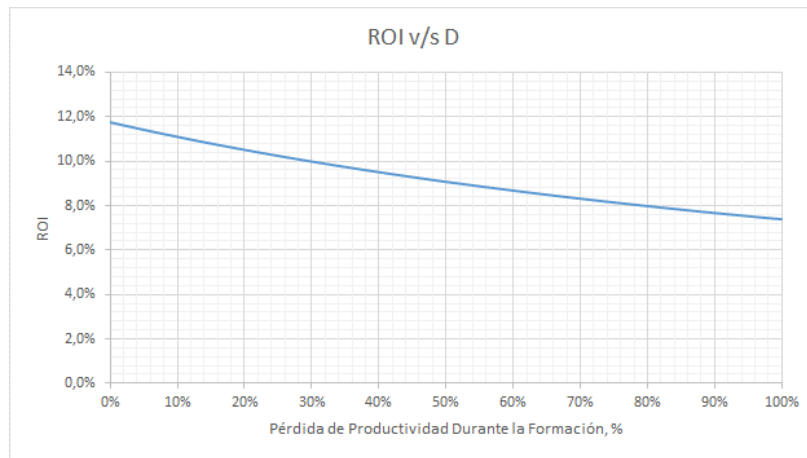


Gráfico 8. Variación ROI, con aumento de la Pérdida Durante Período de Formación. Fuente: Elaboración propia.

- Aumento variable E, Aumento de Productividad Después de Formación, considerando las demás variables constantes:

$$\lim_{E} ROI = B (12-C) / (A+B C D)$$

$$\lim_{E} ROI = 45,4\%$$

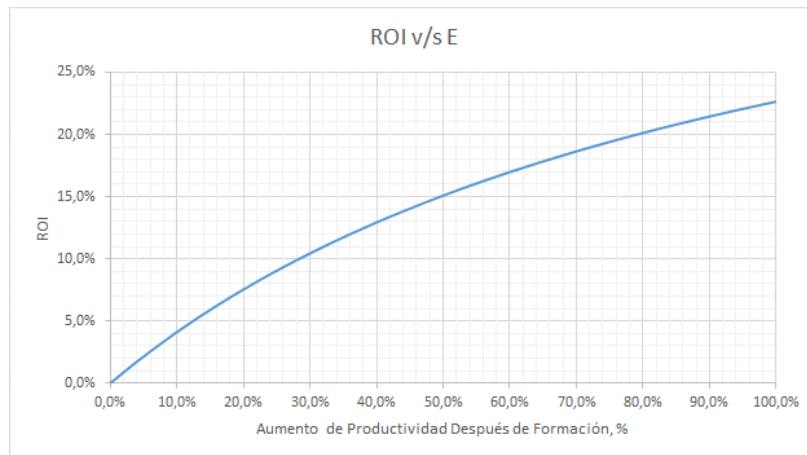


Gráfico 9. Variación ROI, con aumento de Productividad Después de Formación. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en tabla y gráficos anteriores, el aumento de la productividad, tiempo de formación y pérdida de productividad, son las variables que más afectan a la rentabilidad del proyecto.

4.4.2 Análisis TIR.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos al modificar las variables de Tabla 35.

Tabla 37. Análisis de sensibilidad. Determinación de Tasa Interna de Retorno.
Fuente: Elaboración propia.

Variable	Variación	TIR	%Variación Caso Base
Atribución detención	10,00%	1146,1%	95,5%
	7,50%	866,1%	47,8%
	5,00%	586,1%	0,0%
	2,50%	305,9%	-47,8%
	0,00%	9,7%	-98,3%
N° de Proyectos	6,0	889,2%	51,7%
	5,0	737,6%	25,9%
	4,0	586,1%	0,0%
	3,0	434,5%	-25,9%
	2,0	282,7%	-51,8%
CAPEX Promedio, MMUSD	13,2	616,8%	5,2%
	11,8	608,6%	3,8%
	7,9	586,1%	0,0%
	4,1	563,5%	-3,8%
	1,9	551,1%	-6,0%
PROGRAMA Promedio, Días	778	978,9%	67,0%
	618	782,8%	33,6%
	457	586,1%	0,0%
	297	389,3%	-33,6%
	201	271,9%	-53,6%

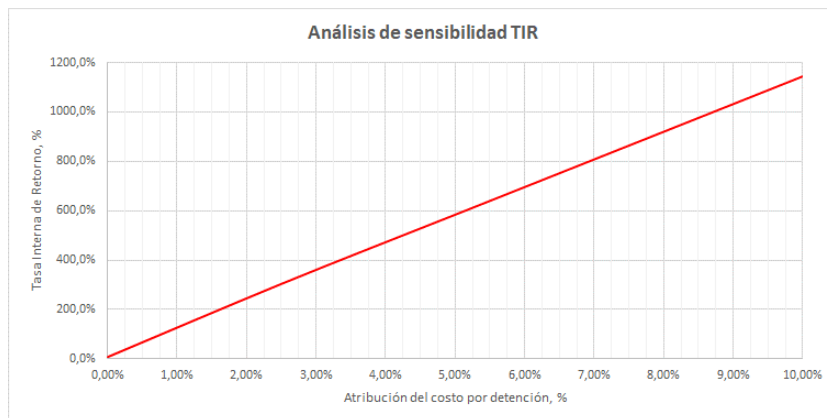


Gráfico 10. Variación TIR, con aumento de Atribución del Costo por Detención.
Fuente: Elaboración propia.

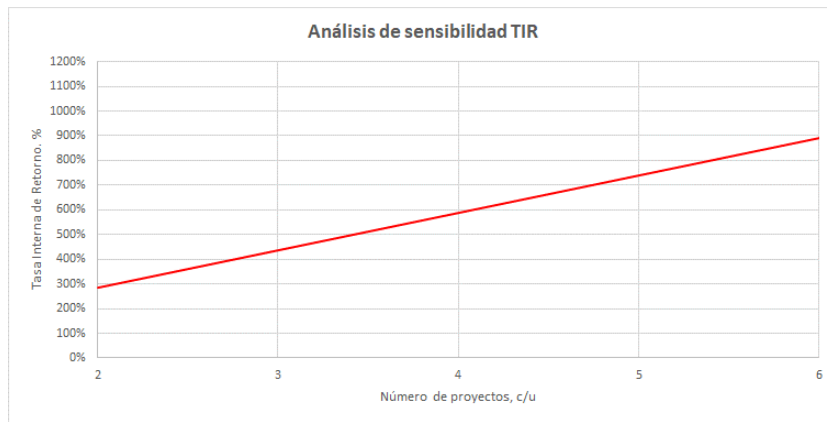


Gráfico 11. Variación TIR, con aumento de Número de Proyectos.
Fuente: Elaboración propia.

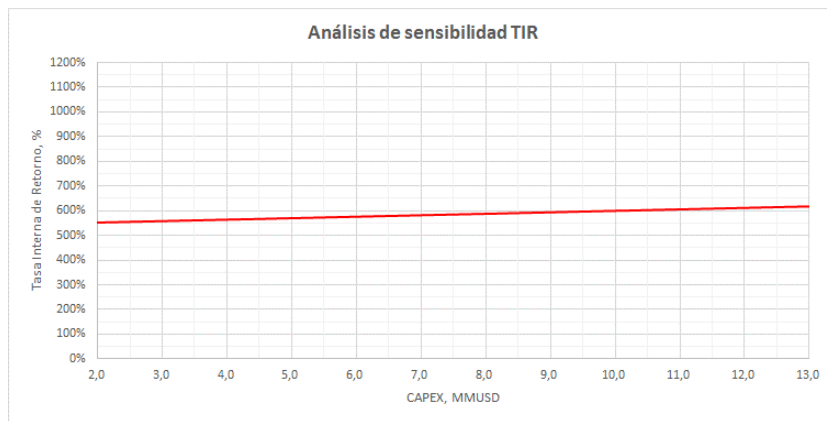


Gráfico 12. Variación TIR, con aumento de CAPEX.
Fuente: Elaboración propia.

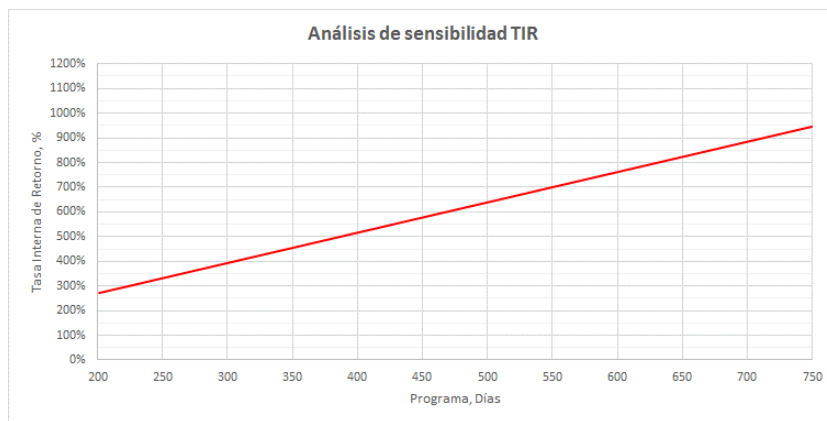


Gráfico 13. Variación TIR, con aumento de Programa.
Fuente: Elaboración propia.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones.

- Respecto del proceso de implementación BIM se observan las siguientes conclusiones para las dimensiones de análisis: tecnología, procesos, personas.

Tecnología.

- La implementación de BIM incrementa la cantidad y variedad de herramientas digitales.
- Mayor variedad y complejidad de herramientas digitales implica costos sustancialmente mayores.
- El costo de implementación de herramientas BIM está determinado por la madurez de los modos de trabajo y de gestión del cambio organizacional, no por las características del software.
- La inversión en redes y servidores es comparativamente menos relevante.

Procesos.

- La definición de estándares y protocolos de trabajo es el principal factor determinante del éxito (y de los costos) de la adopción BIM.
- Factores culturales pro-estandarización minimizan los costos de implementación.
- La existencia de estándares BIM nacionales es uno de los principales factores reductores de costos de implementación transversalmente en una industria.

Personas.

- La formación de competencias BIM abarca muchísimo más que dominio de software.
- La formación de competencias BIM basadas en procesos de trabajo es más compleja y costosa que la formación tradicional basada en software.
- Se requiere mantener “facilitadores BIM” permanentes al interior de las empresas.
- El conocimiento compartido reduce los costos transversalmente en la industria.

- En base a los resultados obtenidos respecto del nivel de utilización de metodología BIM en empresas de contrato marco en Minera Escondida, en los indicadores: Proceso, Infraestructura e Impacto, se observa que efectivamente 3 de 5 empresas consultoras se encuentran en un nivel medio a alto en dicha implementación.
- Dado los análisis realizados, se observa que es posible una disminución del 4,3% en costos directos, mediante la implementación de Metodología BIM.
- Sin embargo, si consideramos la recuperación de valor por entrega oportuna del proyecto promedio a operaciones, se observa una Tasa Interna de Retorno del 586%, como magnitud conservadora.
- Para el caso de Retorno Sobre la Inversión en la implementación de Metodología BIM, se observa, un ROI de 9,1% como magnitud conservadora el primer año.
- Dado los análisis realizados, se observa que es posible una disminución del 15,0% en plazos, mediante la implementación de Metodología BIM.
- Durante la implementación de BIM, se pueden obtener sinergias a nivel internacional, para el caso de empresas internacionales.

5.2 Recomendaciones.

- Aumentar la base de datos, estandarizando la forma de levantar brechas que sirvan de base para análisis complementarios posteriores.

6 BIBLIOGRAFÍA.

1. Autodesk. Return on Investment with Autodesk Revit. Autodesk Building Solutions White Paper. Available online: <http://usa.autodesk.com/revit/white-papers>, 2015.
2. BHP. Minerals Americas Projects, Productivity FY21. Santiago, Chile, 2019.
3. BHP. Minerals Americas Projects, Functional Model Playbook. Santiago, Chile, 2019.
4. BHP. Minerals Americas Projects, Internal Standard. Santiago, Chile, 2020.
5. BHP. Minerals Americas Projects, Manual de Ingeniería para Proyectos. Santiago, Chile, 2018.
6. Bradley, Meyers. "Principios de Finanzas Corporativas", Mcgraw-Hill, 2003.
7. Cerón I., Liévano D. Plan de implementación de metodología BIM en el ciclo de vida en un proyecto. Tesis (Especialista en Gerencia de Obras). Bogotá, Colombia. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería, 2017.
8. Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, "Guía inicial para implementar BIM en las organizaciones". [en línea]. Abril 2017.
9. Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, Mesa de Trabajo de Productividad, "Buenas Prácticas en la Construcción Minera". [en línea]. Junio 2015. <https://www.cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Informe-Buenas-Practicas-en-la-Construccion-Minera.pdf> [consulta: 15 agosto 2020].
10. Coloma, E. Tecnologia BIM per al disseny Arquitectònic. Tesis (Doctorado) Universitat Politècnica de Catalunya, Cataluña, España, 2012.
11. Eliash Alejandro. Entendiendo el uso de BIM en los procesos de diseño y coordinación de especialidades en Chile. Tesis (Magister en Administración de la Construcción). Santiago, Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, 2015. 27 h.
12. Giel, B. K., and Issa, R. R. "Return on Investment Analysis of Using Building Information Modeling in Construction." Journal of Computing in Civil Engineering, 27(5), 511-521, 2011.
13. Harrington, D. J. "The Implementation of BIM Standards at the Firm Level." Proc., Structures Congress 2010, ASCE, 1645-1651, 2010.
14. Holness, G. BIM Gaining Momentum. ASHRAE Journal, 50 (6), 28-40, 2008.
15. Holness, G. Building Information Modeling. ASHRAE Journal, 48, (8), 38-46, 2006.
16. Kaner, I., Sacks, R., Kassian, W., and Quitt, T. "Case studies of BIM adoption for precast concrete design by mid-sized structural engineering firms." ITcon, 13, 303-323, 2008.

17. Kunz, J., & Fischer, M. Virtual design and construction: themes, case studies and implementation suggestions. Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), Stanford University, 2009.
18. Kymmell, W. Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations. México City: McGraw Hill, 2008.
19. MacKinsey&Company, Productividad laboral en Chile ¿Cómo estamos?. [en línea]. IRADE 28-11-213 IRADE. <https://irade.cl/wp-content/uploads/2013/12/Rodrigo_Alcoholado.pdf> [consulta: 19 agosto 2020].
20. Lu, N., and Korman, T. "Implementation of building information modeling (BIM) in modular construction: Benefits and challenges." Proc., Proc., Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice, Construction Institute of ASCE Reston, VA, 1136-1145, 2010.
21. Lu, W., Peng, Y., Shen, Q., and Li, H. "Generic Model for Measuring Benefits of BIM as a Learning Tool in Construction Tasks." Journal of Construction Engineering and Management, 139(2), 195-203, 2013.
22. Manning, R., and Messner, J. "Case studies in BIM implementation for programming of healthcare facilities." ITcon, 13, 246-257, 2008.
23. Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V., and Ustinovichius, L. "The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation." Procedia Engineering, 57(0), 767-774, 2013.
24. McGraw-Hill Construction. Building Information Modeling (BIM): Transforming Design and Construction to Achieve Greater Industry Productivity, in Building Information Modeling Trends SmartMarket Report. McGraw-Hill: NY, 2008.
25. Minera Escondida Limitada, Manual de operación. Contrato Marco Ingenierías Menores. Antofagasta, Chile, 2017.
26. Rowlinson, S., Collins, R., Tuuli, M. M., and Jia, Y. "Implementation of building information modelin (BIM) in construction: a comparative case study". AIP Conference Proceedings, 1233 (1), 572-577, 2010.
27. Sompolgrunk A., Banihashemi S., Reza S. Building information modelling (BIM) and the return on investment: a systematic analysis. School of Design and Built Environment, University of Canberra and Department of Building and Real Estate, Hong Kong University of Science and Technology, 2021.
28. Succar, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in construction, 18(3), 357-375. 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003> [consulta: 10 febrero 2021].

29. Terán, M., Loyola, M., Pallarés, M. E., Soza, P., Elgueta, H., Escobedo, C., Fernández, A., Manzi, G., Rodríguez, B., "Estudio de costos relacionados con la implementación de metodologías BIM". Departamento de Arquitectura. Universidad de Chile. Santiago. [en línea]. Enero 2019.
30. Vergara Leonardo. Desarrollo de Plan Estratégico de Implementación BIM Para Empresa Constructora en Chile. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Concepción, Chile. Universidad del Bío Bío. Facultad de Ingeniería, 2017.

ANEXOS

ANEXO A. Preguntas que componen la entrevistas para determinación de nivel de madurez.

Dimensión de tecnología:

- ¿Qué herramientas BIM utilizan?
- ¿Son las mismas herramientas con que comenzaron a usar BIM?
- ¿Qué razones motivaron la elección de la herramienta actual?
- ¿Qué impacto tiene el costo de la herramienta en su elección?
- ¿Qué otras herramientas no-BIM utilizan en combinación con ---?
- ¿Qué otros *softwares avanzado utilizan (laser scanning, VR, CAM)*?
- ¿Qué formatos utilizan para compartir e interoperar archivos?
- ¿Fue necesario adquirir workstations especiales para BIM?
- ¿Fue necesario actualizar las redes de datos internas?
- ¿Utilizan servidores centrales? ¿Cómo comparten los modelos?

Dimensión de procesos:

- ¿Qué porcentaje del trabajo se realiza en BIM y en 2D?
- ¿Qué tareas específicas se hacen en 2D? ¿Por qué?
- ¿Cómo fue la progresión de servicios BIM ofrecidos?
- ¿Cómo comenzó el uso de BIM en la oficina?
- ¿Qué servicio planean ofrecer a futuro?
- ¿Tienen librerías BIM internas?
- ¿Utilizan objetos BIM (familias) externos? ¿De dónde?
- ¿Cómo se definieron los protocolos de trabajo internos?
- ¿Están formalmente establecidos (guidelines)?
- ¿Utilizan estándares BIM internos? ¿externos?
- ¿Quién y cómo se definieron los estándares internos?
- ¿Por qué se eligieron XXXX como estándares externos?
- ¿Qué dificultades o conflictos han surgido con el uso de BIM?
- ¿Cómo fue el proceso de migración de CAD a BIM?
- ¿Cómo han cambiado sus protocolos desde cuando comenzaron?
- ¿Comparten los modelos BIM con especialistas externos?
- ¿Comparten los modelos BIM con el mandante?
- ¿Se utiliza el modelo BIM en otras fases de proyecto (diseño - construcción)?
- ¿Qué ocurre cuando otros especialistas no usan BIM?

- ¿Es el uso de BIM un criterio para elegir equipo externo?
- ¿Se realizan reuniones de colaboración basadas en BIM?
- ¿Existen riesgos legales por el uso de BIM?
- ¿Se realizan contratos distintos por el uso de BIM?
- ¿Utilizan métricas internas para evaluar el uso de BIM? ¿Cuales?
- ¿Utilizan métricas ROI o similares para evaluar beneficio económico?
- ¿Cómo han evolucionado estas métricas desde el inicio de uso de BIM?
- ¿Comparten estas métricas con el cliente u otros?
- ¿Cuánto impacta el uso de BIM en el tiempo de desarrollo?
- ¿Cuánto impacta el uso de BIM en ahorros de proyecto?
- ¿Cuánto impacta BIM en la imagen y marketing de la empresa?

Dimensión de personas:

- ¿Quién comenzó con el uso de BIM en la empresa?
- ¿Cómo se formó el primer equipo BIM? ¿Se contrató personal externo?
- ¿Qué porcentaje de la empresa hoy trabaja en BIM (vs. CAD)?
- ¿Es BIM parte de la imagen o identidad corporativa?
- ¿Existe un miembro que sea el líder BIM interno?
- ¿Hay BIM Managers o jefes BIM?
- ¿Cuál es la vinculación de la dirección con BIM?
- ¿Cómo se capacitan las personas? ¿formación de competencias externa, interna?
- ¿Participan de instancias gremiales BIM?
- ¿Existe formación de competencias continua?
- ¿Hay ayudas o incentivos para formación de competencias para el personal?
- ¿Qué ocurre con quienes no desean utilizar BIM?

ANEXO B. Análisis FODA. Implementación BIM. Fuente: Elaboración propia.

Nº	Descripción	Base de datos	Coordinación	Modelamiento	Interferencias	Fortaleza	Debilidades	Amenazas	Oportunidades
1	Levantamiento de condiciones existentes.	✓			✓	- Permite considerar las condiciones actuales de un sitio y/o sus instalaciones y/o un área específica dentro de la infraestructura.	- Necesidad de contratación de servicios de mayor tecnología, con el costo que supone y tiempo de adaptación.	- Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio.	- Determinación temprana de posibles interferencias. - Ayuda a minimizar incrementos de costos y plazos por modificación de proyectos.
2	Estimación de cantidades y costos.		✓	✓		- Permite extraer cantidades de componentes y materiales del proyecto. - Permite estimar el costo de un proyecto en sus distintas etapas, siendo más eficiente desarrollarlo desde las etapas tempranas. - Permite prevenir posibles costos y tiempos adicionales por errores y/o modificaciones al proyecto.	- Necesidad de contratación de profesionales que entiendan la nueva metodología o formar al staff, con el costo que supone.	- Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio.	- Mejorar la predictibilidad del proyecto. - Ayuda a obtener la rentabilidad del proyecto esperada.
3	Planificación de fases.		✓	✓		- Permite planear la secuencia constructiva del proyecto y/o ampliación de la infraestructura.	- Necesidad de aprender herramientas de mayor complejidad. Implica más tiempo de formación (y más costo); y una dificultad adicional para solventar problemas de representación / modelamiento, que al principio pueden bajar la productividad.	- Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio.	- Mejorar la predictibilidad del proyecto. - Ayuda a obtener la rentabilidad del proyecto esperada.
4	Análisis de cumplimiento del programa espacial.	✓			✓	- Permite evaluar si el diseño cumple de manera eficiente y exacta con las áreas incluidas en los requerimientos del proyecto, tomando en cuenta las regulaciones y normas establecidas.	- Necesidad de contratación de profesionales que entiendan la nueva metodología o formar al staff, con el costo que supone.	- Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio.	- Determinación temprana de posibles interferencias. - Ayuda a minimizar incrementos de costos y plazos por modificación de proyectos.
5	Análisis de ubicación.	✓		✓		- Permite evaluar las propiedades de un área y determinar la mejor localización y orientación del proyecto.	- Necesidad de aprender herramientas de mayor complejidad. Implica más tiempo de formación (y más costo); y una dificultad adicional para solventar problemas de representación / modelamiento, que al principio pueden bajar la productividad.	- Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio.	- Determinación temprana de posibles interferencias. - Ayuda a minimizar incrementos de costos y plazos por modificación de proyectos.
6	Coordinación 3D.		✓		✓	- Permite evitar posibles interferencias.	- Necesidad de aprender herramientas de mayor complejidad. Implica más tiempo de formación (y más costo); y una dificultad adicional para solventar problemas de representación / modelamiento, que al principio pueden bajar la productividad.	- Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio.	- Mejorar la calidad del producto final. - Ayudar al mejor conocimiento del proyecto por parte del área usuaria.

(Continuación Anexo B).

7	Diseño de especialidades.	✓	✓			<ul style="list-style-type: none"> - Permite incorporar la información a una base de datos inteligente de la cual se pueden extraer propiedades, cantidades, costos, programación, entre otros. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de aprender herramientas de mayor complejidad. Implica más tiempo de formación (y más costo); y una dificultad adicional para solventar problemas de representación / modelamiento, que al principio pueden bajar la productividad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejorar la calidad del producto final. - Asegurar coordinación de disciplinas.
8	Revisión de diseño.		✓	✓		<ul style="list-style-type: none"> - Permite la revisión de las posibles respuestas a los requerimientos del proyecto respecto de áreas, diseño espacial, iluminación, seguridad, confort, acústica, materialidad, colores, entre otros. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de aprender herramientas de mayor complejidad. Implica más tiempo de formación (y más costo); y una dificultad adicional para solventar problemas de representación / modelamiento, que al principio pueden bajar la productividad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejorar la calidad del producto final. - Asegurar coordinación de disciplinas.
9	Análisis estructural.		✓	✓		<ul style="list-style-type: none"> - Para desarrollar y ajustar el diseño para crear sistemas estructurales eficientes que cumplan con la normativa vigente. Esta información se utilizará en las fases de diseño y construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de aprender herramientas de mayor complejidad. Implica más tiempo de formación (y más costo); y una dificultad adicional para solventar problemas de representación / modelamiento, que al principio pueden bajar la productividad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejorar la calidad del producto final. - Asegurar coordinación de disciplinas.
10	Análisis lumínico.								
11	Análisis energético.								
12	Análisis mecánico.		✓	✓		<ul style="list-style-type: none"> - Para el proceso de análisis y evaluación de ingeniería de los sistemas mecánicos, basado en las especificaciones de diseño para los sistemas del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de aprender herramientas de mayor complejidad. Implica más tiempo de formación (y más costo); y una dificultad adicional para solventar problemas de representación / modelamiento, que al principio pueden bajar la productividad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejorar la calidad del producto final. - Asegurar coordinación de disciplinas.
13	Otros análisis de ingeniería.		✓	✓		<ul style="list-style-type: none"> - Permite incorporar las herramientas de análisis y simulaciones de rendimiento pueden mejorar significativamente el diseño de las instalaciones y su consumo de energía durante todo el ciclo de vida. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de aprender herramientas de mayor complejidad. Implica más tiempo de formación (y más costo); y una dificultad adicional para solventar problemas de representación / modelamiento, que al principio pueden bajar la productividad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejorar la calidad del producto final. - Asegurar coordinación de disciplinas.
14	Evaluación de sustentabilidad.								
15	Validación normativa.								

(Continuación Anexo B).

16	Planificación de obra.	✓	✓		- Permite graficar las actividades vinculadas a los elementos existentes, temporales y propuestos de un proyecto durante su construcción.	- Necesidad de contratación de profesionales que entiendan la nueva metodología o formar al staff, con el costo que supone.	- Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio.	- Mejorar la predictibilidad del proyecto. - Ayuda a obtener la rentabilidad del proyecto esperada.
17	Diseño sistemas constructivos.	✓	✓		- Permite modelar el proceso constructivos para estimar plazos y factibilidad de actividades.	- Necesidad de aprender herramientas de mayor complejidad. Implica más tiempo de formación (y más costo); y una dificultad adicional para solventar problemas de representación / modelamiento, que al principio pueden bajar la productividad.	- Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio.	- Mejorar la predictibilidad del proyecto. - Ayuda a determinar en forma temprana falencias constructivas.
18	Fabricación Digital.							
19	Control de obra.	✓	✓		- Permite generar control de avance de obra y contrastar con lo modelado en etapa de estudio	- Necesidad de contratación de profesionales que entiendan la nueva metodología o formar al staff, con el costo que supone.	- Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio.	- Mejorar la predictibilidad del proyecto. - Ayuda a poder tomar las acciones correctivas oportunas.
20	Modelación as-Built.	✓		✓	- Permite alimentar base de datos para futuros proyectos.	- No alineamiento de área usuario en la actualización de instalaciones con ocasión de proyectos operacionales. - Priorización a resolución de emergencias no programadas, privilegiando producción. - La metodología BIM debe ser adoptada por todos los miembros participantes relevantes del proyecto y área usuario.	- Posibilidad de producir impacto negativo en los costos del proyecto. - Posibilidad de cometer errores por falta de dominio de la herramienta. - Posibilidad de pérdida de productividad. - Dependencia de los desarrolladores de softwares. - Resistencia al cambio.	- Mejorar la predictibilidad del proyecto. - Generar sinergias para futuros proyectos. - Generar una base de datos robusta para ayudar la correcta estimación de futuros proyectos CAPEX u OPEX.
21	Gestión de activos.							
22	Análisis de sistemas.							
23	Mantenimiento preventivo.							
24	Gestión y seguimiento de espacios.							
25	Planificación y gestión de emergencias.							

ANEXO C. Organigramas de las distintas empresas de ingeniería que forman parte del Contrato Marco de Ingenierías Menores.

- **Pares & Alvarez**

La compañía fue fundada en 1994 en Concepción, región del Biobío, por José Pares y Javier Álvarez. Su historia, se resume en la Figura C 1.

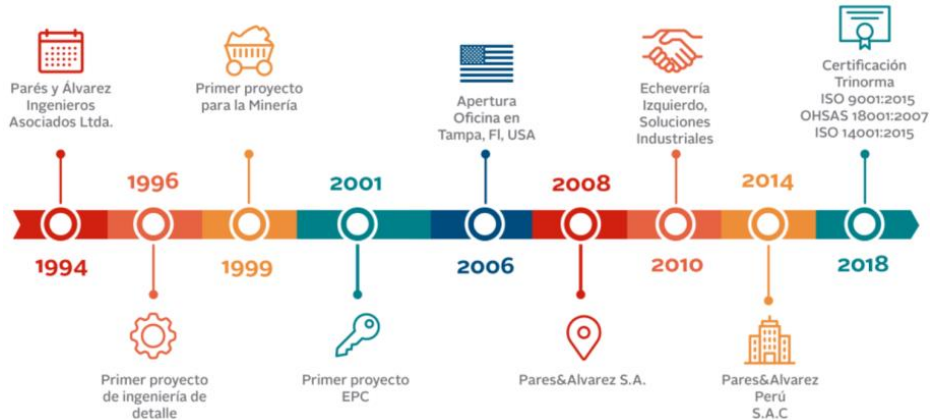


Figura C 1. Historia consultora Pares & Alvarez. Fuente: Página corporativa, <https://www.pya.cl/compania.php>.

Pares & Alvarez define internamente que BIM es un método de diseño adecuado para todo tipo de proyectos. Los beneficios obtenidos por el uso de la modelación de la información se acentuarán especialmente en proyectos de construcción complicados y que suponen un verdadero desafío.

El modelado de información no es un valor intrínseco en sí, sino más bien un medio para conseguir los objetivos establecidos en el proyecto, así como asegurar el mejor resultado posible.

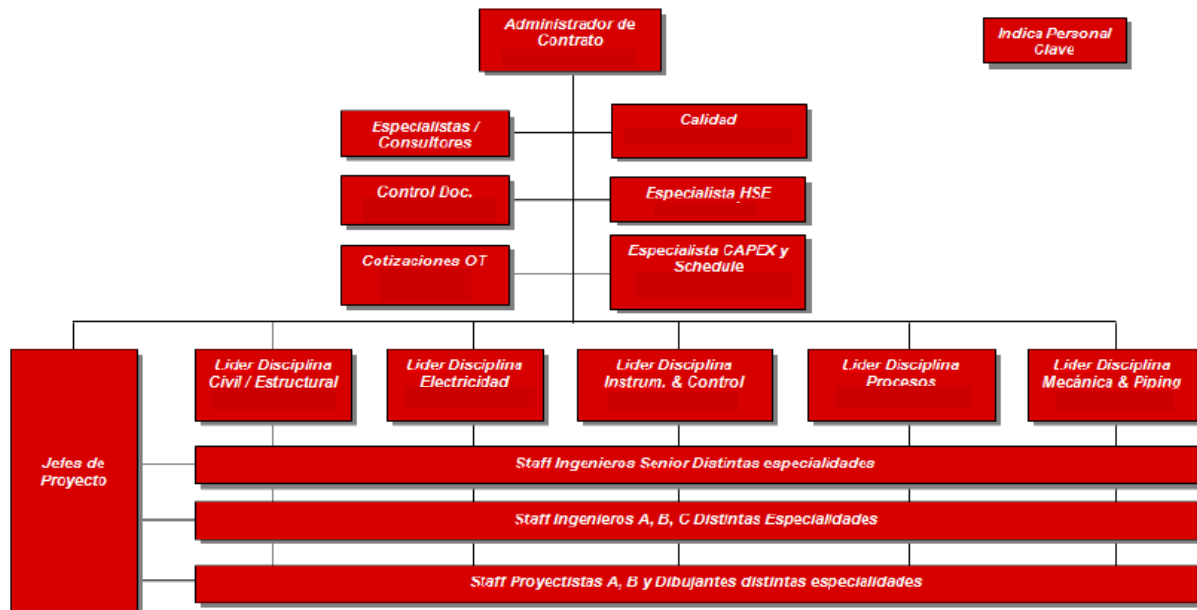


Figura C 2. Organización actual del servicio contrato marco de ingeniería. Pares & Alvarez. Fuente: Manual de Ingeniería para Proyectos, Minerals Americas, BHP 2018.

Los proyectos relevantes desarrollados utilizando metodología BIM, se detallan a continuación:

- **Proyecto Optimización Recuperación Cuprochlor Sulfuros Secundarios.**
 - Cliente: Minera Zaldívar – AMSA.
 - Inversión: US\$ 160 millones.
 - Alcance Pares & Alvarez: Ingeniería de factibilidad y detalle y gestión de compras.



Figura C 3. Captura gráfica proyecto Optimización Recuperación Cuprochlor Sulfuros Secundarios. Fuente: Pares & Alvarez, 2019.

- **Proyecto Planta Desaladora y Obras Marítimas. División Radomiro Tomic.**
 - Cliente: Codelco.
 - Inversión: US\$ 150 millones.
 - Alcance Pares & Alvarez: Ingeniería de detalle.



Figura C 4. Captura gráfica proyecto Desaladora y Obras Marítimas. División Rodomiro Tomic. Fuente: Pares & Alvarez, 2019.

- **Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea - Codelco.**
 - Cliente: Metso.
 - Inversión: US\$ 5000 millones.
 - Alcance Pares & Alvarez: Ingeniería de detalle.



Figura C 5. Captura gráfica proyecto Mina Chuquicamata Subterránea, Codelco.
Fuente: Pares & Alvarez, 2019.

- **Proyecto Planta de Producción de Omega 3.**
 - Cliente: Golden Omega.
 - Inversión: US\$ 800 millones.
 - Alcance Pares & Alvarez: Ingeniería conceptual, básica y detalle.

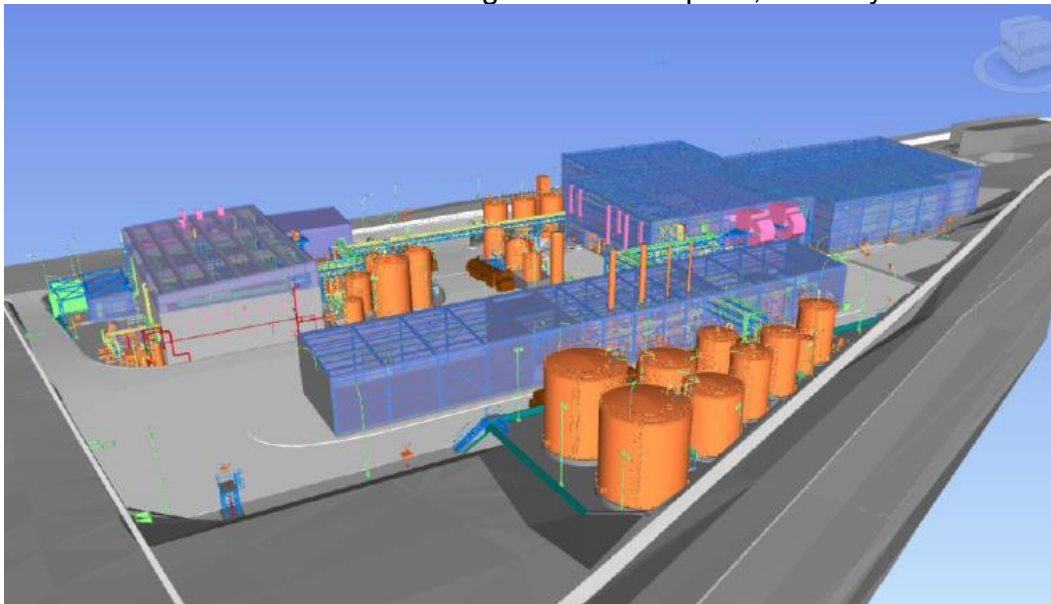


Figura C 6. Captura gráfica proyecto Planta de Producción de Omega 3. Fuente:
Pares & Alvarez, 2019.

- **Proyecto Desaladora Minera Spence.**
 - Cliente: BHP.
 - Inversión: US\$ 200 millones.
 - Alcance Pares & Alvarez: Ingeniería básica y detalle.



Figura C 7. Captura gráfica proyecto Desaladora Minera Spence. Fuente: Pares & Alvarez, 2019.

- **Proyecto Nueva Planta de Fabricación de Containers Refrigerados.**
 - Cliente: Maersk.
 - Inversión: US\$ 200 millones.
 - Alcance Pares & Alvarez: Ingeniería básica y detalle.



Figura C 8. Captura gráfica proyecto Nueva Planta de Fabricación de Containers Refrigerados. Fuente: Pares & Alvarez, 2019.

- **Proyecto Patio de Carga de Camiones GNL Quintero.**
 - Cliente: GNL Quintero.
 - Inversión: US\$ 18 millones.
 - Alcance Pares & Alvarez: Ingeniería básica avanzada y detalle.

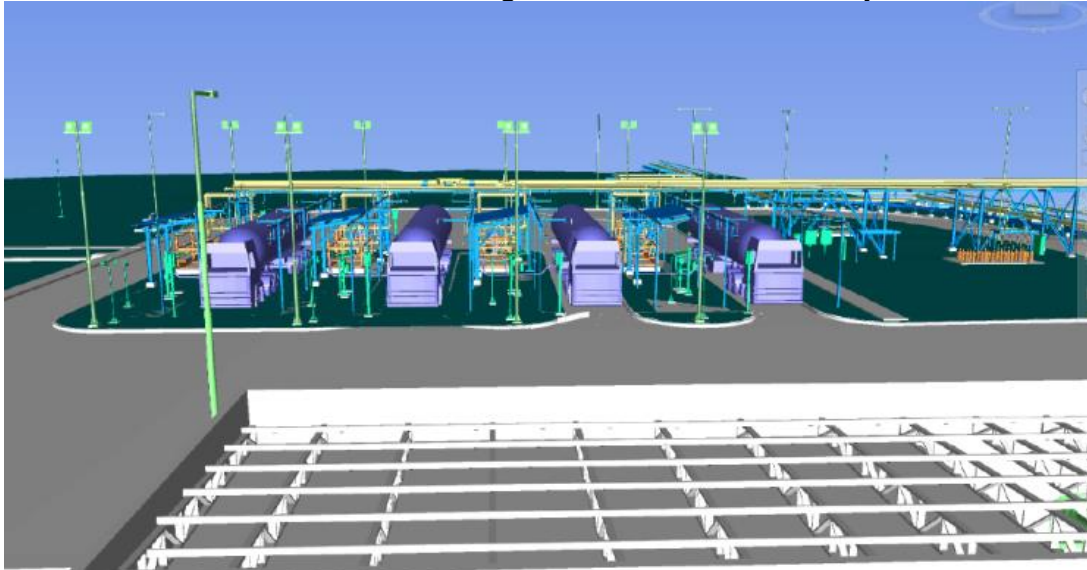


Figura C 9. Captura gráfica proyecto Patio de Carga de Camiones GNL Quintero.
Fuente: Pares & Alvarez, 2019.

- **Promec Chile Spa**

Promec es una empresa de servicios de ingeniería multidisciplinaria especializada en el desarrollo de proyectos para la gran minería e industria de la región de Antofagasta. Fue fundada en la ciudad de Antofagasta en el año 2001 por Roberto Maturana y Andrés González, quienes han formado un equipo de trabajo dirigido a abordar las distintas inquietudes de la industria minera alocada en la región de Antofagasta.

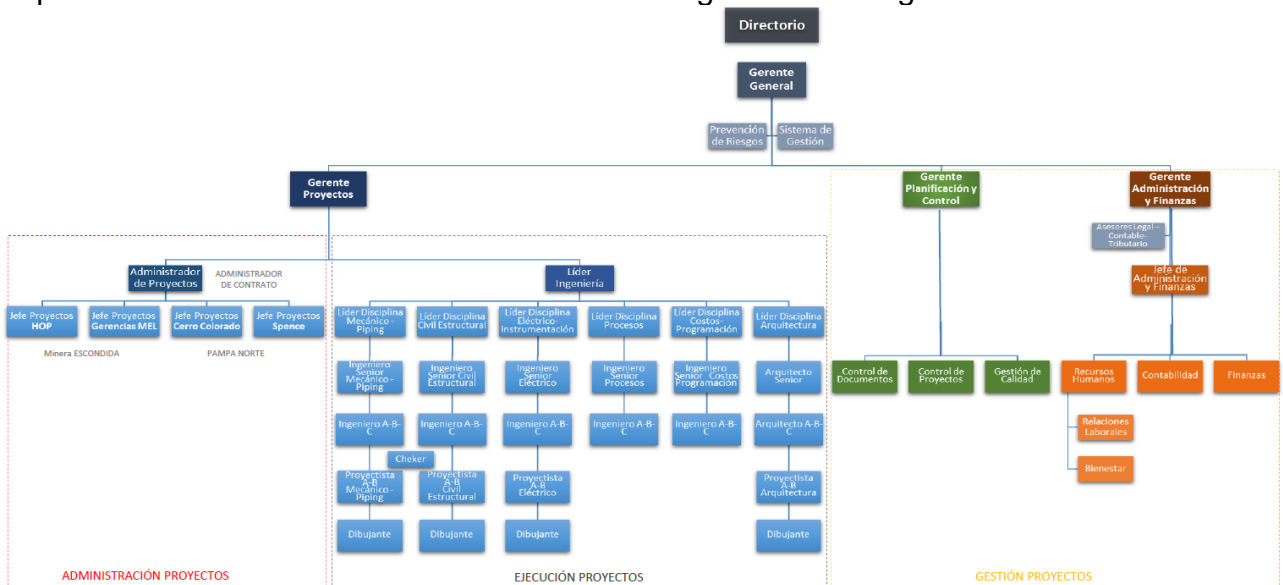


Figura C 10. Organización actual del servicio contrato marco de ingeniería.
Promec. Fuente: Manual de Ingeniería para Proyectos, Minerals Americas, BHP 2018.

Según reunión técnica sostenida con área ejecutiva Promec, la metodología BIM se implementa en caso de solicitud explícita del cliente y tipo de proyecto. No se observa mayor evidencia de experiencia de la compañía al respecto.

- **Keypro**

Keypro Ingeniería inició sus operaciones a comienzos de 2003. Desde sus inicios, ha prestado servicios a empresas mineras basadas en Chile.

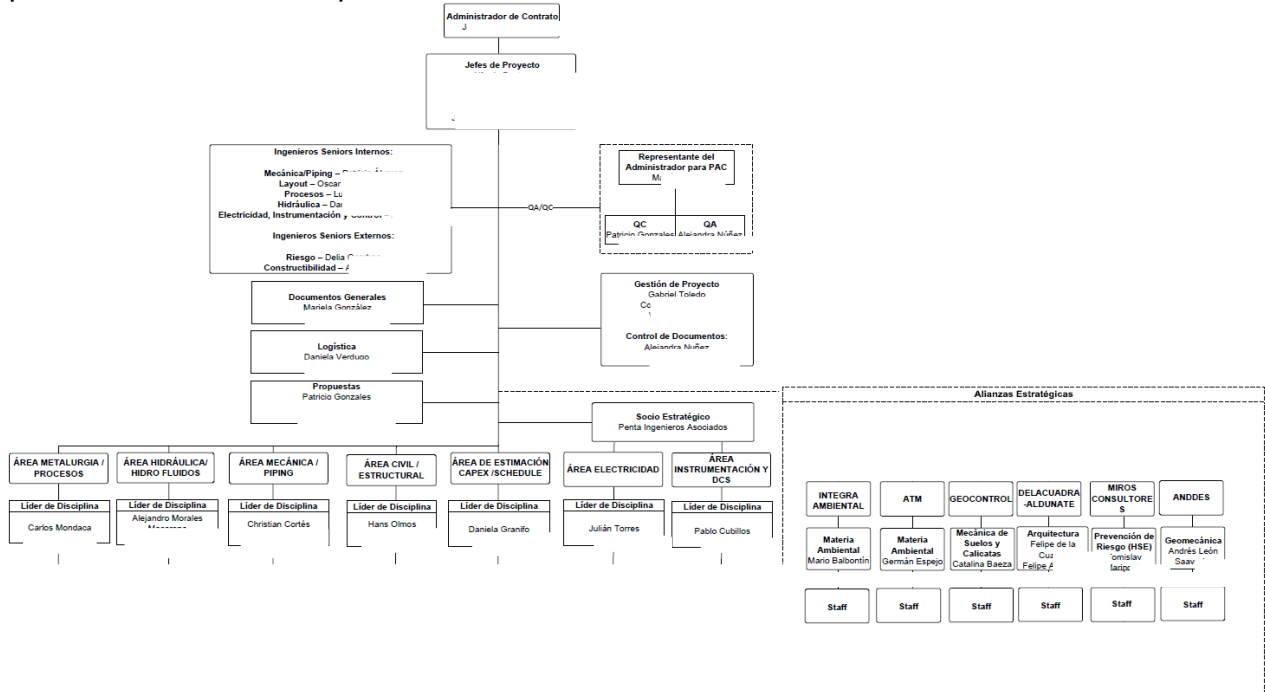


Figura C 11. Organización actual del servicio contrato marco de ingeniería. Keypro. Fuente: Manual de Ingeniería para Proyectos, Minerals Americas, BHP 2018.

- **Worley**

Worley, empresa multidisciplinaria de ingeniería con presencia a nivel global fundada en 1893 en Estados Unidos. Se estableció en Chile en 2006, comprando el 50% de la empresa ARA Arze Recine configurando lo que se llamó la empresa ARA Worley Parsons y luego pasó a ser el dueño exclusivo, al comprar la mayoría accionaria de la empresa.

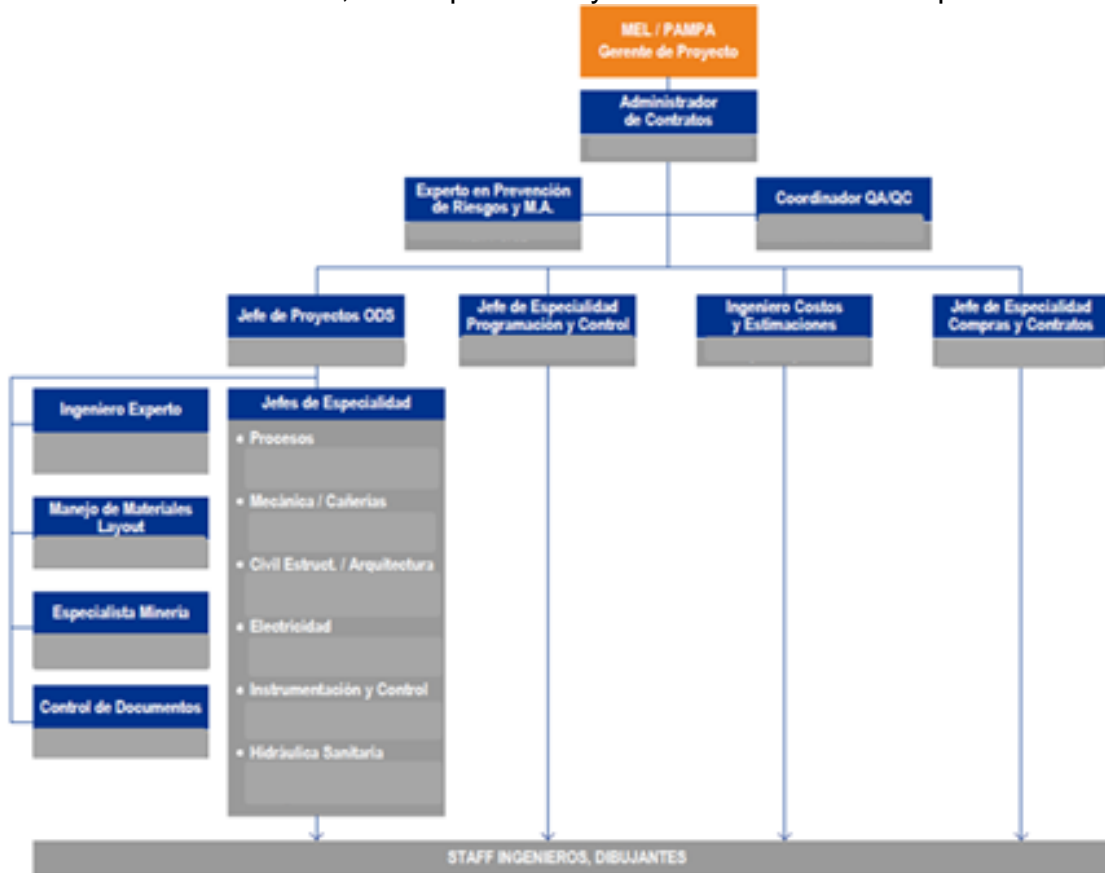


Figura C 12. Organización actual del servicio contrato marco de ingeniería. Worley. Fuente: Manual de Ingeniería para Proyectos, Minerals Americas, BHP 2018.

- Hatch

Hatch tiene una larga trayectoria prestando servicios especializados a proyectos que incluyen estudios de factibilidad, estudios ambientales y estudios de Due Diligence, diseño, ingeniería, adquisiciones, gerenciamiento de proyectos, administración de la construcción, comisionamiento, puesta en marcha, operaciones y mantenimiento de instalaciones en el campo minero a nivel mundial. Fue fundada en 1955.

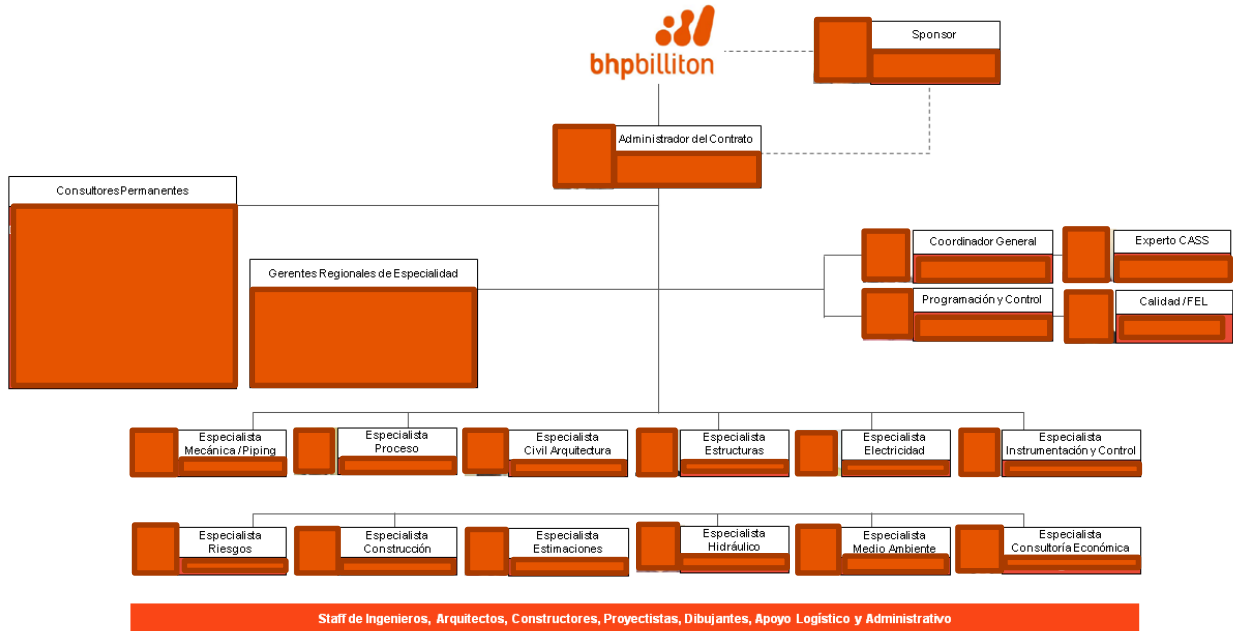


Figura C 13. Organización actual del servicio contrato marco de ingeniería. Hatch.
Fuente: Manual de Ingeniería para Proyectos, Minerals Americas, BHP 2018.

ANEXO D. Análisis Nivel de implementación metodología BIM. Empresas consultoras contrato marco.

Tabla D 1. Indicadores de proceso en el nivel de uso de metodología BIM. Fuente: Eliash, 2015.

Categoría	N°	Indicador	Qué mide	Cómo se mide	Rango de valores	Pregunta
Proceso	1	Modelos compartidos de los proyectos.	Mide el grado de adopción de la práctica de compartir modelos BIM con otros actores.	Según el porcentaje de proyectos en los que una oficina de diseño comparte los modelos BIM al menos con un actor más.	< 10% > 10% y <30% > 30% y <50% > 50% y <80% > 80%	En el proceso de diseño ¿cuál es el porcentaje de proyectos en los que su empresa comparte los modelos con otros actores?
Proceso	2	Primer momento de uso de BIM	Mide la primera etapa del proceso de diseño en que la empresa usa BIM para el desarrollo de sus proyectos.	Según la primera etapa en el desarrollo del proyecto en el que se usa BIM	Diseño conceptual Ante proyecto Proyecto Documentación: planimetría y EE. TT.	En el proceso de diseño ¿cuál es la primera etapa en la que usa metodologías BIM?
Proceso	3	Grado de adopción de BIM en la empresa - procesos	Mide cuán masificado está el uso de BIM en los distintos procesos de la empresa.	Según el porcentaje de procesos en los cuales se utiliza BIM.	Diseño conceptual Ante proyecto Proyecto Documentación: planimetría y EE. TT.	¿En cuál de las siguientes etapas del proceso de diseño usted utiliza BIM?. Marque todas las alternativas que corresponda.
Proceso	4	Grado de adopción de BIM en la empresa - personas	Mide cuán masificado está el uso de BIM entre el personal técnico (no considera personal administrativo).	Según el porcentaje de personas que utilizan BIM para realizar su trabajo.	< 10% > 10% y <30% > 30% y <50% > 50% y <80% > 80%	¿Qué porcentaje de personas de su empresa utilizan metodologías BIM para realizar su trabajo?
Proceso	5	Personas en la organización con conocimientos BIM	Mide la cantidad de capital intelectual de la organización respecto a la metodología BIM.	Según el porcentaje de personas dentro de la organización que tengan conocimientos BIM	< 10% > 10% y <30% > 30% y <50% > 50% y <80% > 80%	¿qué porcentaje de las personas de su empresa tienen conocimientos en el uso de metodologías BIM?
Proceso	6	Grado de adopción de BIM en la empresa - tiempo.	Mide cuán masificado está el uso de BIM en términos de las horas de trabajo.	Según el porcentaje de HH usada en procesos BIM en relación a la totalidad de las horas hombre de procesos productivos (HH procesos BIM / HH totales)	< 10% > 10% y <30% > 30% y <50% > 50% y <80% > 80%	¿Cuál es el porcentaje de horas hombre usadas en procesos BIM en relación a la totalidad de las horas hombre de procesos productivos de su empresa?
Proceso	7	Estandarización del proceso de diseño usando metodología BIM	Mide el nivel de definición de los procesos.	Según el nivel de estandarización de los procesos mediante protocolos u otro tipos de documentos similares.	Alto: El proceso de diseño está documentados en un protocolo u otro documento que garantice la estandarización. Medio: Los documentos están en desarrollo o son usados ocasionalmente o hay algunos procesos estandarizados. Bajo: No existe un procedimiento documentado para realizar los diseños.	¿Cuál es nivel promedio de estandarización de los procesos de su empresa?
Proceso	8	Estandarización de herramientas de análisis y modelación.	Mide el grado de estandarización de los procedimientos técnicos de trabajo.	Según el nivel de estandarización que existe dentro de la empresa en relación al uso de instrumentos que apoyan el uso de las herramientas BIM (librerías)	Alto: para los procesos de diseño la empresa cuenta con una o más herramientas BIM. Medio: Las herramientas se encuentran en desarrollo o se ocupan en algunos procesos. Bajo: No existe herramientas.	¿Cuál es el nivel de estandarización que existe dentro de la empresa en cuanto a la utilización de instrumentos que apoyan el uso de las herramientas BIM? (librerías de objetos, plugins, layers, templates, filtros,
Proceso	9	Integración de BIM en la estrategia de la empresa	Mide el nivel de compromiso de la empresa con la utilización de metodologías BIM	Según una estimación del uso de BIM para lograr los objetivos estratégicos de la empresa.	Alto: BIM es fundamental para lograr los objetivos estratégicos de la empresa. Medio: BIM tiene un rol importante pero se pueden usar otras metodologías. Bajo: Se usa BIM para aprovechar ventajas coyunturales, porque lo usa la competencia pero sin una relación con los objetivos.	¿Cuál es el nivel promedio de compromisos de la organización con la utilización de metodologías BIM?
Proceso	10	Tipo de software - concepto.	Mide las herramientas utilizadas para generar los modelos BIM	Según el tipo de herramienta (CAD, paramétrica, BIM, análisis) que está utilizando para cada etapa del proceso de diseño (diseño conceptual, anteproyecto, proyecto, generación de documentación).	CAD: Principalmente modela geometría. Paramétrica: Enfatiza el uso de parámetros para explorar formas (Grasshoper, Digital Project). BIM: La geometría está empaquetada en objetos como vigas, columnas y otros, que tienen información y parámetros que permiten darle inteligencia (Revit, Archicad, Tekla, Bentley)	En la etapa de diseño conceptual ¿qué herramienta es la que mayormente está utilizando?

(Continuación Tabla D 1).

Proceso	11	Tipo de software anteproyecto.	Mide las herramientas utilizadas para generar los modelos BIM	Según el tipo de herramienta (CAD, paramétrica, BIM, análisis) que está utilizando para cada etapa del proceso de diseño (diseño conceptual, anteproyecto, proyecto, generación de documentación).	CAD: Principalmente modela geometría. Paramétrica: Enfatiza el uso de parámetros para explorar formas (Grasshoper, Digital Project). BIM: La geometría está empaquetada en objetos como vigas, columnas y otros, que tienen información y parámetros que permiten darle inteligencia (Revit, Archicad, Tekla, Bentley)	En la etapa de anteproyecto ¿qué herramienta es la que mayormente está utilizando?
Proceso	12	Tipo de software proyecto.	Mide las herramientas utilizadas para generar los modelos BIM	Según el tipo de herramienta (CAD, paramétrica, BIM, análisis) que está utilizando para cada etapa del proceso de diseño (diseño conceptual, anteproyecto, proyecto, generación de documentación).	CAD: Principalmente modela geometría. Paramétrica: Enfatiza el uso de parámetros para explorar formas (Grasshoper, Digital Project). BIM: La geometría está empaquetada en objetos como vigas, columnas y otros, que tienen información y parámetros que permiten darle inteligencia (Revit, Archicad, Tekla, Bentley)	En la etapa de proyecto ¿qué herramienta es la que mayormente está utilizando?
Proceso	13	Tipo de software documentación.	Mide las herramientas utilizadas para generar los modelos BIM	Según el tipo de herramienta (CAD, paramétrica, BIM, análisis) que está utilizando para cada etapa del proceso de diseño (diseño conceptual, anteproyecto, proyecto, generación de documentación).	CAD: Principalmente modela geometría. Paramétrica: Enfatiza el uso de parámetros para explorar formas (Grasshoper, Digital Project). BIM: La geometría está empaquetada en objetos como vigas, columnas y otros, que tienen información y parámetros que permiten darle inteligencia (Revit, Archicad, Tekla, Bentley)	En la etapa de generación de documentación ¿qué herramienta es la que mayormente está utilizando?
Proceso	14	Interoperabilidad del modelo BIM.	Mide cómo se enfrenta la interoperabilidad de los modelos con otros actores	Según el tipo de archivo con el cual se comparten los modelos BIM.	Formato nativo IFC Modelo centralizado (plataforma colaborativa). Otro.	¿Con qué tipo de archivo se comparten los modelos BIM?
Proceso	15	Roles para la gestión de BIM	Mide el grado de formalización de los métodos de trabajo.	Según el grado de definición de los roles que se observa en el equipo de trabajo.	Alto: Existe claridad de los roles dentro del equipo de trabajo. Medio: Los roles pueden ser compartidos. Bajo: No existe una definición de roles.	¿Cuál es el nivel de definición de los roles en el equipo de trabajo BIM?
Proceso	16	Grado de adopción proyectos	Mide cuán masificado está el uso de BIM en el aempresa.	Según el porcentaje anual de proyectos en los cuales se ha utilizado BIM.	< 10% > 10% y <30% > 30% y <50% > 50% y <80% > 80% Mediamente negativo Altamente negativo	¿Cuál es el porcentaje anual de proyectos de la empresa en los que se ha utilizado BIM?
Proceso	17	Participantes de proceso de coordinación.	Mide (identifica) los actores que participan en la coordinación de especialidades con BIM.	Según una identificación de los actores relevantes dentro del desarrollo de un proyecto que participan en la coordinación de proyectos.	Mandante Especialistas proyectistas. ITO Coordinador de proyectos. Consultor externo. Arquitecto. Constructor.	¿Quién o quiénes son los actores que participan en el proceso de coordinación de especialidades con BIM?
Proceso	18	Utilización de modelos centralizados.	Mide el nivel de uso del enfoque centralizado v/s distribuido.	Según el porcentaje de proyectos que utiliza un modelo central el cual es compartido entre los distintos actores.	< 10% > 10% y <30% > 30% y <50% > 50% y <80% > 80%	¿Cuál es el porcentaje de proyecto en lo que su empresa utiliza un modelo central el cual es compartido entre los distintos actores?
Proceso	19	Utilización de BIM en el diseño / coordinación	Mide la forma en que se utilizó la metodología BIM en el proyecto.	Según como se enfrentó o se requirió el mandante se desarrolle el proyecto.	Todo el diseño y especialidades con BIM Todo en 2D y luego modelado para BIM. Sólo arquitectura / Cálculo con BIM. Sólo especialidades con BIM Sin BIM. Otras alternativas.	Generalmente ¿cómo requieren los mandantes el desarrollo de sus proyectos?

Tabla D 2. Indicadores de infraestructura en el nivel de uso de metodología BIM.
Fuente: Eliash, 2015.

Categoría	N°	Indicador	Qué mide	Cómo se mide	Rango de valores	Pregunta
Infraestructura	20	Grado de competencia BIM	Mide la calidad del capital intelectual de la organización	Según una estimación del nivel promedio de conocimientos BIM del personal que usa esta metodología.	Alto Medio-alto Medio Medio-bajo Bajo	¿Cuál es su estimación del nivel promedio de conocimientos BIM del personal de su empresa que usa esta metodología?
Infraestructura	21	Infraestructura BIM en capital humano.	Mide la capacidad de la empresa en términos de su capital humano para realizar los procesos BIM.	Según una estimación de la conformidad del capital humano con respecto a los procesos que deben realizar.	Alto: Considera que la cantidad y competencia de las personas es consistente con las necesidades de los procesos BIM que realiza la empresa. Medio: Considera que la cantidad y competencia de la persona es medianamente consistente con las necesidades de los procesos BIM que realiza la empresa. Bajo: Considera que la cantidad y competencia de las personas no es consistente con las necesidades de los procesos BIM que realiza la empresa.	¿Cuál es el nivel promedio de la capacidad del capital humano de su empresa para realizar los procesos BIM?
Infraestructura	22	Pertinencia de software de diseño.	Mide cuán apropiados son los softwares usados en relación a los procesos.	Según una estimación de cuán adecuadas son las herramientas utilizadas para cada proceso de diseño (diseño conceptual, anteproyecto, proyecto, generación de documentación).	Muy adecuado Adecuado Poco adecuado No adecuado	¿Cuán adecuados son los softwares usados en su empresa en relación al proceso de diseño?
Infraestructura	23	Inversión requerida para la implementación de BIM-Infraestructura.	Mide la inversión en que ha incurrido la empresa para implementar de manera óptima toda la infraestructura requerida para el desarrollo de modelos BIM.	Según un monto estimado por funcionario de la inversión.	> \$USD 3 MM y < \$USD 5 MM > \$USD 5 MM y < \$USD 8 MM > \$USD 8 MM	¿Cuál es la inversión en que ha incurrido la empresa para implementar la infraestructura requerida para el desarrollo de modelos BIM?
Infraestructura	24	Inversión requerida para la implementación de BIM - Capital humano.	Mide la inversión en que ha incurrido la empresa para capacitar el capital humano para el desarrollo de modelos BIM (capacitaciones y desarrollo de procedimientos y estándares).	Según un monto estimado por funcionario de la inversión.	> \$USD 250 M y < \$USD 500 M. > \$USD 500 M y < \$USD 1 MM. > \$USD 1 MM y < \$USD 3 MM. > \$USD 3 MM y < \$USD 5 MM. > \$USD 5 MM.	¿Cuál es la inversión en que ha incurrido la empresa para capacitar al capital humano en el aprendizaje de uso de metodologías BIM?
Infraestructura	25	Infraestructura BIM.	Mide la capacidad de la empresa en términos de su infraestructura para utilizar procesos BIM.	Según una estimación de la consistencia de los niveles de infraestructura (hardware y software) con respecto a los usos BIM.	Alto: Se encuentra conforma con la infraestructura con que cuenta. Medio: Cuenta con la infraestructura, pero requiere de mejoras. Bajo: No cuenta con la infraestructura necesaria para utilizar procesos BIM.	¿Cuál es el nivel promedio de la capacidad del capital humano de su empresa para realizar los procesos BIM?
Infraestructura	26	Pertinencia de software de coordinación de especialidades.	Mide cuán apropiados son los softwares usados en relación a los procesos.	Según una estimación de cuán adecuadas son las herramientas utilizadas en la coordinación de especialidades.	Muy adecuado Adecuado Poco adecuado No adecuado	¿Cuán adecuados son los softwares usados en su empresa para la coordinación de especialidades?

Tabla D 3. Indicadores de impacto en el nivel de uso de metodología BIM. Fuente: Eliash, 2015.

Categoría	N°	Indicador	Qué mide	Cómo se mide	Rango de valores	Pregunta
Impacto	27	Percepción interna de beneficios del uso de BIM	Mide la percepción interna que tienen los usuarios de BIM sobre los beneficios que le otorga la metodología a la empresa.	Según una percepción cualitativa respecto a las ventajas competitivas que otorga BIM	Alto: Considera que el uso de BIM le otorga grandes ventajas competitivas. Medio: Considera que el uso de BIM le otorga ventajas competitivas, pero se pueden usar otras metodologías. Bajo: Considera que el uso de BIM no le otorga ventajas competitivas.	¿En qué medida considera que BIM le otorga ventajas competitivas a su empresa?
Impacto	28	Productividad por uso de BIM	Mide el impacto en la productividad de los procesos de la empresa al usar BIM.	Según una estimación del impacto en la productividad al usar BIM.	Altamente positivo. Medianamente positivo. Ni positivo ni negativo. Medianamente negativo. Altamente negativo.	¿Cuál ha sido el impacto en su empresa al utilizar BIM?

Los resultados de análisis de capacidad en proceso, infraestructura e impacto para cada empresa de ingeniería, se muestran en Tabla D 4, Tabla D 5, y Tabla D 6

Tabla D 4. Resultados indicadores de proceso en el nivel de uso de metodología BIM en empresas de contrato marco. Fuente: Elaboración propia.

Categoría	N°	Indicador	Rango de valores	Pregunta	Hatch	Worley	Pares & Alvarez	keypro	Promec
Proceso	1	Modelos compartidos de los proyectos.	< 10%	En el proceso de diseño ¿cuál es el porcentaje de proyectos en los que su empresa comparte los modelos con otros actores?					
			> 10% y <30%						
			> 30% y <50%						
			> 50% y <80%						
Proceso	2	Primer momento de uso de BIM	Diseño conceptual	En el proceso de diseño ¿cuál es la primera etapa en la que usa metodologías BIM?					
			Ante proyecto						
			Proyecto						
			Documentación: planimetría y EE. TT.						
Proceso	3	Grado de adopción de BIM en la empresa - procesos	Diseño conceptual	¿En cuál de las siguientes etapas del proceso de diseño usted utiliza BIM? Marque todas las alternativas que corresponda.					
			Ante proyecto						
			Proyecto						
			Documentación: planimetría y EE. TT.						
Proceso	4	Grado de adopción de BIM en la empresa - personas	< 10%	¿Qué porcentaje de personas de su empresa utilizan metodologías BIM para realizar su trabajo?					
			> 10% y <30%						
			> 30% y <50%						
			> 50% y <80%						
Proceso	5	Personas en la organización con conocimientos BIM	< 10%	¿qué porcentaje de las personas de su empresa tienen conocimientos en el uso de metodologías BIM?					
			> 10% y <30%						
			> 30% y <50%						
			> 50% y <80%						
Proceso	6	Grado de adopción de BIM en la empresa - tiempo.	< 10%	¿Cuál es el porcentaje de horas hombre usadas en procesos BIM en relación a la totalidad de las horas hombre de procesos productivos de su empresa?					
			> 10% y <30%						
			> 30% y <50%						
			> 50% y <80%						
Proceso	7	Estandarización del proceso de diseño usando metodología BIM	Alto: El proceso de diseño está documentados en un protocolo u otro documento que garantice la estandarización.	¿Cuál es nivel promedio de estandarización de los procesos de su empresa?					
			Medio: Los documentos están en desarrollo o son usados ocasionalmente o hay algunos procesos estandarizados.						
			Bajo: No existe un procedimiento documentado para realizar los diseños.						
Proceso	8	Estandarización de herramientas de análisis y modelación.	Alto: para los procesos de diseño la empresa cuenta con una o más herramientas BIM.	¿Cuál es el nivel de estandarización que existe dentro de la empresa en cuanto a la utilización de instrumentos que apoyan el uso de las herramientas BIM? (librerías de objetos, plugins, ...)					
			Medio: Las herramientas se encuentran en desarrollo o se ocupan en algunos procesos.						
			Bajo: No existe herramientas.						
Proceso	9	Integración de BIM en la estrategia de la empresa	Alto: BIM es fundamental para lograr los objetivos estratégicos de la empresa.	¿Cuál es el nivel promedio de compromisos de la organización con la utilización de metodologías BIM?					
			Medio: BIM tiene un rol importante pero se pueden usar otras metodologías.						
			Bajo: Se usa BIM para aprovechar ventajas coyunturales, porque lo usa la competencia pero sin una relación con los objetivos.						
Proceso	10	Tipo de software - concepto.	CAD: Principalmente modela geometría.	En la etapa de diseño conceptual ¿qué herramienta es la que mayormente está utilizando?					
			Paramétrica: Enfatiza el uso de parámetros para explorar formas (Grasshoper, Digital Project).						
			BIM: La geometría está empaquetada en objetos como vigas, columnas y otros, que tienen información y parámetros que permiten darle inteligencia (Revit, Archicad, Tekla, Bentley)						

Tabla D 5. Resultados indicadores de infraestructura en el nivel de uso de metodología BIM en empresas de contrato marco. Fuente: Elaboración propia.

Categoría	N°	Indicador	Rango de valores	Pregunta	Hatch	Worley	Pares & Alvarez	keypro	Promec
Infraestructura	20	Grado de competencia BIM	Alto	¿Cuál es su estimación del nivel promedio de conocimientos BIM del personal de su empresa que usa esta metodología?.					
			Medio-alto						
			Medio						
			Medio-bajo						
			Bajo						
Infraestructura	21	Infraestructur BIM en capital humano.	Alto: Considera que la cantidad y competencia de las personas es consistente con las necesidades de los procesos BIM que realiza la empresa.	¿Cuál es el nivel promedio de la capacidad del capital humano de su empresa para realizar los procesos BIM?					
			Medio: Considera que la cantidad y competencia de la persona es medianamente consistente con las necesidades de los procesos BIM que realiza la empresa.						
			Bajo: Considera que la cantidad y competencia de las personas no es consistente con las necesidades de los procesos BIM que realiza la empresa.						
Infraestructura	22	Pertinencia de software - diseño.	Muy adecuado	¿Cuán adecuados son los softwares usados en su empresa en relación al proceso de diseño?.					
			Adecuado						
			Poco adecuado						
			No adecuado						
Infraestructura	23	Inversión requerida para la implementación de BIM- Infraestructura.	> \$USD 3 MM y < \$USD 5 MM	¿Cuál es la inversión en que ha incurrido la empresa para implementar la infraestructura requerida para el desarrollo de modelos BIM?					
			> \$USD 5 MM y < \$USD 8 MM						
			> \$USD 8 MM						
Infraestructura	24	Inversión requerida para la implementación de BIM - Capital humano.	> \$USD 250 M y < \$USD 500 M.	¿Cuál es la inversión en que ha incurrido la empresa para capacitar al capital humano en el aprendizaje de uso de metodologías BIM?					
			> \$USD 500 M y < \$USD 1 MM.						
			> \$USD 1 MM y < \$USD 3 MM.						
			> \$USD 3 MM y < \$USD 5 MM.						
			> \$USD 5 MM.						
Infraestructura	25	Infraestructura BIM.	Alto: Se encuentra conforma con la infraestructura con que cuenta.	¿Cuál es el nivel promedio de la capacidad del capital humano de su empresa para realizar los procesos BIM?					
			Medio: Cuenta con la infraestructura, pero requiere de mejoras.						
			Bajo: No cuenta con la infraestructura necesaria para utilizar procesos BIM.						
Infraestructura	26	Pertinencia de software - coordinación de especialidades.	Muy adecuado	¿Cuán adecuados son los softwares usados en su empresa para la coordinación de especialidades?					
			Adecuado						
			Poco adecuado						
			No adecuado						

Tabla D 6. Resultados indicadores de proceso en el nivel de uso de metodología BIM en empresas de contrato marco. Fuente: Elaboración propia.

Categoría	N°	Indicador	Rango de valores	Pregunta	Hatch	Worley	Pares & Alvarez	keypro	Promec
Impacto	27	Percepción interna de beneficios del uso de BIM	Alto: Considera que el uso de BIM le otorga grandes ventajas competitivas.	¿En qué medida considera que BIM le otorga ventajas competitivas a su empresa?					
			Medio: Considera que el uso de BIM le otorga ventajas competitivas, pero se pueden usar otras metodologías.						
			Bajo: Considera que el uso de BIM no le otorga ventajas competitivas.						
Impacto	28	Productividad por uso de BIM	Altamente positivo.	¿Cuál ha sido el impacto en su empresa al utilizar BIM?.					
			Medianamente positivo.						
			Ni positivo ni negativo.						
			Medianamente negativo.						
			Altamente negativo.						