



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO DE IMPACTO DEL USO DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA  
PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS DE INGENIERÍA Y  
CONSTRUCCIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

NICOLÁS ANDRÉS TREJO CARVAJAL

PROFESOR GUÍA:

ALEJANDRO POLANCO CARRASCO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

RICARDO ROJAS PIZARRO

WILLIAM WRAGG LARCO

SANTIAGO DE CHILE

2018

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO  
DE INGENIERO CIVIL**

POR: NICOLÁS ANDRÉS TREJO CARVAJAL

FECHA: NOVIEMBRE 2018

PROFESOR GUÍA: ALEJANDRO POLANCO CARRASCO

**ESTUDIO DE IMPACTO DEL USO DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA  
PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS DE INGENIERÍA Y  
CONSTRUCCIÓN**

La planificación y control son procesos fundamentales y críticos para la ejecución de los proyectos de ingeniería y construcción. Planificar permite obtener un plan de trabajo para lograr los resultados deseados, satisfaciendo los requisitos preestablecidos. Por otro lado, controlar posibilita dirigir el desempeño de las actividades y corregir desviaciones para cumplir con el plan definido. Estos procesos, en el presente trabajo de título, se abordan desde la perspectiva del *Project Management*.

En los últimos años, la metodología BIM ha tomado especial fuerza en los proyectos de ingeniería y construcción, situación de la que Chile también es partícipe. BIM es una metodología de trabajo enfocada a la colaboración e interoperabilidad entre los actores del proyecto, en un entorno basado en un modelo digital de información y varias herramientas tecnológicas (softwares).

Actualmente, en Chile se lleva a cabo el proyecto “Construye 2025”, el cual tiene por objetivo mejorar la productividad de la industria de la construcción y su cadena de valor. Dentro de este, se encuentra el “Plan BIM”, que al año 2020 busca implementar la exigencia del uso de BIM para proyectos públicos (y privados, desde el 2025), por lo cual se hace vital comprender BIM.

Esta adopción de la metodología BIM va de la mano con los cambios que genera la llamada “Industria 4.0”, la cual supone una industrialización y transformación digital en los procesos constructivos gracias a los avances tecnológicos. Esta “cuarta revolución industrial” incluye el “internet de las cosas”, sistemas ciber-físicos, computación en la nube (*cloud computing*), entre otros conceptos que tienen relación con las herramientas que provee la metodología BIM.

El presente trabajo de título analiza el cómo se ven afectadas las prácticas del *Project Management*, en proyectos de ingeniería y construcción, cuando se usa la metodología BIM. Esto se realiza mediante una revisión bibliográfica, entrevistas a profesionales de la dirección y gerenciamiento de proyectos, encuestas a profesionales de la ingeniería y construcción y estudio de distintos proyectos con prácticas reconocibles de planificación y control.

Dentro de las principales conclusiones obtenidas, destaca el hecho de que BIM no corresponde a un reemplazo del *Project Management*, sino que es una herramienta para la disciplina que genera cambios en los procesos de planificación y control de proyectos, guardando relación con el tipo de proyecto en que se implementa. Uno de los mayores usos de BIM en las prácticas del *Project Management* es la colección y gestión de la información del proyecto, la cual es centralizada y permite su uso tanto en el mismo como en futuros proyectos de inversión. Además, el Modelo BIM es una herramienta potente que mejora los procesos comunicativos entre los *stakeholders*. Finalmente, se recomienda considerar el uso de BIM desde el comienzo del proyecto, para definir los procesos de planificación y control adecuados para lograr el éxito de este y obtener los beneficios de haber implementado la metodología.

# DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado a todos y cada uno de los miembros de mi familia, en especial a mi madre y abuelita, quienes me han criado y cuidado desde siempre. Mi gratitud y cariño hacia ustedes es como el universo.*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a toda mi familia. Ustedes saben que la vida no es fácil, menos justa. El tiempo golpea y deja huellas, de las que quieres volver a pisar y de las que solo quieres borrar. Al final, solo queda aceptar y seguir. Frente a todo lo que nos ha pasado, cada uno de ustedes sigue luchando y viviendo con sentido, siempre esperando los mejores resultados y trabajando para ello. Nunca se rinden. Me llenan de orgullo, todos. Los amo.

Quiero destacar a mi mamá, ejemplo a seguir y quien ha sido testigo de mis logros, fracasos y aprendizajes, y en cada uno de ellos ha estado con la misma disposición y amor que te caracteriza. Siempre serás prioridad en mi vida. Muchas gracias, solo espero poder retribuir tanta dedicación. Te amo.

De igual forma, quiero agradecer a mi padre, a la Marce y mis hermanos, Victoria y Vicente. Son fundamentales para mi felicidad. Gracias por todo, son tremendas personas y me hacen alguien inmensamente feliz. Y para que quede registrado, hermanos míos, espero verlos crecer desde cerca y así ser testigo de cómo se comen el mundo. Los amo a todos.

Amigos y amigas, muchas gracias por todo, han sido, son y serán una parte importante de mi vida. A los del colegio, de la universidad, de la vida, de otros lugares (que son mejor no mencionar) y, en especial, a aquellos que han trascendido cualquier etiqueta, les quiero decir que los quiero y aprecio mucho. Espero su vida sea exitosa de la forma que ustedes quieren. Sean felices.

También quiero agradecer al profesor Alejandro Polanco, quien es un increíble profesional y ha sido un gran guía en el desarrollo de este trabajo. Gracias por su tiempo, disposición, consejos y ayuda profesional. Quisiera también agradecer a los profesores Ricardo Rojas y William Wragg, quienes han aceptado ser parte de la comisión y, con ello, permitirme mejorar y validar el trabajo desarrollado. Gracias por su tiempo y disposición.

Finalmente, quiero agradecer a las personas que participaron en el desarrollo del presente trabajo de título. A todos los profesionales entrevistados, encuestados y aquellas personas que me facilitaron bibliografía, les agradezco mucho su disposición e interés. Espero el presente trabajo genere conocimiento y sea un aporte para el ámbito.

# Tabla de contenido

<b>1. CAPÍTULO I: Introducción</b> .....	1
<b>1.1. Motivación</b> .....	1
<b>1.2. Contexto</b> .....	2
<b>1.3. Objetivos</b> .....	3
<b>1.3.1. Objetivo general</b> .....	3
<b>1.3.2. Objetivos específicos</b> .....	3
<b>1.4. Metodología</b> .....	4
<b>1.4.1. Revisión bibliográfica</b> .....	4
<b>1.4.2. Entrevistas</b> .....	4
<b>1.4.3. Encuestas</b> .....	4
<b>1.4.4. Estudio de proyectos</b> .....	4
<b>1.4.5. Análisis de la información y los resultados</b> .....	4
<b>1.5. Resultados esperados</b> .....	5
<b>2. CAPÍTULO II: Marco teórico</b> .....	6
<b>2.1. BIM (Building Information Modeling)</b> .....	6
<b>2.1.1. Introducción a BIM</b> .....	6
<b>2.1.2. Historia y evolución</b> .....	8
<b>2.1.3. Aspectos técnicos y niveles de desarrollo</b> .....	14
<b>2.1.4. Aplicaciones de la metodología BIM</b> .....	21
<b>2.1.5. Beneficios del uso de la metodología BIM</b> .....	26
<b>2.1.6. Implementación y operación</b> .....	28
<b>2.2. Planificación y Control de proyectos</b> .....	33
<b>2.2.1. Introducción a la Planificación y Control de proyectos</b> .....	33
<b>2.2.2. Historia y evolución</b> .....	35
<b>2.2.3. Situación actual y prácticas</b> .....	40
<b>2.2.4. Planificación</b> .....	43
<b>2.2.5. Control</b> .....	57
<b>3. CAPÍTULO III: Metodología</b> .....	64
<b>3.1. Revisión bibliográfica</b> .....	65
<b>3.2. Entrevistas</b> .....	65
<b>3.3. Encuestas</b> .....	66
<b>3.4. Estudio de proyectos</b> .....	67
<b>3.5. Análisis de la información y resultados</b> .....	67

<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO IV: Desarrollo y resultados.....</b>	<b>69</b>
4.1.	Resultados de la revisión bibliográfica.....	69
4.2.	Resultados de las entrevistas.....	74
4.3.	Resultados de las encuestas.....	81
4.4.	Estudio de proyectos.....	91
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO V: Análisis de resultados.....</b>	<b>95</b>
5.1.	Análisis de los resultados de la revisión bibliográfica.....	95
5.2.	Análisis de los resultados de las entrevistas.....	95
5.3.	Análisis de los resultados de las encuestas.....	97
5.4.	Análisis de los resultados del estudio de proyectos.....	100
<b>6.</b>	<b>CAPÍTULO VI: Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>103</b>
6.1.	Conclusiones.....	103
6.2.	Recomendaciones.....	109
<b>7.</b>	<b>CAPÍTULO VII: Bibliografía.....</b>	<b>113</b>
<b>8</b>	<b>CAPÍTULO VIII: Anexos.....</b>	<b>117</b>
8.1	Anexo A: gráfico madurez CMM US.....	117
8.2	Anexo B: gráfico madurez BSI UK.....	118
8.3	Anexo C: Ejemplo Cronograma.....	119
8.4	Anexo D: Ejemplo formatos Plan de la Calidad (PAC).....	120
8.5	Anexo E: Ejemplo método del valor ganado (EVM).....	121
8.6	Anexo F: Formato entrevista.....	122
8.7	Anexo G: Formato encuesta.....	123
8.8	Anexo H: Ciclo de la entrega de información.....	128

# Índice de figuras

Figura 1: involucrados en la metodología BIM.....	6
Figura 2: áreas de desempeño BIM.....	7
Figura 3: el desarrollo de la definición BIM.....	8
Figura 4: Hotel Hilton Helsinki aeropuerto Vantaa.....	10
Figura 5: estadio AAMI Park, Melbourne City, Victoria, Australia.....	11
Figura 6: Clínica BUPA Santiago (Cruz Blanca).....	12
Figura 7: interacción modelo y requerimientos mediante formato IFC.....	16
Figura 8: ejemplo niveles de detalle.....	18
Figura 9: ejemplo niveles de desarrollo.....	19
Figura 10: aplicaciones de la metodología BIM.....	21
Figura 10: participantes comunicación BIM.....	22
Figura 11: obtención de costes y cubricaciones desde el modelo gracias a herramientas BIM 5D.....	23
Figura 12: herramienta BIM en terreno.....	24
Figura 13: marketing inmersivo en la industria de la construcción.....	25
Figura 14: roles y responsabilidades en metodología BIM.....	29
Figura 15: modelo de tres fases.....	29
Figura 16: notación y librería de elementos.....	30
Figura 17: esquema planificación y control de proyectos.....	34
Figura 18: ejemplo CPM.....	36
Figura 19: análisis probabilístico PERT.....	36
Figura 20: triángulo trade-off alcance, tiempo, costo y calidad.....	38
Figura 21: PMBOK® 6ta edición y extensión construcción (PMI).....	39
Figura 23: situación global.....	40
Figura 24: principales factores para el éxito de los proyectos.....	41
Figura 25: nuevas formas de trabajo.....	42
Figura 22: WBS resumen edificio habitacional.....	44
Figura 23: esquema planificación alcance.....	45
Figura 24: gestión del cronograma.....	46
Figura 29: gestión del tiempo del proyecto.....	47
Figura 25: método PDM, diagrama lógico.....	47
Figura 31: definición costos del estimado.....	50
Figura 32: gráfico ejemplo línea base vs presupuesto.....	51
Figura 33: principios de la Gestión de la calidad.....	52
Figura 34: esquema Costo de la Calidad.....	53
Figura 35: características necesarias para los requisitos del proyecto y/o producto.....	54
Figura 36: técnicas de apoyo y entregables de la planificación de la calidad.....	55
Figura 37: características de un Plan de la Calidad.....	56
Figura 38: enfoque moderno control de proyectos.....	57
Figura 39: control del alcance.....	58
Figura 40: esquema control del tiempo.....	59
Figura 41: esquema control del tiempo.....	60
Figura 42: las 7 herramientas básicas de la Calidad.....	63
Figura 43: metodología de trabajo.....	64
Figura 44: principales directrices de la entrevista.....	65
Figura 45: temas a tratar en entrevistas.....	66
Figura 46: principales directrices de la encuesta.....	66
Figura 47: identificación y comparación entre proyectos estudiados y sus procesos.....	67

Figura 48: análisis revisión bibliográfica .....	68
Figura 49: análisis entrevistas .....	68
Figura 50: índole bibliografía utilizada .....	70
Figura 51: tipo bibliografía utilizada.....	70
Figura 52: año publicación bibliografía utilizada.....	71
Figura 53: procedencia bibliografía utilizada.....	71
Figura 54: cargo actual profesional entrevistados .....	74
Figura 55: años experiencia profesional entrevistados.....	74
Figura 56: tipos de proyectos donde han participado los entrevistados .....	75
Figura 57: respuestas entrevistados respecto al alcance.....	76
Figura 58: respuestas entrevistados respecto al tiempo.....	76
Figura 59: respuestas entrevistados respecto al costo .....	77
Figura 60: respuestas entrevistados respecto al costo .....	77
Figura 61: área de desempeño de los encuestados .....	81
Figura 62: años de experiencia profesional de los encuestados .....	81
Figura 63: juicio del encuestado sobre su conocimiento del Project Management.....	82
Figura 64: tipos de proyecto en los que han participado los encuestados .....	82
Figura 65: experiencia y conocimiento de los encuestados en la planificación y control de proyectos.....	82
Figura 66: juicio de los encuestados sobre su nivel de conocimiento de BIM.....	83
Figura 67: mejor definición de BIM según encuestados .....	83
Figura 68: procesos en los que encuestados observan beneficios del uso de BIM .....	85
Figura 69: percepción de los encuestados sobre la implementación de BIM.....	85
Figura 70: tipos de proyecto en los que han participado los “Profesionales Project Management” .....	86
Figura 71: juicio de los “Profesionales Project Management” sobre su nivel de conocimiento de BIM.....	86
Figura 72: mejor definición de BIM según “Profesionales Project Management” .....	86
Figura 73: percepción de los “Profesionales Project Management” sobre la implementación de BIM.....	88
Figura 74: juicio de los “Profesionales BIM” sobre su conocimiento del Project Management .....	88
Figura 75: tipos de proyecto en los que han participado los “Profesionales BIM” .....	88
Figura 76: percepción de los “Profesionales BIM.” sobre la implementación de BIM .....	90
Figura 77: tabla madurez BIM US .....	117
Figura 78: gráfico madurez UK .....	118
Figura 27: ejemplo cronograma fabricación nave industrial.....	119
Figura 80: Plan de Calidad tipo Diagrama de Flujo.....	120
Figura 81: Plan de Calidad tipo Formato .....	120
Figura 82: ejemplo EVM. AC = costo real, EV: valor ganado, PV: valor planificado .....	121
Figura 83: ejemplo EVM. CV (variación del costo) y SV (variación del cronograma).....	121
Figura 84: preguntas de la entrevista.....	122
Figura 85: formato encuesta.....	123
Figura 86: formato encuesta.....	124
Figura 87: formato encuesta.....	125
Figura 88: formato encuesta.....	126
Figura 89: formato encuesta.....	127
Figura 90: ciclo de la entrega de información.....	128



## Índice de tablas

Tabla 1: selección de softwares y su utilización .....	15
Tabla 2: niveles de detalle.....	18
Tabla 3: niveles de información.....	19
Tabla 4: Niveles de desarrollo.....	20
Tabla 5: dimensiones BIM .....	21
Tabla 6: beneficios del uso de BIM en las distintas etapas de un proyecto de ingeniería y construcción ...	26
Tabla 7: Integración BIM según BIM Forum Chile.....	31
Tabla 8: competencias, habilidades y responsabilidades de un Project Manager .....	33
Tabla 9: ejemplo diagrama de Gantt edificio 1 piso .....	35
Tabla 10: CPM vs PERT.....	37
Tabla 11: estado actual del Project Management global .....	41
Tabla 12: prácticas de la dirección de proyectos en Chile .....	42
Tabla 11: prácticas planificación alcance proyecto.....	45
Tabla 13: prácticas planificación tiempo proyecto.....	48
Tabla 14: prácticas planificación costo proyecto .....	51
Tabla 16: Principios de la Gestión de la Calidad. ....	53
Tabla 15: prácticas planificación calidad proyecto .....	56
Tabla 16: prácticas control alcance proyecto .....	58
Tabla 17: prácticas control tiempo proyecto .....	59
Tabla 20: herramientas y técnicas del control de costos. ....	61
Tabla 18: prácticas control costos proyecto .....	61
Tabla 19: prácticas control calidad proyecto.....	63
Tabla 23: metodología necesaria para el cumplimiento de los objetivos planteados.....	64
Tabla 24: características bibliografía utilizada.....	69
Tabla 25: prácticas usuales en proyectos de ingeniería y construcción .....	72
Tabla 26: prácticas y aplicaciones de BIM en proyectos de ingeniería y construcción .....	73
Tabla 27: puntos evaluados en la entrevista.....	75
Tabla 28: cantidad de respuestas de los entrevistados para cada punto a evaluar.....	78
Tabla 29: comentarios de los profesionales entrevistados para cada punto evaluado en alcance .....	79
Tabla 30: comentarios de los profesionales entrevistados para cada punto evaluado en tiempo.....	79
Tabla 31: comentarios de los profesionales entrevistados para cada punto evaluado en costo.....	80
Tabla 32: comentarios de los profesionales entrevistados para cada punto evaluado en calidad.....	80
Tabla 33: respuestas de encuestados sobre su experiencia con algunos “softwares BIM” .....	83
Tabla 34: respuestas de los encuestados sobre el uso de BIM en la planificación de proyectos .....	84
Tabla 35: respuestas de los encuestados sobre el uso de BIM en el control de proyectos .....	84
Tabla 36: “Profesionales Project Management” y su conocimiento en las áreas de estudio.....	86
Tabla 37: respuestas de los “Profesionales Project Management” sobre el uso de BIM en la planificación de proyectos .....	87
Tabla 38: respuestas de los “Profesionales Project Management” sobre el uso de BIM en el control de proyectos .....	87
Tabla 39: procesos en los que los “Profesionales Project Management” ven beneficiosos el uso de BIM .....	87
Tabla 40: “Profesionales BIM” y su conocimiento en las áreas de estudio .....	89
Tabla 41: respuestas de “Profesionales BIM” sobre su experiencia con algunos “softwares BIM” .....	89
Tabla 42: respuestas de los “Profesionales BIM” sobre el uso de BIM en la planificación de proyectos ...	89
Tabla 43: respuestas de los “Profesionales BIM” sobre el uso de BIM en el control de proyectos.....	90
Tabla 44: procesos en los que los “Profesionales BIM.” ven beneficiosos el uso de BIM.....	90

Tabla 45: ficha proyecto 1: London Heathrow Terminal 3 – Pier 6 .....	91
Tabla 46: ficha proyecto 2: Vines of Mendoza .....	91
Tabla 47: ficha proyecto 3: Denver International Airport.....	91
Tabla 48: ficha proyecto 4: Óxidos Encuentro.....	92
Tabla 49: ficha proyecto 5: Druham Cathedral .....	92
Tabla 50: ficha proyecto 6: Edificio laboratorios Universidad del Valle.....	92
Tabla 51: ficha proyecto 7: Foshan Municipal Public Culture Complex .....	93
Tabla 52: ficha proyecto 8: Concesión Ruta 5 Tramo Los Vilos – La Serena .....	93
Tabla 53: ficha proyecto 9: ARTIC.....	94
Tabla 54: ficha proyecto 10: Northumbria University .....	94
Tabla 55: análisis resultados de las entrevistas .....	96
Tabla 56: análisis de respuestas profesionales del Project Management .....	98
Tabla 57: análisis de respuestas profesionales BIM.....	99
Tabla 58: aspectos relevantes del estudio de proyectos en la planificación.....	101
Tabla 59: aspectos relevantes del estudio de proyectos en el control .....	102
Tabla 60: impacto de BIM en las prácticas del Project Management asociadas a planificación .....	106
Tabla 61: impacto de BIM en las prácticas del Project Management asociadas al control.....	107

# **1. CAPÍTULO I: Introducción**

## **1.1. Motivación**

La planificación y control de proyectos es uno de los procesos clave para el adecuado desarrollo de un proyecto y el éxito de cada una de sus fases en su ciclo de vida. Una buena planificación permite tener definido el trabajo a realizar, identificar riesgos, situarse en distintos escenarios y desde ahí contar con soluciones. Mientras que un buen control brinda a posibilidad de detectar desviaciones, informar a tiempo las anomalías, permitir su corrección y asegurar la calidad del proyecto.

Esto se aborda de distintas maneras, muchas de ellas conocidas y comunes entre un gran número de empresas de ingeniería y construcción, pero con las mismas directrices desde hace ya décadas.

Por otra parte, BIM, una metodología de trabajo en conjunto en base a modelos digitales paramétricos, es la nueva dirección en que apunta la ejecución los proyectos de ingeniería, siendo una gran herramienta de trabajo que permite optimizar costos, tiempos, entre otras variables.

Dado los beneficios que ha mostrado la adopción de BIM en distintas áreas de la arquitectura, ingeniería y construcción es que se plantea la interrogante de su uso en el ámbito de la planificación y control de proyectos, pues puede ser un agente de cambio en los procesos (y prácticas) de planificación y control relacionados con el alcance, tiempo, costo y calidad.

## 1.2. Contexto

En la actualidad, la planificación y control es un proceso esencial en la gestión del proyecto. Abarca desde el inicio de este hasta su cierre, entrega información valiosa de cada etapa y permite su análisis oportuno.

Las metodologías comunes planificación y control trabajan de manera individual las áreas de alcance, costo, tiempo, calidad, RRHH, *stakeholders*, entre otros.

Las definiciones de los alcances no están directamente relacionadas con los modelos, los costos se realizan con estimaciones no basadas en demás variables del proyecto y luego sus variaciones se trabajan sin instantaneidad con plazos o la misma calidad, lo cual afecta en la totalidad del proyecto.

Muchas de las prácticas de planificación se centran solo en el CPM (o Ruta crítica), donde se pueden ver qué actividades son de mayor relevancia para el plazo del proyecto (actividades críticas), pudiendo causar retrasos del proyecto completo.

Luego, el control de cada uno de estos ámbitos del proyecto es desagregado, individual, exclusivo y con bajo nivel de integración.

Con el uso cada vez más masivo de BIM en los proyectos de ingeniería y construcción, además de las exigencias del MOP para el plan BIM del programa Construye 2025, se hace necesario estudiar y revisar las formas tradicionales de Planificación y Control. Con esta metodología es posible el trabajo y la interoperabilidad entre los actores del proyecto en tiempo real, agilizando y optimizando el sistema, permitiendo anticipándose a la muchos de los imprevistos inherente del modelo.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar los eventuales cambios en los procesos de Planificación y Control de alcance, tiempo, costo y calidad en proyectos de ingeniería y construcción con el uso de la metodología BIM en ellos.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a) Identificar los elementos relevantes de los distintos procesos de planificación y control de alcance, tiempo, costo y calidad que usualmente se usan en proyectos de ingeniería y construcción.
- b) Analizar los cambios que la metodología BIM induce en los proyectos de ingeniería y construcción, específicamente en los procesos de planificación y control del alcance, tiempo, costo y calidad.
- c) Realizar análisis comparativo entre las metodologías utilizadas de planificación y control en proyectos con y sin BIM, identificando ventajas, desventajas y recomendaciones.

## **1.4. Metodología**

### **1.4.1. Revisión bibliográfica**

Se realizará una recopilación de información de diferentes publicaciones de autores calificados respecto a las metodologías de planificación y control utilizadas en proyectos de ingeniería y construcción.

Además, se investigará sobre el uso de BIM en proyectos y su aplicación en la planificación y control.

### **1.4.2. Entrevistas**

Se efectuarán entrevistas a profesionales encargados de la planificación y el control de proyectos de ingeniería y construcción sobre los procesos y métodos que utilizan, además de su conocimiento y uso de BIM en sus proyectos.

### **1.4.3. Encuestas**

Se efectuará una encuesta a profesionales de ingeniería y construcción sobre su conocimiento en las metodologías de planificación y control, además del uso de BIM y su aplicación en los procesos del proyecto.

### **1.4.4. Estudio de proyectos**

Se realizará el estudio de distintos proyectos de ingeniería y construcción, con procesos de planificación y control identificables, para casos con y sin el uso de BIM, con el fin de obtener las distintas prácticas con el uso de esta metodología.

### **1.4.5. Análisis de la información y los resultados**

Con la información obtenida se analizarán los eventuales cambios necesarios en las metodologías de planificación y control actuales y su impacto.

## **1.5. Resultados esperados**

- Revisión bibliográfica sobre los procesos de Planificación y Control de proyectos clásica y la metodología BIM.
- Determinar el impacto que el uso de BIM produce en los procesos de Planificación y Control de alcance, costo, calidad y tiempo (programación) del proyecto.
- Determinar las ventajas y desventajas del uso de BIM en los métodos de Planificación y Control, junto con sus efectos en el proyecto y generar recomendaciones al respecto.

## 2. CAPÍTULO II: Marco teórico

### 2.1. BIM (Building Information Modeling)

#### 2.1.1. Introducción a BIM

BIM no es un simple conjunto de softwares, sino que una nueva forma de abordar el proceso de planificación y ejecución en la construcción e ingeniería. Una nueva metodología que está en auge en distintos países, incluyendo a Chile.

El concepto de BIM tiene distintas, aunque no tan diferentes definiciones en la bibliografía y publicaciones disponible. Estas pueden agruparse en dos conceptos del acrónimo BIM:

- Building Information Model: modelo digital paramétrico del producto de construcción
- Building Information Modeling: metodología para el desarrollo y uso de modelos BIM para “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” (BIM Forum Chile, 2017, p.9).

Por lo tanto, si bien hay 2 acepciones para BIM, estas son complementarias. Y es necesario identificar ambas, dado que la metodología BIM requiere un modelo BIM para su desarrollo y, por otro lado, el modelo BIM pierde su potencial si éste no es utilizado bajo un marco conceptual idóneo. “BIM es 10% tecnología y 90% sociología (Choclán, 2014)” (Cárdenas, 2016, p.19).

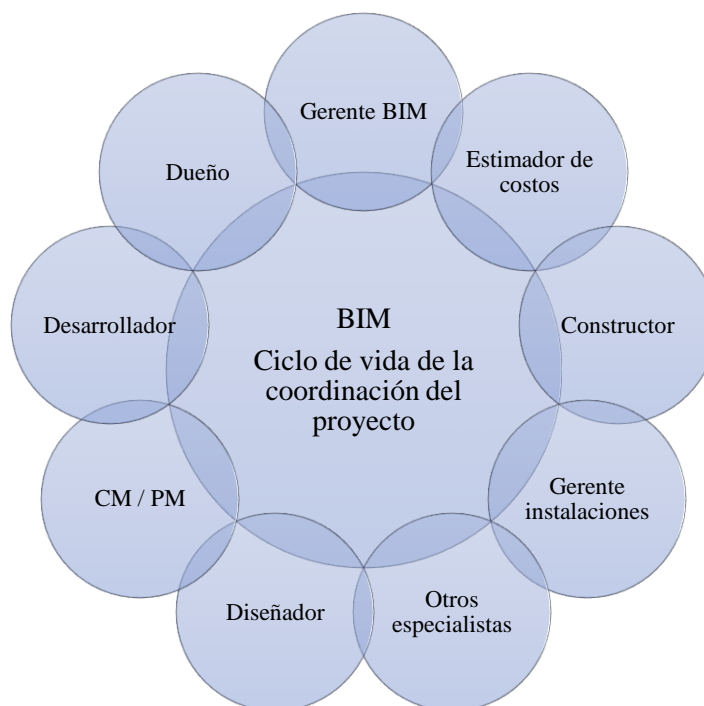


Figura 1: involucrados en la metodología BIM

Fuente: elaboración propia



Profesionales de distintas áreas, como la construcción, ingeniería, arquitectura y *Project Management* están adoptando esta metodología, con el fin de reunir la información en un lugar común a todos los actores del proyecto.

BIM “facilita la planificación y control de los procesos de diseño y posterior construcción de los proyectos. Esta ventaja competitiva, ha convertido a BIM en un estándar de facto en EEUU, Reino Unido, Australia, Emiratos Árabes,..., donde el 70-80% de los proyectos se desarrollan mediante Project Managers y herramientas BIM” (Pampliega, A., 2014).

Lo anterior se logra mediante el uso de una variedad de softwares BIM, el modelo de información de construcción y la metodología, todo en conjunto y englobando a todos los actores del proyecto.

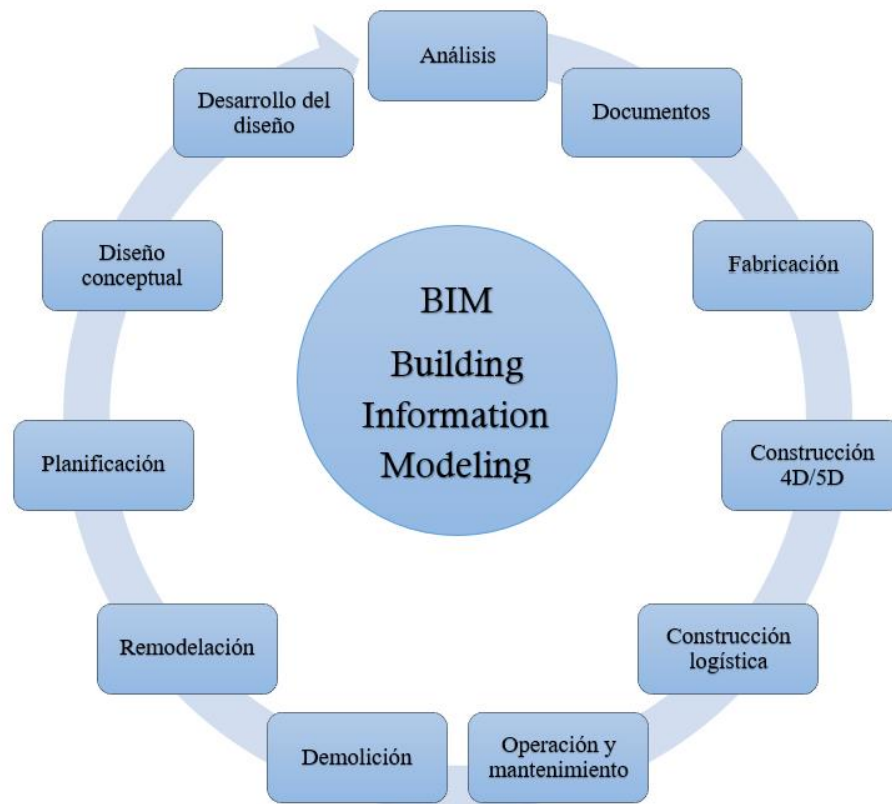


Figura 2: áreas de desempeño BIM  
Fuente: elaboración propia

Una premisa básica de BIM es la colaboración de diferentes partes interesadas en diferentes fases del ciclo de vida de una instalación para insertar, extraer, actualizar o modificar información en el BIM para apoyar y reflejar las funciones de ese interesado. Esto permite el flujo de información actualizable instantáneamente, control, supervisión y validación de los procesos involucrados, con la ventaja de que estos cambios son de conocimiento del grupo del proyecto y *stakeholders*.

Es importante considerar que BIM no reemplaza las personas, sino que reduce las tareas de trabajo repetitivo y redundante, además de esclarecer el proceso de información, pero aún son personas las que reúnen e ingresan la información al modelo. Por lo mismo, BIM no está libre de errores, pero es una metodología que permite su pronta detección y corrección.

## 2.1.2. Historia y evolución

### 2.1.2.1. Orígenes y evolución

El concepto BIM no está atribuido a alguien en particular, tampoco a una organización o país. Más bien, nace desde la colaboración de información entre distintos agentes y dentro de estos colaboradores destacan Estados Unidos, el centro y norte de Europa y Japón. Lo anterior, se ve reflejado en las distintas empresas, publicaciones y documentos disponibles de autores desde dichos países.

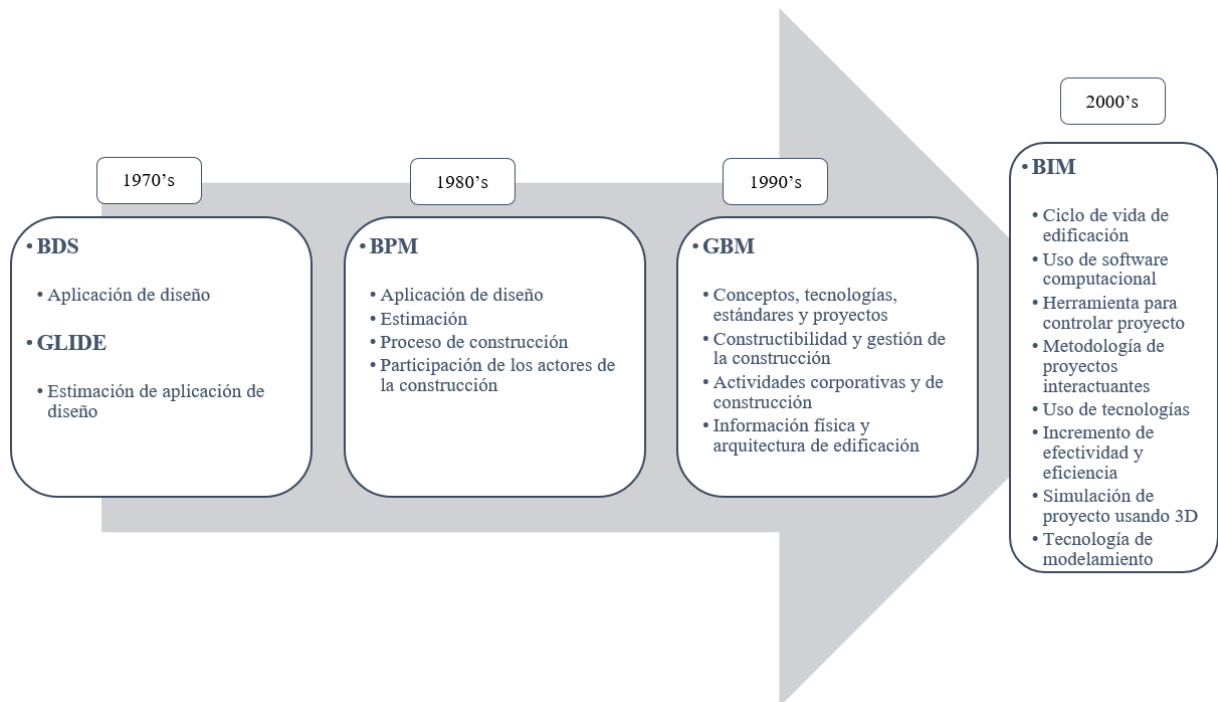


Figura 3: el desarrollo de la definición BIM

Fuente: adaptado de Ahmad L., Brahim, J. & Fathi, M. (2014).

BIM se origina, en parte, desde el diseño CAD (diseño asistido computacionalmente). “Pronto”, primer software CAM comercial, apareció en 1957 gracias al Dr. Patrick J. Hanratty, quien posteriormente incursionó en gráficos generados por computadora, llegando al DAC, o diseño automatizado por computadoras. Este fue el primer sistema CAD/CAM que utilizara gráficos interactivos, pasando de dibujar planos “a mano” a realizarlos en computadora, con todas las ventajas que conlleva.

Esta tecnología sufrió diversos cambios en el tiempo, ya que era necesario satisfacer los requerimientos de los grandes proyectos. Por lo que distintas características eran añadidas a estas herramientas, con el fin de disminuir tiempo de trabajo, errores de diseño, lograr modelos de superficie y sólidos. Aun así, seguía siendo complejo editar, actualizar, ingresar y extraer información de los modelos. Por ello, se instauró la tecnología paramétrica, con el fin de optimizar el proceso completo.

Charles Eastman, en 1975, publicó un paper describiendo un prototipo llamado Building Description System (BDS). En él, se discutían ideas de diseño paramétrico, representaciones 3D en computadora con una base de datos integrada y única, para análisis visuales y cuantitativos. Esto es, prácticamente, una de las concepciones actuales de BIM.

Robert Aish fue el primero en documentar el uso del término “Building Modelling” en un paper de 1986, y lo describía como un modelado tridimensional a través de elementos paramétricos y que permitía un manejo de la información. Posteriormente, en 1992, se acuñó el término de “Building Information Model” por Van Nederveen y Tolman, del departamento de ingeniería civil de la Delft University of Technology, Holanda.

En 1995, el formato de archivo International Foundation Class (IFC) fue desarrollado para permitir el flujo de datos a través de las distintas plataformas, haciendo compatible un archivo con distintos programas BIM.

En el 2000, ArchiCAD desarrolla Revit, software que revolucionó el BIM mediante el uso de un motor de cambio paramétrico a través de la programación orientada a objetos y la creación de una plataforma que permitía agregar la dimensión tiempo.

El 2002 Revit fue comprado por Autodesk, empresa que se hizo con diversos softwares catalogables como BIM en ese entonces, y que ha seguido desarrollándolos hasta el presente.

Es así como BIM ha logrado cada una de sus aristas en el tiempo. El trabajo colaborativo, el diseño paramétrico, la bidireccionalidad de la información y bases de datos compartidas han concurrido a una misma metodología que se ha internalizado en varias empresas, tanto prestadoras de “servicios” BIM como en la misma interna de otras que han visto ventajas significativas en su uso.

Las prácticas modernas en la arquitectura, ingeniería y construcción se han ido direccionando a la colaboración. Esto ha impactado la industria, incluso, llevando paulatinamente los contratos de licitación hacia un sistema integrado de entrega de proyectos donde todos trabajan en un conjunto de modelos BIM mutuamente accesibles.

Con el amplio recorrido que ha tenido esta tecnología, junto con sus resultados, son varias las empresas y entidades que la utilizan en el mundo y son, también, más los países que adoptan esta forma de trabajar, llegando incluso a la institucionalización.

#### 2.1.2.2. BIM en el contexto internacional

Los países líderes en el uso de BIM son, como ya se ha mencionado, Finlandia, Noruega, Suecia, Estados Unidos, Canadá, Australia, Japón, China y Singapur. Cabe mencionar, que hay más países incrementando el uso de BIM en sus proyectos, como el Reino Unido, España, Holanda, entre otros.

En Finlandia, además de invertir fuertemente en la investigación de tecnologías desde los años 70, desde el 2001 se desarrollaron pilotos y estudios de BIM en la Construcción. El 2007 el gobierno exige entregas de proyectos en formato IFC y el 2012, BuildingSmart publica Common BIM Requirements (COBIM), documento que traza los requisitos y directrices BIM para proyectos de renovación y de nueva construcción, incluyendo explotación y mantenimiento.



*Figura 4: Hotel Hilton Helsinki aeropuerto Vantaa  
Fuente: [www.tekla.com/references/hotel-hilton-helsinki-vantaa-airport](http://www.tekla.com/references/hotel-hilton-helsinki-vantaa-airport)*

Noruega y Suecia, “tienen un gran nivel de desarrollo implementado BIM desde la universidad. La dirección de las Obras Públicas y de la propiedad del gobierno noruego exige su uso en todos sus edificios” (Ogbamwen, 2016, p.53).

En el Reino Unido, la Cabinet Office UK publica su documento Estrategia de Construcción (2011), con el cual se plantea el avance en el uso de BIM en proyectos públicos, partiendo en el nivel 1. Aumentando los requerimientos para el 2016 (nivel 2).

Para el 2018, en España, el uso de BIM en licitaciones públicas será recomendable para todo tipo de obras y obligatorio para aquellas de edificación, dando paso a que para el 2019 sea obligatorio el uso de BIM en licitaciones públicas de infraestructuras.

En Estados Unidos, desde el año 2007, GSA (administración de servicios generales) comienza la solicitud de BIM en aquellos proyectos que reciben financiación. Y desde el mismo año, el Institute for BIM de Canadá impone como obligatorio el uso de BIM en fases de diseño, construcción y gestión.

En Singapur, el objetivo de la Autoridad de Construcción y Edificación (BCA), es “tener BIM implementado en la mayoría de las construcciones públicas para el 2015, además el gobierno en

conjunto con la BCA tiene diferentes tipos de motivación del uso y conocimiento de BIM tanto a empresas como profesionales y estudiantes. Ejemplo de esto es la facilitación de apoyo financiero a compañías por la implementación de BIM y competencias de uso BIM” (González, 2014, p.13). Además, la BCA genera una guía de BIM según los parámetros del país.

“En Australia, sobre todo, está ganando peso y en muchas áreas como el Departamento de planificación, transporte e infraestructura ya se han desarrollado guías BIM para agencias gubernamentales, consultores y contratistas, con una obligación del BIM en todos los proyectos de más de 30 millones de dólares. El cuerpo legal, Infrastructure Australia, ha hecho público un plan de 15 años dentro del cual, el BIM queda subrayado como una recomendación para animar a una planificación estratégica integrada.” (BIM Community, 2016).



*Figura 5: estadio AAMI Park, Melbourne City, Victoria, Australia*

*Fuente: [www.designmena.com/portfolio/in-pictures-top-10-parametric-buildings-around-the-world](http://www.designmena.com/portfolio/in-pictures-top-10-parametric-buildings-around-the-world)*

### 2.1.2.3. BIM en Chile

El BIM en Chile comenzó su desarrollo desde el ámbito de la arquitectura, expandiéndose a ingeniería, construcción y operaciones. Los primeros indicios del uso de BIM se dieron en la infraestructura hospitalaria, dadas las exigencias en las licitaciones desde el 2009. Con los beneficios obtenidos en estas experiencias, BIM se hizo cada vez más atractivos para las demás áreas de la industria.

El desarrollo de BIM en Chile ha sido monitoreado por distintas entidades, como lo son la CDT, el BIM Forum Chile, universidades, entre otros.

BIM Forum Chile, según sus propias definiciones, es una instancia técnica y permanente, que convoca a los principales profesionales e instituciones relacionadas a Building Information

Modeling (BIM) en Chile. Busca canalizar las inquietudes técnicas, el conocimiento y la información relacionados a BIM, constituyéndose también en una instancia de desarrollo, difusión y buenas prácticas para el desarrollo tecnológico en el sector construcción.

Los propósitos de BIM Forum Chile son netamente técnicos y sesiona bajo la coordinación de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción. También, es una instancia abierta y convocante, agrupando a las empresas y profesionales que puedan aportar sus conocimientos y experiencias al mejoramiento de las técnicas relacionadas a BIM.



*Figura 6: Clínica BUPA Santiago (Cruz Blanca)  
Fuente: [www.mobilarquitectos.cl/proyectos/](http://www.mobilarquitectos.cl/proyectos/)*

Para el análisis de datos, resaltan las encuestas BIM 2013 y 2016, desarrolladas por la Universidad de Chile y su posterior análisis comparativo por la CDT y el BIM Forum Chile.

En este análisis se aprecia una masificación de la noción de BIM y su uso, que BIM ha ido diversificándose y ya no es algo exclusivo de grandes proyectos, que los modelos han ido nutriéndose con información extra a la del diseño y planimetrías.

A pesar de la diversificación, sigue siendo muy escaso el uso de BIM en funciones tales como la Gestión de obra, Programación de obra y Facility Management, por lo que se estima una necesidad de profesionales capacitados en el uso de BIM en dichas funciones (CDT, BIM Forum Chile, 2016).

Se aprecia que las tendencias con relación a la escasez de profesionales se mantiene, del mismo modo 3 años después se sigue percibiendo como una necesidad urgente un estándar nacional BIM. Esto refleja la necesidad de profesionales con experiencia o capacitación en el uso de herramientas BIM, así como la necesidad de un estándar que masifique el uso correcto y se eviten malas experiencias BIM en proyectos lo que desincentiva su uso en otros proyectos a futuro (CDT, BIM Forum Chile, 2016).

El BIM Forum Chile (2017), menciona 3 hitos que “marcarán el crecimiento de esta metodología”:

- Convenio de colaboración y complementación de capacidades para incrementar la productividad en la industria (MOP, MINVU, Ministerio de Economía, Ministerio de Hacienda, Corfo, CChC e Instituto de la Construcción).
- Plan BIM bajo el alero de Construye 2025.
- Librería Nacional BIM.

Esta necesidad de estandarización llega con el programa Construye 2025, estrategia nacional que tiene por objetivo transformar cómo se edifica en Chile, mejorando la productividad de la industria y su cadena de valor, considerando la sustentabilidad, el impacto en el ciclo de vida del inmueble y el bienestar de las personas.

El Programa Construye 2025 considera todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto, desde el suministro de materiales hasta el fin de la vida útil de la edificación. De esta manera se genera valor a partir de una mayor eficiencia en los procesos, desarrollo tecnológico, industrialización, estandarización, plataformas de gestión de proyectos, fortalecimiento del capital humano y educación de clientes (Construye 2025, 2016).

Dentro de este programa, resalta el Plan BIM: proyecto que busca incrementar la productividad y sostenibilidad de la industria de la construcción, por medio de la metodología y tecnologías BIM. Este plan tiene como principal hito exigir BIM para proyectos públicos desde el 2020 y para privados, desde el 2025.

Este plan está siendo articulado por:

- |                                      |                                |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| • Corfo                              | • Instituto de la Construcción |
| • Ministerio de Obras Públicas       | • Laboratorio de Gobierno      |
| • Ministerio de Vivienda y Urbanismo | • Universidad Católica         |
| • Ministerio de Hacienda             | • Universidad de Chile         |
| • Ministerio de Economía             | • Duoc                         |
| • Cámara Chilena de la Construcción  | • CDT                          |

Las principales líneas de acción y áreas de trabajo que aborda el plan son:

- |   |   |
|---|---|
| • Estandarización de Procesos                         | • Comunicación y difusión   |
| • Desarrollo de institucionalidad                     | • Fomento Industria Local   |
| • Desarrollo de Capacidades                           | • Integración del ciclo de vida completo de los proyectos (Diseño, Construcción, Operación) |
| • Desarrollo de Componentes Tecnológicos Habilitantes |   |
| • Desarrollo de normativa y cambios contractuales     |   |

Los resultados de este proceso favorecerán a ciudadanos, empresas, Estados y demás actores del sector de la construcción. En el tiempo se busca cerrar las brechas entre diseño, construcción y funcionamiento efectivo de las edificaciones y obras. Para el Estado y también los privados esto implica como resultado reducir sus costos de capital y operacionales en un mismo proceso, transparente y trazable (Construye 2025, 2016).

### 2.1.3. Aspectos técnicos y niveles de desarrollo

El uso de la metodología BIM requiere de conocimientos y medidas fundamentales para su concepción e implementación. Es por esto, que la vorágine tecnológica debe complementarse con una infraestructura del saber, de forma de que BIM se desarrolle plenamente en el proyecto. Por lo mismo, serán los requerimientos de cada proyecto los que definan que especialidades, tecnologías y disciplinas participarán.

Los aspectos técnicos y niveles de BIM se explicarán mediante los softwares y hardwares asociados, el intercambio de archivos, el plan de ejecución BIM (BEP), los niveles de madurez, detalle, desarrollo e información y las dimensiones alcanzables con la metodología. Cabe recordar que estos aspectos son solo parte la metodología BIM, pues esta no queda definida solo con herramientas computacionales.

#### 2.1.3.1. Softwares y hardwares

Existen muchos de los llamados softwares BIM, pues son softwares que cumplen ciertas funciones y poseen ciertas características que los hacen útiles para el modelo y la metodología. El BIM Forum Chile ha desarrollado el **Listado de Softwares BIM 2016**, el cual comprende un gran número de softwares y sus características. En la *Tabla 1*, se muestra una selección de softwares y su área de aplicación.

En los proyectos puede usarse cualquier software BIM, dependiendo de los objetivos que uno desee alcanzar con dicho modelo, sin embargo es importante considerar la interoperabilidad entre softwares BIM. La mayoría de estos poseen la opción de la exportación a un formato universal denominado formato IFC, (Industry Foundation Clases) que permite el intercambio de información de un software a otro, estableciendo así un lenguaje común para los distintos modelos de un proyecto (BIM Forum Chile, 2017, p.29).

Si bien el proyecto y modelo tienen requerimientos que los softwares vienen a cumplir, estos mismo tienen requerimientos para los hardwares a utilizar. Por lo general, estos softwares tienen especificaciones y recomendaciones para los equipos que se destinen a su uso, lo cual debe ser considerado en los recursos.

Por otro lado, para que el trabajo colaborativo sea efectivo se debe contar con una red acorde a las necesidades de los equipos, softwares y que permita un trabajo colaborativo fluido; se puede requerir máquinas adicionales como servidores u otro tipo de equipos, además de una configuración adecuada. Dado el alto nivel técnico que se puede requerir, siempre es recomendable, si es que no está incorporado en la empresa, contar con la asesoría de un especialista en informática y redes, para que en conjunto con el soporte del software se logre una instalación completa, efectiva y eficiente (BIM Forum Chile, 2017, p.29).



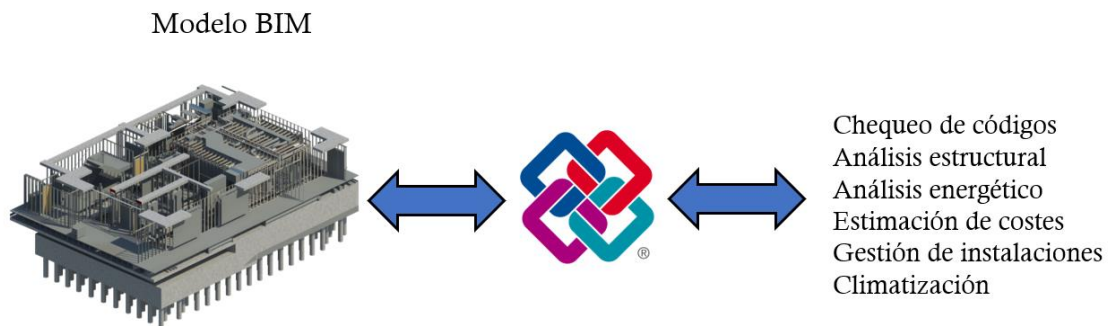
Software	Conceptualización de proyectos y/o modelos paramétricos	Coordinación y/o cubicación	Presupuesto y/o costos	Simulaciones y/o análisis	Planificación temporal (4D)	Detallamiento	Fabricación	Visualización y/o verificación	Administración de obra	Operación y/o gestión de activos y/o mantenimiento
Revit	X	X		X		X				
BIM 360	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ArchiCAD	X	X	X			X				
Vectorworks	X	X	X			X				
Project Wise	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
BricsCAD BIM	X	X	X	X	X	X	X			
Tekla Structures	X	X		X	X	X				
Tekla BIM Sight								X		X
Trimble Connect	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Vico Software			X		X				X	
Solidworks	X			X						
Aconex		X	X					X	X	X
BIManywhere										X

Tabla 1: selección de softwares y su utilización  
Fuente: Listado de Softwares BIM, BIM Forum Chile (2016)

### 2.1.3.2. Intercambio de archivos

Una de las principales características de BIM es la intercomunicación entre las partes. Esto se puede lograr con medios y canales comunes a todos, pero dada la gran gama de softwares disponibles es necesario contar con una plataforma común definida y trabajar con ella a lo largo del proyecto. El formato por utilizar también ha de ser compatible con todos los softwares, por lo que el IFC juega un rol importante en el trabajo colaborativo entre disciplinas.

Finalmente cabe destacar que para que en el desarrollo del proyecto se aproveche BIM, debe darse una modelación inteligente o adecuada y no debe pensarse para un uso exclusivo de su misma especialidad, ya que la idea principal de BIM es la colaboración entre profesionales y en este sentido el compartir información por medio de IFC debe realizarse bajo una configuración cuidadosa y dependiendo del software de origen, para que la información llegue eficientemente y en su totalidad (BIM Forum Chile, 2017, p.30).



*Figura 7: interacción modelo y requerimientos mediante formato IFC  
Fuente: elaboración propia*

Los modelos BIM de diferentes disciplinas son reunidos y chequeados en geometría para identificar inconsistencias. Cuando estos tienen superposiciones puntuales o existe una mala calidad estética, esto puede ser descubierto, detectado y corregido.

Los modelos poseen niveles de desarrollo, lo que depende mucho del nivel y calidad de trabajo que se desarrolla para alimentar el modelo y cómo se trabaja con BIM en el proyecto.

### 2.1.3.3. Madurez

NBIMS, de E.E.U.U, ha desarrollado un modelo de capacidad de madurez (CMM) para definir la madurez de los modelos y permitir a los usuarios evaluar sus prácticas y procesos basados en un espectro y funcionalidades técnicas definidas. El objetivo con el CMM es proveer criterios de comparación y metas para el progreso en la madurez proyectos. En la matriz CMM, el eje X comprende 11 áreas de interés y el eje Y, 10 niveles de madurez, siendo 10 el más alto (Ver **Anexo A**).

Por otro lado, el modelo de madurez del Reino Unido fue desarrollado por Mark Bew y Mervyn Richards el 2008. Su evolución llegó al modelo que apareció el 2011 en el UK Government Construction Client Group (Ver **Anexo B**).

En términos simples, el modelo señala 4 niveles (McPartland, R., 2014):

- Nivel 0: no hay colaboración. CAD 2D solo utilizado para producción. Outputs son distribuido en papel, digital o una mezcla.
- Nivel 1: Mezcla de CAD 3D para trabajo conceptual y 2D para documentación. Estándares de CAD se administran según BS 1192: 2007 y el intercambio electrónico de datos se lleva a cabo desde un entorno de datos común (CDE), a menudo administrado por el contratista. Los modelos no se comparten entre los miembros del equipo del proyecto.
- Nivel 2: trabajo colaborativo: todas las partes usan sus propios modelos CAD en 3D, pero no necesariamente trabajan en un solo modelo compartido. La colaboración viene en forma de cómo se intercambia la información entre las diferentes partes (formato de archivo común).
- Nivel 3: colaboración completa entre todas las disciplinas mediante el uso de un único modelo de proyecto compartido que se mantiene en un repositorio centralizado. Todas las partes pueden acceder y modificar ese mismo modelo y el beneficio es que elimina la capa final de riesgo de información conflictiva. Esto se conoce como 'Open BIM'.

Las organizaciones, empresas e instituciones suelen desarrollar sus propios métodos para medir la madurez BIM, mas estos modelos son un buen ejemplo y base.

#### 2.1.3.4. Niveles LOD

Existen distintos niveles de BIM, para el detalle, desarrollo e información, todos bajo un concepto común: LOD, el cual tiene distintas interpretaciones que derivan de estándares de Estados Unidos (NBIMS-US) y del Reino Unido (NBS-UK). Estados Unidos se explica LOD como *Level of Development*, mientras que el Reino Unido como *Level of Definition*.

La diferencia fundamental, como lo indica el BIM Forum Chile (2017) es que:

El nivel de detalle se incluye en el elemento del modelo (UK), mientras que el nivel de desarrollo es el grado en que la geometría e información del elemento se ha pensado; es decir, según la fase de diseño del proyecto, por lo que entrega un cierto nivel de confianza para seguir avanzando en el desarrollo del proyecto en el modelo (US) (p.31).

### 2.1.3.5. Niveles de detalle

Tal como lo plantea el NBS del Reino Unido, el término *Level of Definition* (nivel de definición) se refiere al nivel de detalle (descripción gráfica de los modelos en cada etapa) y al nivel de información (LOI, que describe el contenido no gráfico del modelo en cada etapa). A continuación, se indican los siguientes niveles de detalle e información, acorde a lo señalado por el BIM Forum Chile (2017):

Nivel de detalle	Características
LOD 1	Conceptualización y casi nula geometría.
LOD 2	El elemento de construcción modelado proporciona una indicación visual del elemento en la etapa conceptual, identificando requerimientos claves como el acceso o zonas libres para el posterior mantenimiento. Esta información es adecuada para la coordinación espacial inicial de los elementos o sistemas.
LOD 3	El elemento de construcción modelado proporciona una representación visual del elemento en la etapa de definiciones técnicas para su coordinación espacial completa.
LOD 4	El elemento de construcción modelado proporciona una representación visual del elemento para una etapa de diseño, con su coordinación espacial completa.
LOD 5	El elemento de construcción modelado proporciona una representación visual del elemento en el proyecto construido y provee una referencia, para su posterior uso y mantenimiento.

Tabla 2: niveles de detalle  
Fuente: BIM Forum Chile (2017).

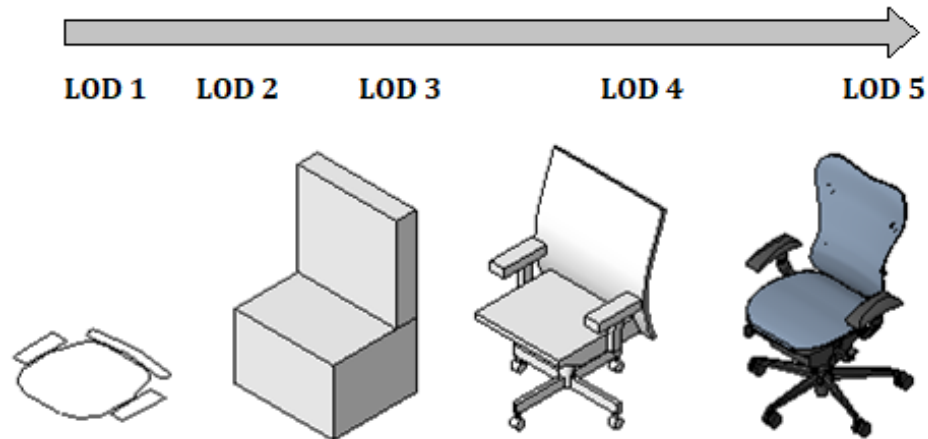


Figura 8: ejemplo niveles de detalle  
Fuente: <http://lanmarservices.com/2014/05/14/lod-in-scan-to-bim/>

### 2.1.3.6. Niveles de información

Los niveles de información (*Levels of Information*, LOI) se muestran en la siguiente tabla:

Nivel de información	Características
LOI 2 y 3	El elemento modelado proporciona una descripción inicial para una entrega hacia el diseño.
LOI 4	El elemento modelado proporciona una información suficiente para permitir la selección del producto de fabricante que cumpla con sus requerimientos. Esta información también puede ser utilizada para reemplazar un elemento durante el ciclo de vida del proyecto, una vez construido.
LOI 5	El elemento modelado proporciona la información específica del producto de fabricante seleccionado o lo construido y entregado. Cualquier información adicional pertinente durante el proceso de construcción o instalación es indicada dentro de este nivel.
LOI 6	El elemento modelado proporciona la información acumulada de los niveles anteriores y además considera información detallada del mantenimiento efectuado.

Tabla 3: niveles de información  
Fuente: BIM Forum Chile (2017)

### 2.1.3.7. Niveles de desarrollo

Ahora bien, el AIA (*American Institute of Architects*) de Estados Unidos define al nivel de desarrollo como la forma de identificar requisitos mínimos y usos específicos a cada elemento del modelo, en un respectivo nivel. Los siguientes, son los niveles de desarrollo, en base a lo expuesto por el BIM Forum Chile y desde la definición del AIA (2017):

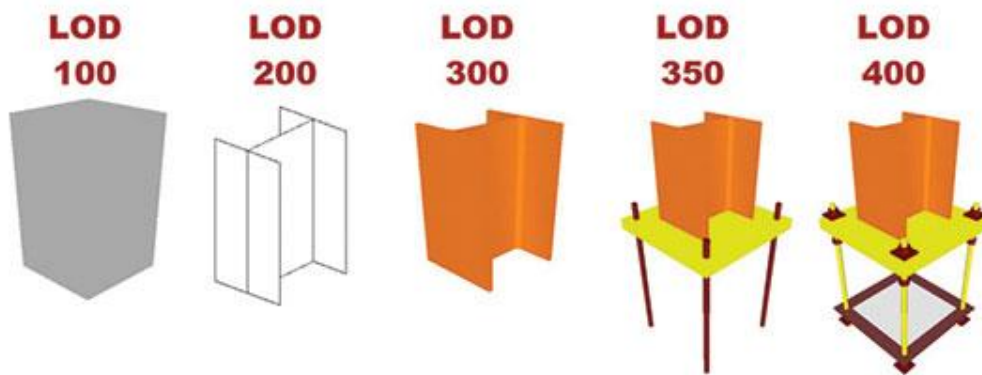


Figura 9: ejemplo niveles de desarrollo  
Fuente: <http://lanmarservices.com/2014/05/14/lod-in-scan-to-bim/>

Nivel de desarrollo	Características
LOD 100	El elemento puede ser representado gráficamente en el modelo con un símbolo u representación genérica. Estas representaciones muestran la existencia de un componente, pero no su forma, tamaño o ubicación precisa. La información debe ser considerada aproximada.
LOD 200	El elemento se representa gráficamente como un sistema genérico de objeto, tamaño, forma, ubicación y orientación aproximados. La información no gráfica también es aproximada. Estas representaciones son respecto del volumen o espacio reservado.
LOD 300	El elemento representa gráficamente como un objeto o sistema específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. La información no gráfica se corresponde con la información gráfica. Las cantidades, dimensiones, formas, ubicación y orientación según lo diseñado se pueden obtener directamente a del elemento.
LOD 350	Igual al LOD 300, pero las representaciones se vinculan con otros elementos del modelo cercano o adjunto y se incluyen las partes tales como soportes o conexiones.
LOD 400	LOD 350 más la modelación Estas representaciones se modelan con la precisión y detalle suficiente para su fabricación e instalación.
LOD 500	El elemento modelado es una representación fiel del elemento de construcción ya ejecutado en obra, con su tamaño, forma, ubicación y orientación real en el proyecto. La información no gráfica está incluida en el objeto, así como sus vínculos con otros elementos. Estas representaciones se realizan una vez construido el proyecto y son las adecuadas para el mantenimiento y el funcionamiento del elemento en el inmueble.

*Tabla 4: Niveles de desarrollo  
Fuente: BIM Forum Chile (2017)*

Dadas las definiciones anteriores, es muy importante esclarecer estos conceptos al comienzo del proyecto y dejarlos claros a todos los participantes de este, para evitar ambigüedades y malentendidos a futuro.

Es recomendable, también, determinar tempranamente la información requerida acorde a los objetivos del proyecto, para así poder establecer niveles base o estándares acordes a los requisitos impuestos. Es necesario acotar y definir el desarrollo y requerimientos que busca cumplir el proyecto con uso de BIM.

#### 2.1.3.8. Dimensiones BIM

BIM puede abarcar varias dimensiones y objetivos en el proyecto, lo cual dependerá de la capacidad y entendimiento del uso de la metodología en este.

Las dimensiones BIM se refieren a la forma particular en que los datos son conectados con el modelo. Mientras más dimensiones de datos se agreguen, se puede tener un entendimiento más completo del proyecto, el cómo será desarrollado, cuál será el tiempo asociado, costos, mantenimiento, entre otros.

Actualmente se reconocen 7 dimensiones, en general. Pero, en el último tiempo se ha indagado en una octava (seguridad) e incluso una novena.

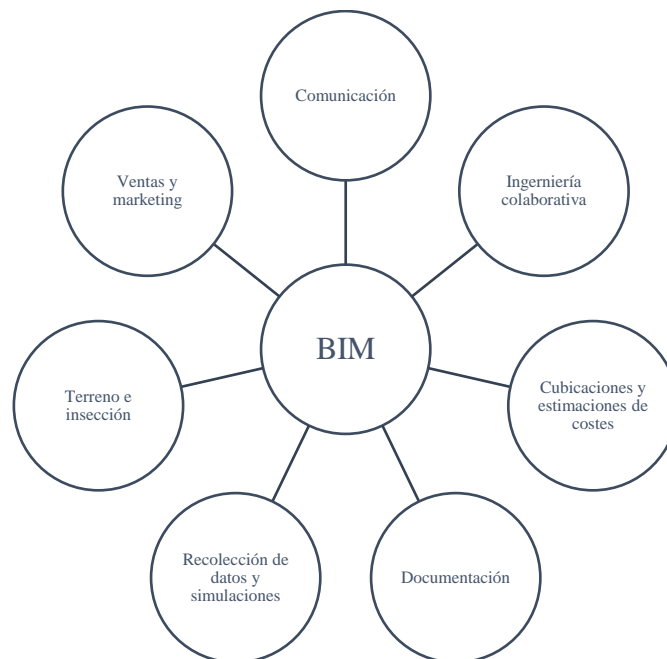
La siguiente tabla, muestra las 7 dimensiones BIM principales, junto a sus características más relevantes.

Dimensiones	Características
1D	Investigación, estrategia y diseño conceptual.
2D	Dibujos 2D, planos, manejo de archivos y estimaciones.
3D	Tiempo se agrega al modelo. Simulaciones de fases y etapas. Generación de herramientas programáticas y revisiones de estado.
4D	Tiempo se agrega al modelo. Simulaciones de fases y etapas. Generación de herramientas programáticas y revisiones de estado.
5D	Se asocian costes. Análisis presupuestario, estimaciones y control de costes. Cubicaciones.
6D	Uso y análisis energético, durabilidad, sostenibilidad, sustentabilidad y diseño medio ambiental
7D	Control logístico y operacional. Mantenimiento, inspecciones, gestión de instalaciones.

*Tabla 5: dimensiones BIM  
Fuente: adaptado de Autodesk (2008)*

#### 2.1.4. Aplicaciones de la metodología BIM

La metodología BIM posee múltiples características que le permiten diversificar su aplicación a varios tipos de proyectos y su uso dependerá de los objetivos del mismo.



*Figura 10: aplicaciones de la metodología BIM  
Fuente: elaboración propia*

BIM se ha implementado en proyectos mineros, estructuras hospitalarias, obras viales, puentes, edificios, estructuras industriales, demoliciones, remodelaciones, entre otros, dado las características de su uso y aplicación.

A continuación, se exponen algunas de las aplicaciones más relevantes de BIM en los proyectos de ingeniería y construcción:

- Comunicación

Mediante el uso de BIM es posible modificar la forma en que el modelo es presentado o compartido. Además, existen distintos softwares BIM como canales de comunicación, cumpliendo con diferentes requisitos.

Para *stakeholders* externos es importante ser preciso y conciso con lo que se quiere mostrar y, mediante BIM, es posible obtener vistas del modelo que cumplan con los requerimientos de estos (modelos 3D, 4D, etc.).

Para los internos, el trabajo que realicen determina también el cómo se presentan las partes del proyecto. Para la mano de obra, los planos pueden extraerse del modelo con un gran nivel de detalle, además de la información no gráfica asociada a los distintos elementos, como manuales o especificaciones técnicas y las áreas de ingeniería también pueden revisar en conjunto y comunicarse instantáneamente.

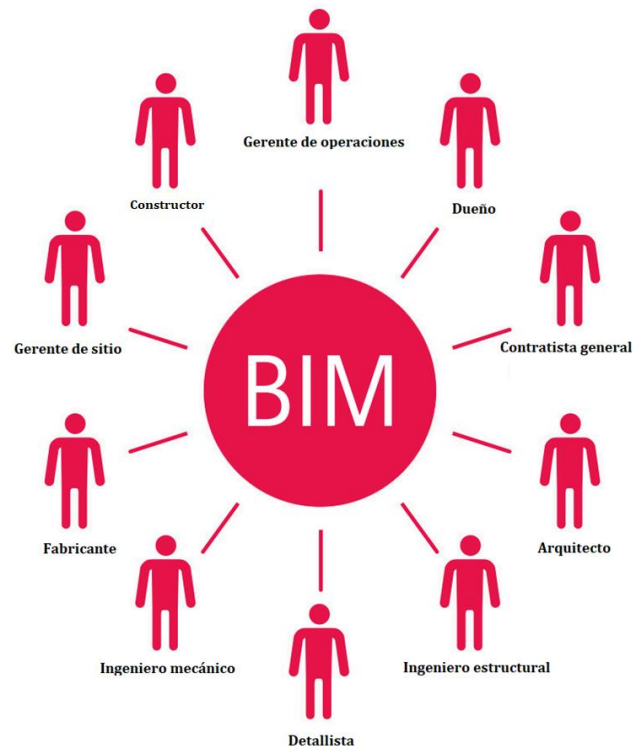


Figura 10: participantes comunicación BIM

Fuente: adaptado de <http://blogs.bcu.ac.uk/bsbe/what-does-the-i-in-bim-mean/>

Además, el nivel de detalle que puede lograrse mediante BIM permite generar especificaciones para fabricantes, proveedores o contratistas y mantener un canal comunicativo activo para la definición de sus servicios.



- Ingeniería colaborativa

El trabajo colaborativo en ingeniería consta del traspaso de información, resolución de dudas y discusión de soluciones en conjunto. BIM dispone de plataformas y formas de manejar el modelo que permiten no perder esta facultad colaborativa.

Esta interacción interdisciplinaria lleva consigo un diseño más efectivo, con cambios en tiempo real, resolución de desconformidades e interferencias al mismo tiempo, mientras otras actividades son desarrolladas en paralelo. Este diseño colaborativo tiene dos enfoques claros: el centralizado y el distribuido.

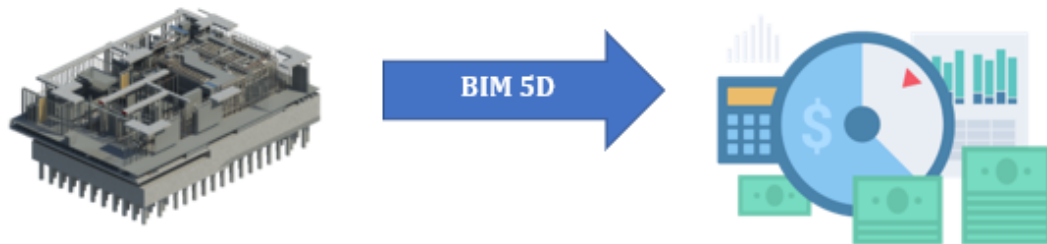
El centralizado propone que todas las especialidades trabajen en un mismo modelo, en el cual es necesario definir una serie de protocolos de trabajo y utilizar herramientas computacionales de apoyo para la comunicación (Saldías, 2010).

Por otro lado, el distribuido dicta que cada especialidad trabaja en su propio modelo, intercambiando información de estos e integrándolos al final del proceso para chequear conflictos e inconsistencias (Saldías, 2010).

- Cubicaciones y estimaciones de costes

El modelo BIM, gracias a la información ingresada, permite la cubicación de elementos y materiales, además de posibilitar la estimación de costos.

Estas estimaciones se pueden desarrollar de dos formas: exportar las cantidades a una planilla de cálculo (ej. Excel) y luego desarrollar el análisis con las herramientas de esta planilla. O vincular directamente las cantidades de los materiales extraídas del modelo con herramientas de estimación de costos del mismo software que nos provee del modelo BIM (Saldías, 2010).



*Figura 11: obtención de costes y cubicaciones desde el modelo gracias a herramientas BIM 5D  
Fuente: elaboración propia*

- Documentación

BIM posibilita el almacenaje y generación de documentación. La información se encuentra centralizada, fomentando el no tener distintas versiones y la actualización de la misma para todo el proyecto, además de permitir que su localización sea fácil y expedita.

La documentación puede tener distinta índole: información de terreno, especificaciones de materiales o equipos, minutas de reunión, informes de avance, planos, permisos, contratos, manuales, entre otros. Esta variedad es útil para las distintas fases del proyecto, así como para futuros proyectos.

- Recolección de datos y simulaciones

La recolección de datos es centralizada y debe contar con respaldos. Esta información puede ser tratada en redes comunes físicas o incluso en plataformas que permiten el trabajo en la nube. Dado que los elementos pueden ser asignados con mucha información, es posible situarse en distintos escenarios y buscar soluciones óptimas, ya sea para la selección de materiales o equipos, variables constructivas, *in-situ* o prefabricados, entre otros. Estas simulaciones pueden utilizarse para análisis energético, impacto ambiental, planes de mantenimiento, costes, cronograma, etc.

- Terreno e inspección

El control en terreno e inspección también tienen cabida en el modelo BIM. De hecho, son importantes responsables en la actualización de planos y modelos “As Built”.

Existen herramientas como BIM 360, software de construcción para control de calidad y reportes. Se desarrolla el uso de checklists, seguimiento de equipos, tareas, problemas, entre otros. Además, durante la etapa de construcción, las desviaciones pueden ser ingresadas al modelo, lo que permite que todos los actores puedan tener conocimiento de los posibles cambios o problemas que existan en dicha etapa, mejorando la toma de decisiones y la solución de problemas.



*Figura 12: herramienta BIM en terreno*

*Fuente: <https://revitall.wordpress.com/2014/04/16/do-you-want-to-take-your-bim-anywhere/>*

- Ventas y marketing

Los proyectos de inversión se realizan para generar utilidades. Es la razón del por qué los mandantes quieren realizar proyectos.

La idea es utilizar imágenes o animaciones extraídas del modelo con el propósito de promover o vender un proyecto, apoyando el plan de marketing de este (si es necesario) lo que puede traer una ventaja con respecto a la competencia (Saldías, 2010).

El público objetivo no es técnico, por lo tanto, la precisión geométrica y actualizaciones del modelo no son relevantes. Importa sólo la parte externa, es decir, el esfuerzo es puesto en texturas, colores, iluminación y otros detalles arquitectónicos (Saldías, 2010).

Incluso, es posible la inspección de modelos 3D mediante la tecnología “inmersiva” y utilizar esta capacidad, más las otras cualidades de BIM, es una herramienta potente de marketing.



*Figura 13: marketing inmersivo en la industria de la construcción*

*Fuente: <https://www.riba-insight.com/monthlyBriefing/17-01/immersive-marketing-for-the-construction-industry.asp>*

### 2.1.5. 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 y largo 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, en base a los trabajos de Saldías (*Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM*, 2010) y Aliaga (*Implementación y metodología para la elaboración de modelos BIM para su aplicación en proyectos industriales*, 2012).

Etapa del proyecto	Beneficios asociados
Pre-inversión ( <i>idea, estudios, evaluaciones, ingeniería conceptual y básica</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Análisis de las distintas situaciones para evaluar viabilidad, diseño y concepto</li> <li>✓ Desempeño y calidad del producto final</li> <li>✓ Disminución de costos y ahorro en el tiempo de desarrollo de proyectos</li> </ul>
Inversión ( <i>ingeniería de detalle, adquisiciones, construcción, pruebas y puesta en marcha</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Visualización del diseño en cualquier etapa del proceso</li> <li>✓ Correcciones automáticas gracias a parametrización</li> <li>✓ Menor tiempo en elaboración de documentos y traspaso de la información</li> <li>✓ Entrega 2D exactos y consistentes por obtención directa del modelo 3D</li> <li>✓ Trabajo multidisciplinario colaborativo y simultáneo</li> <li>✓ Mejor comunicación entre diferentes disciplinas</li> <li>✓ Mejor coordinación en etapa de diseño</li> <li>✓ Estimaciones de costos</li> <li>✓ Eficiencia energética y sustentabilidad (análisis)</li> <li>✓ Planificación de la construcción (BIM 4D)</li> <li>✓ Detección de interferencias</li> <li>✓ Rápida reacción a problemas en terreno y diseño</li> <li>✓ Modelo útil para fabricación de elementos</li> <li>✓ Técnicas “Justo a Tiempo”</li> </ul>
Operación y cierre ( <i>utilización, producción y cierre</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mejor administración y operación de las instalaciones</li> <li>✓ Control de sistemas y <i>comissioning</i></li> <li>✓ Integración con la operación de la instalación y la gestión de sistemas</li> <li>✓ Análisis y monitoreo de los procesos y trabajos de cierre</li> </ul>

Tabla 6: beneficios del uso de BIM en las distintas etapas de un proyecto de ingeniería y construcción  
Fuente: elaboración propia (basado en los trabajos mencionados anteriormente)

Ahora bien, desde la perspectiva del BIM Forum Chile, BIM conlleva una serie de efectos beneficiosos en muchas aristas según el nivel de experiencia que se alcance, el nivel de compromiso de todos los actores y el proyecto a ejecutar. La adopción de esta metodología plantea en principio, un beneficio estratégico desde el punto de vista de las ventajas competitivas que genera para la empresa, definiendo objetivos claros y cuantificables en pro de buenos resultados a nivel económico y de productividad.

El BIM Forum Chile plantea dos grandes enfoques de beneficios:

- Beneficios para los usuarios

El uso de la metodología y herramientas BIM permite establecer un estándar de desarrollo de proyectos, un orden, una mejora de productividad. Además, una vez superada la curva de aprendizaje, permite mayor rendimiento o menores plazos y mayor control en el desarrollo de tareas habituales. Si se logra un desarrollo amplio de BIM, se pueden tener cubicaciones y planimetrías rápidamente, menores modificaciones y cambios de versiones, menos consultas por inconsistencias o falta de definiciones. El beneficio real que se obtenga de BIM depende de diversos factores, como los objetivos buscados por cada participante, la capacidad de comunicación entre actores, capacidades tecnológicas y humanas de cada oficina, entre otros.

- Beneficios para el proyecto

El uso de BIM en general requiere de un mayor esfuerzo en la fase de diseño de los proyectos, pero esto se retribuye con la posibilidad de realizar ensayos, simulaciones virtuales y distintos tipos de análisis permitiendo la toma de mejores decisiones y más informadas. También se pueden observar menores inconsistencias e interferencias al momento de construir, sin mayores aumentos de plazos y con costos controlados, evitando las ineficiencias por falta de definiciones en el proyecto. Tener múltiples opciones de diseño sin la necesidad de modificar todo el universo de planos o documentación puesto que, al estar vinculadas, la actualización es automática.

Si su uso durante todo el ciclo del proyecto es parte de los objetivos, los beneficios que puede llegar a generar en la planificación de las vías de acceso necesarias para el mantenimiento, en el rastreo y control de los componentes, en remodelaciones y posteriores demoliciones, pueden reflejar un ahorro final significativo en la totalidad de la vida del proyecto desde el punto de vista de la gestión de activos. Cabe destacar que el mayor ahorro de este nuevo proceso se produce en la fase de operación y mantenimiento.

Finalmente, en aspectos generales, el uso de la metodología y herramientas tecnológicas aporta positivamente en la ejecución de los proyectos y es por eso que se están desarrollando políticas públicas en pro de la masificación, difusión y uso de BIM en Chile; por lo que en un futuro próximo se espera que sea un requerimiento común y no opcional, en el desarrollo de distintos proyectos, tanto públicos como privados.

### 2.1.6. Implementación y operación

La implementación de BIM en los proyectos, o empresas puede ser de carácter parcial o total. Esto depende de los objetivos del proyecto o firma, recursos y disponibilidad de trabajo para cumplir con las expectativas.

Es menester señalar que el implementar el uso de la metodología BIM es mucho más que utilizar los softwares de carácter BIM. El correcto uso de estos, además de la adopción de metodologías de trabajo son las características necesarias para un pleno desempeño en BIM.

Para trabajar con la metodología BIM es necesario realizar una serie de cambios a la manera en que se ha trabajado, partiendo con nuevos cargos, nuevas formas de trabajo, conformación de grupos, entre otros. Esto debe ser considerado en los planes de ejecución y sistemas asociados.

Existen muchas formas de implementar BIM, descritas por guías de gobiernos, el BIM Handbook (2008), la instauración del BEP (BIM Execution Plan), etc. Pero para efectos del presente trabajo de título, se toman de forma general y explicativa distintas formas de implantación, operación y los respectivos desafíos que conlleva el cambio a esta metodología de trabajo.

En la publicación *Implementación y metodología para la elaboración de modelos BIM para su aplicación en proyectos industriales* (Aliaga, 2012), se plantean 5 puntos fundamentales y 1 propuesto como pasos previos a poder implementar la metodología de trabajo BIM:

1. Roles y responsabilidades: definición de obligaciones y compromisos de los profesionales, sus cargos y relación.
2. Modelo de tres fases: explicación de cómo se maneja el modelo.
3. Niveles de detalle: describe las características que el modelo adopta conforme avanza en sus etapas.
4. Notación y librería de elementos: se trata el manejo de los elementos propios del modelo.
5. Software y hardware: programas adecuados para los objetivos del proyecto, además de los equipos necesarios para cumplir con los requisitos de softwares.
6. Sala de Trabajo BIM: en ella se realizan las sesiones de trabajo colaborativo y comunicación entre los distintos integrantes del proyecto.

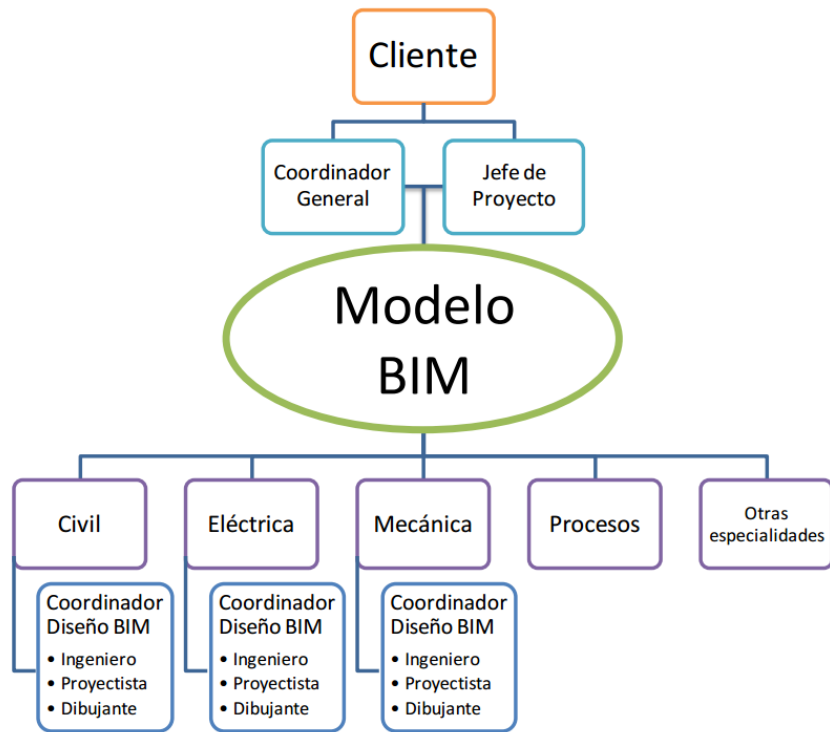


Figura 14: roles y responsabilidades en metodología BIM  
Fuente: Aliaga (2012)

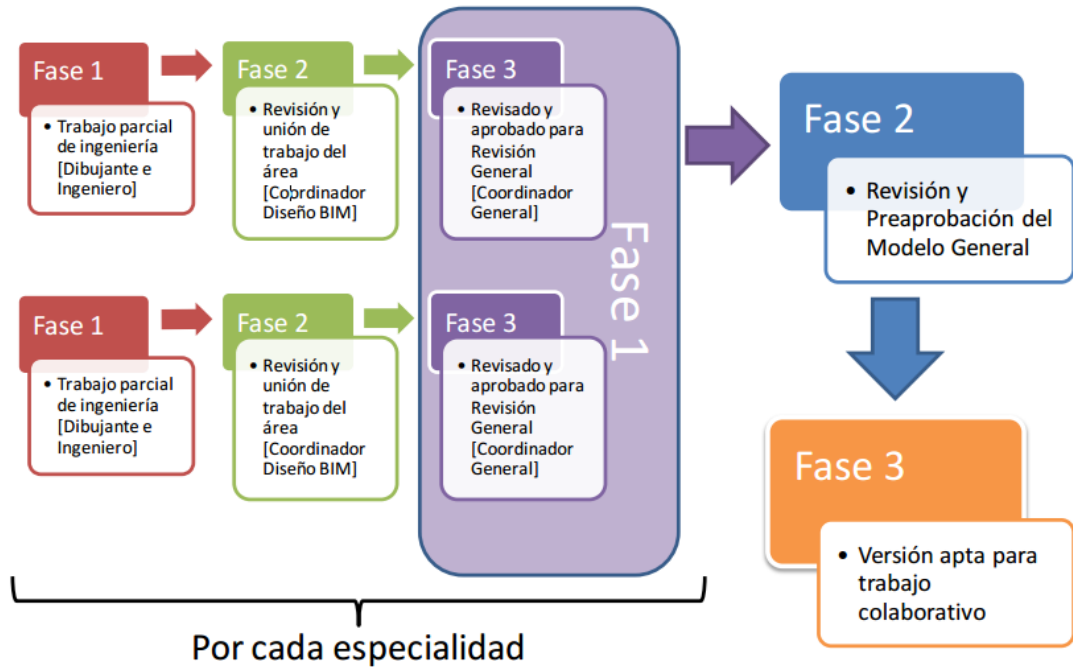


Figura 15: modelo de tres fases  
Fuente: Aliaga (2012)

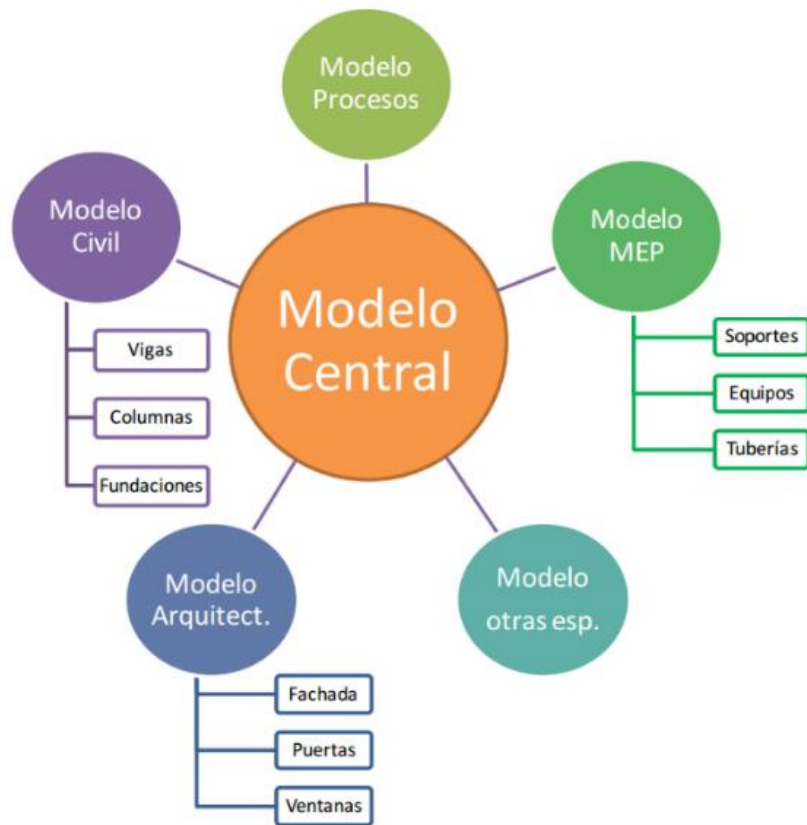


Figura 16: notación y librería de elementos  
Fuente: Aliaga (2012)

La implementación de una metodología debe hacerse en forma parcializada, acorde a la capacitación obtenida y el cambio organizacional dentro de la empresa, ya que existe un periodo de adaptación necesario para ello, y por lo tanto debe respetarse para tener éxito en este proceso. Al contar con una buena metodología, es posible integrarla en cualquier momento del proyecto y por lo tanto lograr crear un modelo BIM en forma ordenada y con información confiable (Aliaga, 2012).

Esta implementación, independiente de las propiedades o características del proyecto, requiere un proceso de adaptación que tendrá un rango de duración variable, dependiendo de factores principalmente internos por motivo de la cantidad de gente involucrada. Se deben crear los incentivos correctos, y ver la forma en cómo se organiza el proyecto. Los beneficios de un cambio en el diseño de ingeniería basado en modelos BIM son principalmente a largo plazo, por lo que una visión cortoplacista y búsqueda de beneficios inmediatos no es útil dentro de las condiciones de trabajo que se desean mantener (Aliaga, 2012).

También, como explica Saldías, R. (2010), existen distintos desafíos de implementación y operación, como lo son cambios en la forma de colaborar, preocupaciones legales y administración de la documentación, así como cambios en prácticas y uso de la información.



Algunas recomendaciones frente a estos problemas son:

- Asignación de responsabilidades claras y que cubran todo el trabajo
- Crear equipo interno responsable de la implementación
- Comenzar con el uso de BIM parcial
- Obtener feedback de los resultados del uso de BIM
- Habiendo utilizado BIM a nivel interno, trabajarlo con actores externos del proyecto.
- Documentar cambios

Es necesario mencionar que los problemas de interoperabilidad entre softwares pueden ser subsanados mediante el uso del formato IFC mencionado anteriormente. Esto, en parte, permite el flujo de información y comunicación entre las disciplinas.

Todas estas medidas de implementación y operación tienen que evaluarse acorde a cómo la compañía pueda avanzar en su interna.

Acorde a lo planteado por el BIM Forum Chile (y CDT), en su *Guía Inicial para implementar BIM en las organizaciones* (2017), existen fases de adopción de la metodología BIM.

Las compañías deberán realizar un diagnóstico del estado actual de sus capacidades y definir objetivos escalables para la incorporación de la metodología BIM dentro de su compañía.

También, es fundamental identificar las demás empresas que son parte del ciclo de proyecto donde trabajará, pues BIM requiere de la máxima participación posible para su óptimo desempeño. Por lo que es recomendable que todos los participantes tengan conocimiento y sean partícipes de la metodología. Frente a esto, los posibles escenarios son:

Escenario integración BIM	Características
BIM no integrado (Unilateral)	Una compañía del ciclo de proyecto es la única que aplicará la tecnología BIM. Esta compañía se verá beneficiada con la velocidad de gestionar cambios en sus modelos, obtener la documentación y lograr una buena coordinación de su proyecto, pero no generará más beneficios para un mandante u otra empresa que sea parte del proyecto.
BIM no integrado (Multilateral)	Caso cuando más de una empresa del ciclo de vida de un proyecto utiliza la tecnología BIM y la información es entregada entre empresas. En estos casos cada compañía desarrollará sus modelos según sus necesidades.
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 con los objetivos del proyecto (caso ideal).

Tabla 7: Integración BIM según BIM Forum Chile  
Fuente: BIM Forum Chile, (2017).

Si bien BIM es una metodología “inter-colaborativa” y común a los distintos actores, esto no la hace ser adoptada e implementada de igual forma a todas las partes, por lo que estos deberán elaborar sus propios procedimientos y flujos de trabajo.

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 (BIM Forum Chile, 2017, p.13).

Además, es necesario definir indicadores de medición de progresos para ver los reales avances en el uso de la metodología.

## 2.2. Planificación y Control de proyectos

### 2.2.1. Introducción a la Planificación y Control de proyectos

La planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción se aborda desde la perspectiva del *Project Management* (Dirección de Proyectos), concepto que, para efectos de este trabajo de título, tiene las siguientes definiciones:

- El arte de liderar, administrar y controlar recursos y plazos limitados para generar un producto, servicio o resultado con requisitos previamente acordados (Polanco, A., 2017).
- Aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos de este (PMI, 2013).

Las áreas del conocimiento que comprende la dirección de proyectos, acorde al *PMBOK*® 5ta edición (PMI, 2013), son 10:

- Integración
- Alcance
- Tiempo
- Costos
- Calidad
- Riesgos
- Recursos Humanos
- Adquisiciones
- Comunicaciones
- Stakeholders

El *Project Management* es una disciplina que se desempeña en distintas industrias, en todos los niveles y que plantea la obtención de mejores resultados en los proyectos a desarrollar, mediante una serie de buenas prácticas.

El *Project Manager* (director, gerente o jefe del proyecto) es un profesional del área de la dirección de proyectos y es el responsable último del resultado del proyecto. Además, debe tener las siguientes cualidades, expuestas en la siguiente tabla:

Competencias	Responsabilidades	Aspectos de las responsabilidades
➤ Estratégicas	➤ Iniciar el proyecto	➤ Administrativas
➤ Gerenciales	➤ Planificar el proyecto	➤ Legales
➤ Operacionales	➤ Dirigir, supervisar e integrar el proyecto	➤ Comerciales
➤ Interpersonales y sociales	➤ Controlar el proyecto	➤ Logísticos
➤ Liderazgo y coaching	➤ Terminar y cerrar el proyecto	➤ Relaciones Humanas
➤ Negociación y solución de conflictos		➤ Documentales
➤ Técnicas asociadas al producto/resultado del proyecto		➤ Estratégicos

Tabla 8: competencias, habilidades y responsabilidades de un *Project Manager*

Fuente: Polanco, A. (2017)

Expuestos los conceptos de *Project Management* y *Project Manager*, se procede con definir la planificación y control, desde la perspectiva de proyectos de ingeniería y construcción.

- Planificación: “proceso iterativo que entrega como resultado un plan de trabajo para lograr los objetivos, cumplir los requisitos y satisfacer las expectativas al mínimo costo y/o plazo” (Polanco, A., 2017). Determina alcances, responsables, objetivo, actividades y recursos.
- Control: “habilidad para influir y dirigir el desempeño de algunas actividades o procesos hacia un resultado deseado y preestablecido” (Polanco, A., 2017). Consta de las etapas de seguimiento (recopilación de datos del trabajo real realizado y su análisis con el plan) y acción (toma de decisiones y acciones para corregir desempeño).

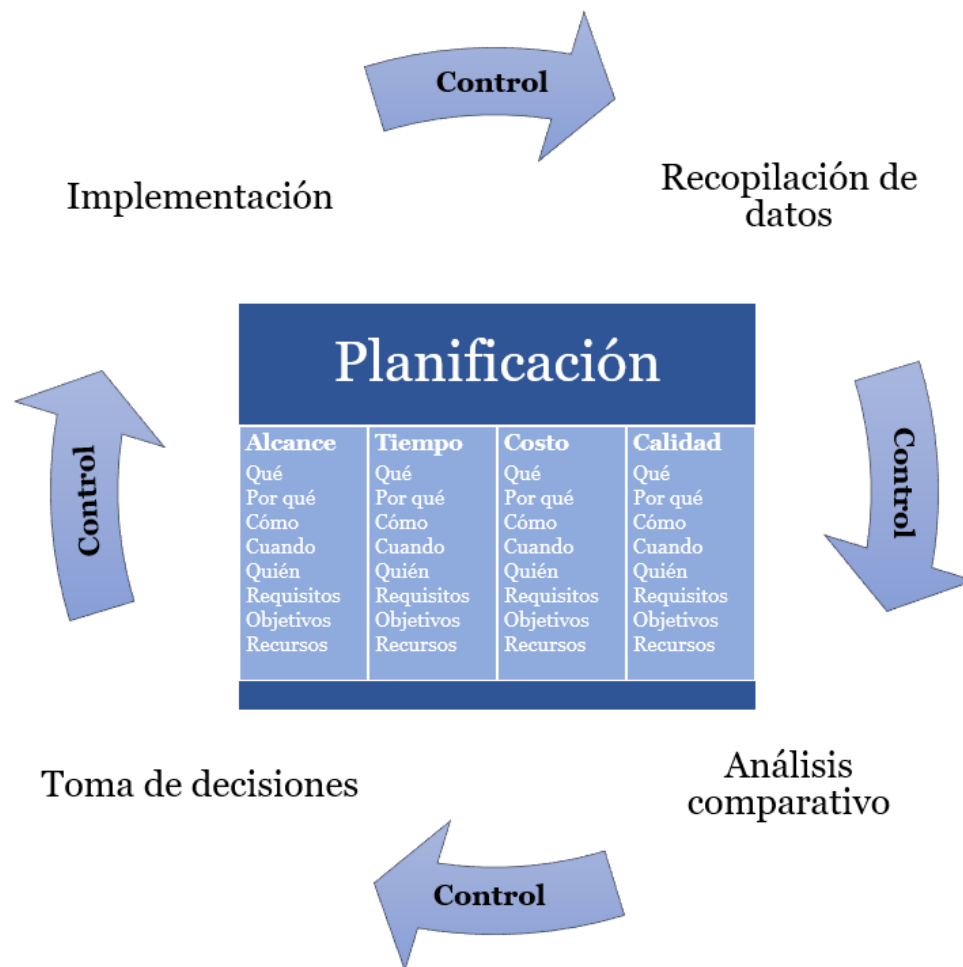


Figura 17: esquema planificación y control de proyectos  
Fuente: elaboración propia

Estas dos actividades fundamentales han sufrido cambios en el tiempo, tanto en su percepción y ejecución, lo que hace necesario realizar un análisis de su evolución, prácticas relacionadas y aplicaciones.

### 2.2.2. Historia y evolución

Previo a la dirección de proyectos como disciplina, el manejo era realizado por ingenieros, arquitectos y maestros con experiencia, especialidades que tradujeron sus conocimientos a herramientas de gestión.

Los precursores del enfoque clásico de la dirección de proyectos son:

- Henry Gantt (1861-1919) → Diagrama de Gantt (1910's): Herramienta gráfica que expone el tiempo asignado para diferentes actividades a lo largo de un tiempo total determinado. Burke (2003) señala: “El diagrama de Gantt ha resistido la prueba del tiempo y hoy se lo reconoce ampliamente como el método más eficaz para comunicar información de planificación” (p.15).

Actividad	Tiempo [semanas]																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Preparación del terreno	■																	
Instalación de faena		■																
Cierre perimetral		■																
Excavación masiva	■	■																
Fundaciones			■															
Pilares				■	■													
Muros				■	■													
Vigas				■	■													
Losas					■	■												
Sobrelosas							■											
Tabiquerías								■	■									
Otras terminaciones									■	■								
Inst. alcantarillado y agua potable										■	■	■						
Instalaciones climatización												■	■	■				
Instalaciones electricidad														■	■	■		
Instalaciones gas																■	■	■

Tabla 9: ejemplo diagrama de Gantt edificio 1 piso  
Fuente: elaboración propia

- Henri Fayol (1841-1925) → 5 funciones de la gestión (1917): Planificar, organizar, comandar, coordinar y controlar. Estas funciones son comunes a todos los tipos de gestión, lo que repercute en un ciclo de la gestión.

Sus trabajos en teorías de gestión científica desembocaron en herramientas modernas del *Project Management*, como la estructura de desglose del trabajo (EDT) y la asignación de recursos.

En la década de 1950, la gestión del proyecto se reconoció formalmente como una contribución distinta derivada de la disciplina de gestión. Los usos anteriores de la gestión de proyectos se centraban en los costos, el cronograma y el desempeño técnico, pero carecían de la definición formal y de la incorporación de los conceptos y procesos de gestión de manera integrada (Cleland, Gareis, 2006).

Las herramientas más utilizadas eran la Carta Gantt y los emergentes modelos de programación método de la ruta crítica (CPM) y técnica de evaluación y revisión de programas (PERT), los cuales tenían como base el uso de diagramas de red.

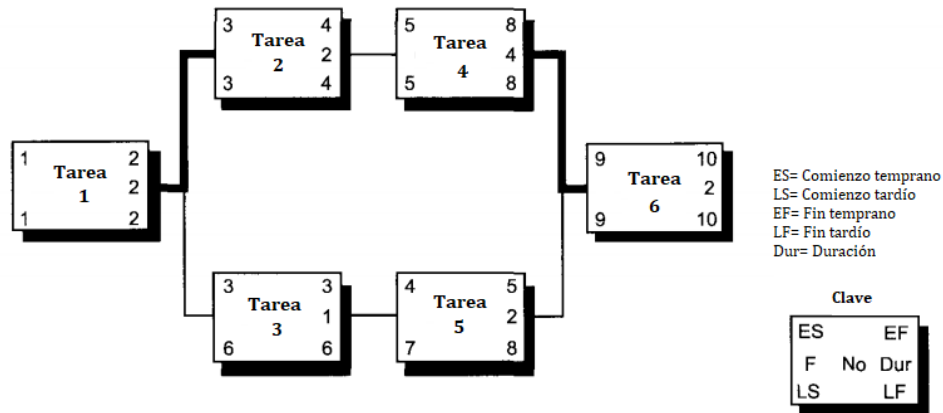


Figura 18: ejemplo CPM  
 Fuente: adaptado de Burke (2003)

El método de ruta crítica (CPM) también llamado análisis de ruta crítica (CPA) fue desarrollado alrededor de 1957 por Remington Rand Univac como una herramienta de gestión para mejorar la planificación y el control de su tiempo de respuesta (producción a ventas). Los beneficios se reconocieron rápidamente y pronto pagó sus costos de desarrollo (Burke, 2003, p.18).

El CPM utiliza un modelo determinístico de tiempo para su aplicación en actividades de la construcción. Además, relaciona las actividades con su correspondiente duración y restricciones de ejecución con los requisitos del proyecto, mediante un sentido lógico. Esto posibilitaba un estudio *trade-off* costo-tiempo.

Esto entrega como resultado una ruta crítica, que son las actividades secuenciales que no tienen holgura y de las cuales es dependiente la duración total del proyecto.

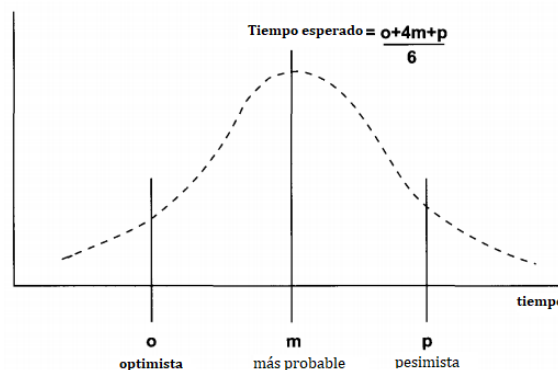


Figura 19: análisis probabilístico PERT  
 Fuente: adaptado de Burke (2003)

A fines de la década de 1950, la Marina de los EE. UU. Estableció un equipo de desarrollo bajo el almirante Red Raborn con Lockheed Aircraft Corporation y un consultor de gestión Booz Alien & Hamilton para diseñar PERT como un sistema integrado de planificación y control para administrar los cientos de subcontratistas involucrados. en el diseño, construcción y prueba de su sistema de misiles submarinos Polaris (Burke, 2003, p.18).

PERT utiliza un rango de tiempos posibles para realizar una estimación del tiempo esperado, variable utilizada para el modelo probabilístico. Este modelo se orienta a los eventos y se utiliza para actividades no repetitivas, como investigación y desarrollo.

Aquí también se utilizan los diagramas de red para visualizar y determinar las actividades más relevantes y su secuenciación.

A modo de resumen, las características, similitudes y diferencias entre los modelos se presentan en la siguiente tabla.

CPM	PERT
Modelo determinístico orientado a la actividad	Modelo probabilístico orientado a evento
Relacionado a actividades de tiempo conocido o actividades familiares	Relacionado a actividades no repetitivas
Costo como factor principal	Tiempo como factor principal
Usa redes, holguras y actividades críticas	Usa redes, holguras y actividades críticas
Utiliza un valor de tiempo	Requiere 3 estimados de tiempo de actividad
Mayormente utilizado en proyectos de construcción	Mayormente utilizado en investigación y desarrollo

Tabla 10: CPM vs PERT  
Fuente: elaboración propia

Estas técnicas para la programación de proyectos siguen utilizándose hasta el día de hoy, pero se han integrado entre sí y son casi indistintas, pues muchas de sus diferencias son complementarias. Además, se han incorporado con otros y técnicas relacionados a más alcances del proyecto.

Un ejemplo de esto son los avances en la estimación y gestión de costos desde la AACE (American Association of Cost Engineering), que, desde su formación en 1956 por practicantes del *Project Management*, ha seguido siendo un ente pionero en el control de proyectos, estimación de costos y planificación. Incluso, el 2006 lanzó el TCM (Gestión de Costos Totales), proceso de aplicación de conocimientos y habilidades de ingeniería de costos a la gestión de proyectos.

En los años 70, la dirección de proyectos siguió creciendo y diversificándose, por eventos como la guerra de Vietnam y problemas con el petróleo. Otras áreas de interés surgieron, como la temática ambiental y las varias fallas en los en los proyectos públicos, traducándose en estudios del alcance y *stakeholders*. La gestión de proyectos se convertía en una profesión.

Estos temas tomaron mayor fuerza en la década del 1980 y comenzó la integración de las áreas de interés, además de su relación de afección. Apareció el primer triángulo *trade-off*, que involucraba

tiempo, costo y calidad y posteriormente, el alcance fue incluido. La desviación de un parámetro repercute en los demás. Un esquema de esto se presenta en la siguiente figura.

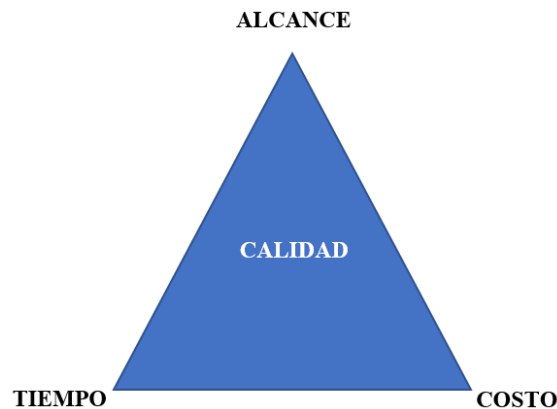


Figura 20: triángulo trade-off alcance, tiempo, costo y calidad  
Fuente: adaptado de Polanco, A. (2017).

Siguiendo esta integración, factores externos comenzaron a considerarse, así como el entorno del proyecto, *stakeholders*, el desglose de las organizaciones, entre otros. Esto se tradujo en un ciclo de vida del proyecto, considerando las fases de concepto, diseño, implementación y puesta en marcha.

Hoy en día, el anterior triángulo no cubre todas las necesidades y requerimientos de los grandes proyectos, por lo que es necesaria la consideración e integración de las demás áreas del conocimiento del *Project Management* para el éxito de los proyectos mediante sistemas y procesos óptimos.

Las principales directrices por considerar para el uso de herramientas de gestión eran el nivel de esfuerzo para cada etapa del ciclo y el potencial de añadir valor, junto con los cambios de costos. “Aquí es donde se analizaron las necesidades de los interesados, se realizaron estudios de viabilidad, se evaluó el riesgo e incertidumbre y se diseñó el producto o la instalación” (Burke, 2003, p.23).

El otro gran hito dentro del *Project Management* es la creación del PMI (Project Management Institute). “Fundado en 1969, PMI ofrece valor para más de 2.9 millones de profesionales que trabajan en casi todos los países del mundo a través de la promoción, la colaboración, la educación y la investigación a nivel mundial.” (PMI, 2017). El PMI se ha expandido a lo largo del mundo en lo que llaman “*Chapters*” (capítulos), entre los cuales está el chileno, formado en 1997.

Uno de los mayores impactos que ha generado el PMI en el ámbito del *Project Management* es la publicación del *PMBOK® Guide*, guía que describe las mejores prácticas en la dirección de proyectos.

Además, existen distintos documentos complementarios llamados “extensiones”, dedicados a llevar estas prácticas a variados ámbitos donde la dirección de proyectos se desempeña. Uno de estos, y el más atinente a este trabajo, es la extensión de construcción.





Figura 21: PMBOK® 6ta edición y extensión construcción (PMI)

Fuente: [www.pmi.org](http://www.pmi.org)

En la década de 1990, surgen estructuras de organización más flexibles y óptimas, junto con enfoques de sistemas más eficientes. “Las grandes empresas descubrieron que al utilizar un enfoque de gestión por proyecto podían asignar su trabajo a muchos pequeños equipos de proyectos, que, respondiendo rápidamente a la innovación, las nuevas ideas y la competencia en el mercado” (Burke, 2003, p.25).

La gestión de calidad total (TQM) surgió como una técnica integral de gestión de proyectos, que enfatiza la importancia del cliente, la mejora continua, el trabajo en equipo y la gestión a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Sin embargo, la adopción de TQM dentro de la gestión del proyecto inicialmente se desarrolló con relativa lentitud, pero con la introducción del Sistema de Gestión de la Calidad de ISO 9000, TQM ganó una mayor aceptación. Otro desarrollo de la década de 1990 fue el concepto de la oficina de proyectos (PMO), no solo para administrar proyectos, sino como un centro de excelencia para desarrollar una cultura de gestión de proyectos dentro de la empresa (Burke, 2003, p.25).

Así como ocurrió con BIM, desde los años 1980, el auge de computadoras generó un gran aporte a la conectividad y comunicación en la gestión de proyectos. “A medida que se desarrollaron las opciones controladas por computadora y los algoritmos complejos, los gerentes de proyecto comenzaron a completar más trabajo en menos tiempo con menos errores que nunca.” (Collins, J., 2015).

La computación e interconectividad disponible han generado en el *Project Management* cambios en la forma de abordar los temas de interés, pues el uso de diagramas de red, diagramas de barra y otras herramientas distintivas pasaron a ser computarizadas, llegando a generarse variados softwares, plataformas, medios de comunicación móvil, entre otros.

### 2.2.3. Situación actual y prácticas

La dirección de proyectos de ingeniería y construcción, junto con sus herramientas asociadas, ha sufrido diversos cambios a lo largo del tiempo. Desde estas formas de trabajar, han surgido lineamientos y directrices sobre el cómo gestionar proyectos, los cuales son aplicados por algunas organizaciones, en distinta medida y manera.

La organización que más fuerza ha tomado, a la hora de considerar elementos y prácticas guía para la gestión de proyectos, es el PMI. El documento más conocido, desarrollado por esta entidad, es el *PMBOK® Guide*, donde entrega una serie de prácticas para lograr el éxito en los proyectos de inversión.

Estas prácticas recomendadas no siempre son integradas a cabalidad, por las empresas privadas o públicas, a sus procesos de planificación y control. Muchas veces la adopción de las prácticas que propone el PMI es parcial y enfocada a un área específica del ciclo del proyecto.

El 2018, el PMI publicó la décima encuesta global del *Project Management*. Esta publicación destaca los comentarios y opiniones de 4,455 profesionales de gestión de proyectos, 447 ejecutivos senior y 800 directores de gestión de proyectos (PMO) de una amplia gama de sectores, incluidos el gobierno, tecnología de la información (TI), telecomunicaciones, energía, fabricación, cuidado de la salud y construcción.

A continuación, se exponen los principales contenidos de la encuesta mencionada, con el fin de plasmar la situación actual y prácticas del *Project Management* en el mundo.

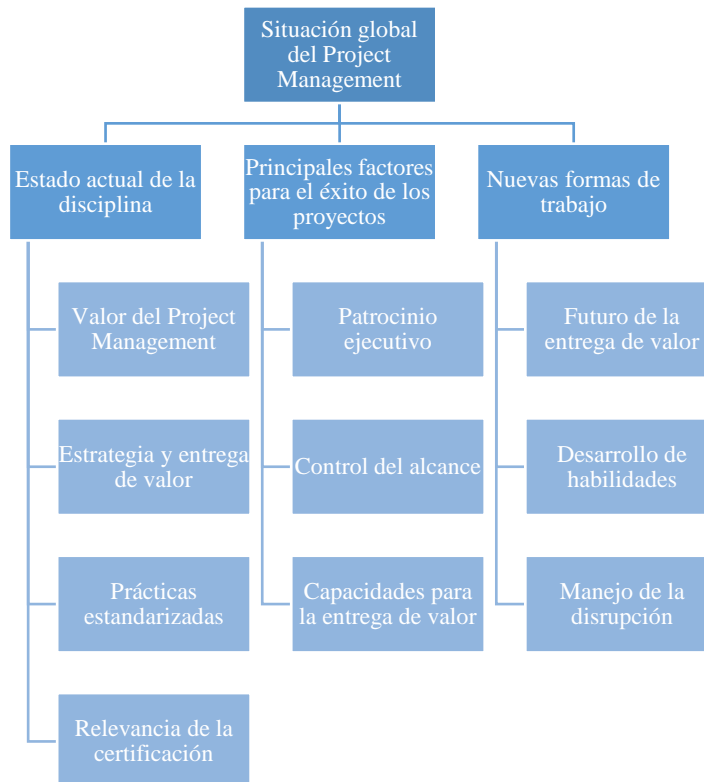


Figura 23: situación global  
Fuente: PMI (2018)

Tema	Descripción
El valor del Project Management.	Sólo un <b>58%</b> de las organizaciones entienden completamente el valor del Project Management. Aquellas organizaciones que subvaloran la Dirección de Proyectos como una competencia estratégica para manejar el cambio, reportan, en promedio, un 50% más de fracaso en sus proyectos.
Conectando la Estrategia y la Entrega de Valor con EPMO (Enterprise-wide Project Management Office).	Sólo un <b>41%</b> de las organizaciones con una Oficina de Dirección de Proyectos a nivel de Empresa (EPMO) reportan que está altamente alineado con la estrategia de estas. El EPMO es una función centralizada que debe operar a un nivel estratégico con ejecutivos. La EPMO debe asegurar la alineación entre los objetivos del negocio con los proyectos y programas que los desarrollan.
Uso generalizado de las prácticas estandarizadas.	Un <b>93%</b> de las organizaciones reportan el uso de las prácticas estandarizadas del Project Management, pero un 70% limita su uso.
Relevancia de la certificación.	<b>72%</b> de los líderes PMO perciben la certificación como muy relevante para los gerentes de proyecto a mitad de carrera. Las certificaciones, típicamente, requieren desarrollo profesional continuo, lo que permite a los gerentes de proyecto evolucionar, mejorar y desarrollar una variedad de habilidades, incluyendo habilidades técnicas, de liderazgo y digitales.
Expandiendo el énfasis en la agilidad organizacional.	<b>71%</b> de las organizaciones, en los últimos 5 años, reportan mayor agilidad (capacidad de sentir y adaptarse rápidamente a cambios internos y externos para entregar resultados relevantes de una forma productiva y costo-efectiva).
Enfoque constante en beneficios.	<b>1 entre 3</b> organizaciones reportan alta madurez de comprensión de beneficios. Un desafío clave que muchas compañías enfrentan es manejar proyectos basados en outputs tradicionales (tiempo, alcance, cronograma), sin rastrear constantemente si estos ayudan o no a lograr sus objetivos mayores.

Tabla 11: estado actual del Project Management global

Fuente: PMI (2018)

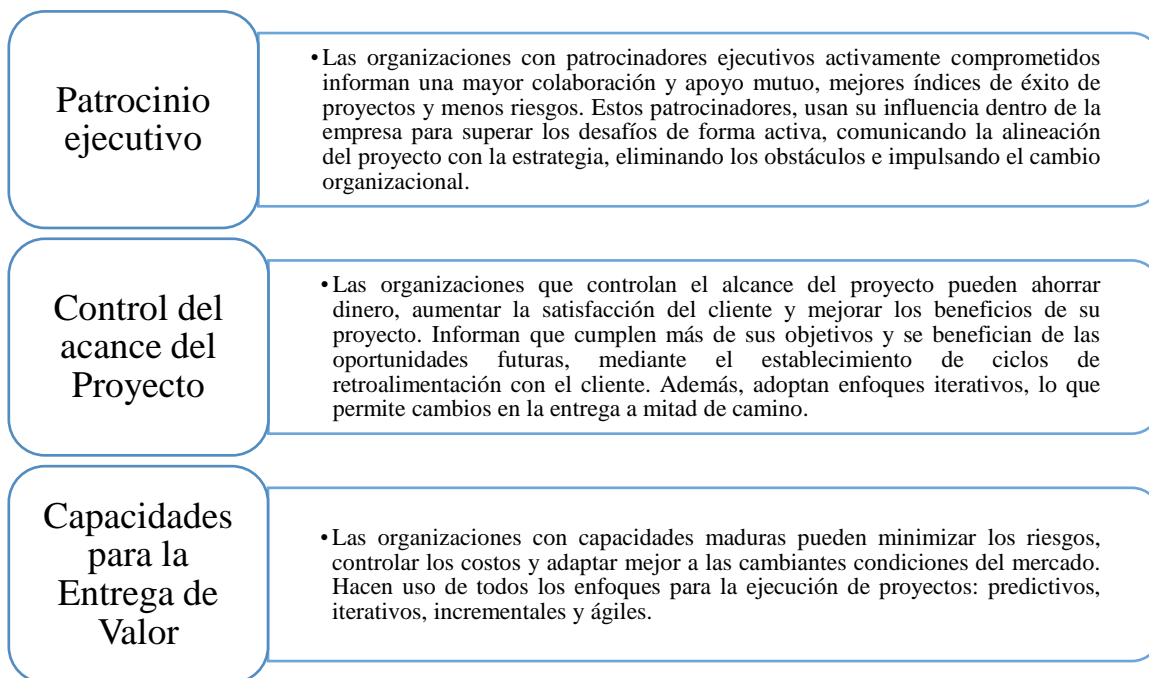


Figura 24: principales factores para el éxito de los proyectos

Fuente: PMI (2018)

#### El futuro de la entrega de valor

- Las organizaciones continuarán utilizando más de un enfoque de gestión de proyectos y combinarán diferentes técnicas para hacer frente a sus propios desafíos.
- Independientemente del enfoque utilizado, las organizaciones que usan algún tipo de enfoque formal de gestión de proyectos cumplen con éxito sus objetivos, dentro del presupuesto y tiempo.
- Se reconoce que las organizaciones están trabajando en nuevas formas, incluyendo una combinación de prácticas ahora nicho como el pensamiento de diseño, sistemas de computación cognitiva, aprendizaje automático, inteligencia artificial (AI), DevOps y mucho más.

#### Desarrollo de habilidades

- Las organizaciones campeonas ya están haciendo mayores inversiones en su talento a través de la capacitación, procesos formales, trayectorias profesionales definidas y la transferencia de conocimientos.
- El rol del Project Manager se está expandiendo a: Asesor Estratégico, Innovador, Comunicador, Big Thinker y Gerente Versátil.

#### Manejando la disrupción

- Las organizaciones confiarán en los profesionales de sus proyectos para aprovechar las interrupciones, no solo para reaccionar ante ellas.
- Los gerentes de proyectos desempeñarán cada vez más funciones estratégicas y de alto perfil, y estarán mejor posicionados para guiar a su organización a través de la interrupción inminente.

Figura 25: nuevas formas de trabajo  
Fuente: PMI (2018)

Para localizar el estado de la disciplina en Chile, se acude a lo señalado por Mondaca (2017), sobre las principales prácticas de la dirección de proyectos en Chile, para las áreas del conocimiento abordadas en el presente trabajo de título, son las siguientes:

Área del Project Management	Prácticas de la dirección de proyectos en Chile
Alcance	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El mandante es fundamental en la definición del alcance.</li> <li>▪ El sector privado, siguiendo el modelo PMI, asocia este proceso directamente con la EDT/WBS. El sector público no necesariamente.</li> </ul>
Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Todos los proyectos son críticos respecto del plazo de entrega.</li> <li>▪ Optimismo en estimaciones genera desvíos en el control del tiempo.</li> </ul>
Costo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estimación optimista y ligera, más gestión deficiente, resulta en sobrecostos.</li> <li>▪ Es habitual que el mandante tenga un presupuesto definido previamente.</li> </ul>
Calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En el sector público, comúnmente, la calidad se refiere al control técnico de los materiales en obra. En el sector privado se aprecia una visión en planificar y asegurar la calidad.</li> <li>▪ Hay muchas partes donde gestionar la calidad, es solamente llenar papeles, lo que se desliga del real propósito de este proceso.</li> </ul>

Tabla 12: prácticas de la dirección de proyectos en Chile  
Fuente: adaptado de Mondaca (2017).

## 2.2.4. Planificación

La planificación de proyectos es el proceso donde se configuran todas las tareas necesarias para lograr el éxito del proyecto, bajo condiciones temporales y recursos designados.

Como cada proyecto es único, las tareas necesarias serán diferentes y variadas entre proyectos, pero su diversificación se relaciona directamente con las áreas de la dirección de proyectos. Esto es, alcance, tiempo, costo, calidad, entre otros.

Las actividades principales son establecer los objetivos y entregables, realizar cronograma, generar planes de apoyo y definir los límites de proyecto. “El objetivo del plan debe ser aumentar la probabilidad e impacto de los eventos positivos y disminuir el impacto y probabilidad de los eventos negativos” (Polanco, 2010).

A continuación, para las áreas de interés del presente trabajo de título, se exponen métodos y prácticas de la planificación de proyectos.

### 2.2.4.1. Alcance

Es el conjunto de productos, servicios, resultados y entregables que debe proporcionar el proyecto y el trabajo necesario para ello. Este queda correctamente definido por la misión, objetivos, el producto, los entregables, trabajo incluido y excluido, los supuestos, restricciones, límites y muy especialmente los requisitos. La definición correcta y completa del Alcance es clave y es el punto de partida para una planificación exitosa. (Polanco, A., 2017).

La planificación del alcance es un proceso que entrega como resultado un documento que sirve como base para las directrices que toma el proyecto, las futuras decisiones y los criterios de aceptación para el éxito de este.

El alcance planificado debe clarificar el motivo por el que se realiza el proyecto, explicar cuál es todo el trabajo necesario por incluir y cuál es excluible, los criterios a aplicar para la completitud del trabajo, los límites del proyecto, sus lineamientos (que deben ser comunes y entendibles por todos los *stakeholders*), los objetivos de ambas partes y los entregables. “El desafío es lograr definir los objetivos medibles fácilmente y sin ambigüedad” (Polanco, 2010). Además, es la base para el futuro control del alcance y chequeo del trabajo realizado.

Esta completitud del trabajo realizado, junto con los criterios de aceptación y posibles cambios, se puede abordar de distintas formas, pero la más adecuada es mediante una estructura de desglose del trabajo (WBS) documento escrito, al igual que el documento del alcance, donde los entregables de distintos niveles son identificados y posibilitados de control. Un ejemplo de WBS se expone en la siguiente figura.

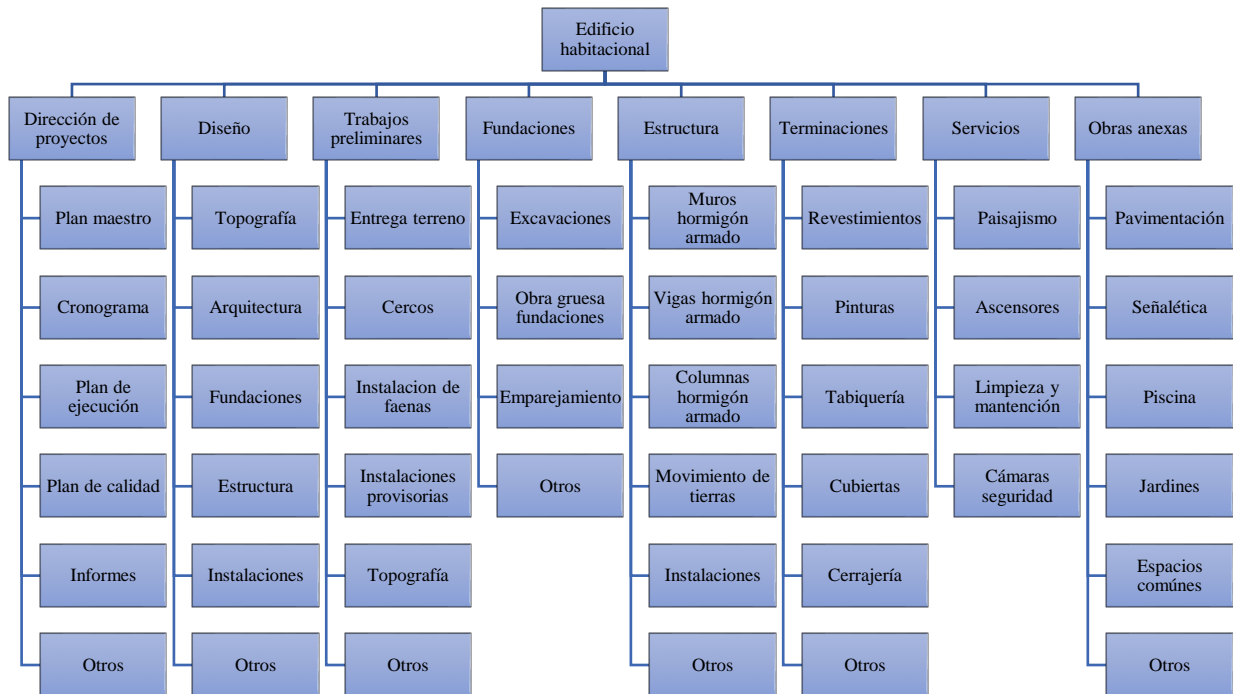


Figura 22: WBS resumen edificio habitacional  
Fuente: elaboración propia

La planificación del alcance es una práctica clave para el éxito del proyecto. Este alcance es, comúnmente, definido por el sponsor del proyecto, comités administrativos, el cliente y en menor medida, por las demás partes interesadas. Es fundamental identificar estas partes interesadas, pues muchas serán participantes activos del proyecto y podrían influir en el desarrollo del mismo.

En la construcción, como lo señala el PMI (2007), la planificación del alcance se basa en contratos, alcances del producto y división de responsabilidades. Las decisiones de qué comprar o hacer por subcontrato crea nuevas interfaces y aumenta la probabilidad de problemas relacionados a la división de responsabilidades.

Por lo tanto, la planificación del manejo del alcance y las decisiones de fabricación o compra se deben realizar en conjunto para obtener los mejores resultados. Los profesionales deben tener en cuenta que, si bien las decisiones de tercerización transfieren parte del alcance, crean actividades de gestión adicionales que deben tenerse en cuenta al planificar la gestión del alcance (PMI, 2007).

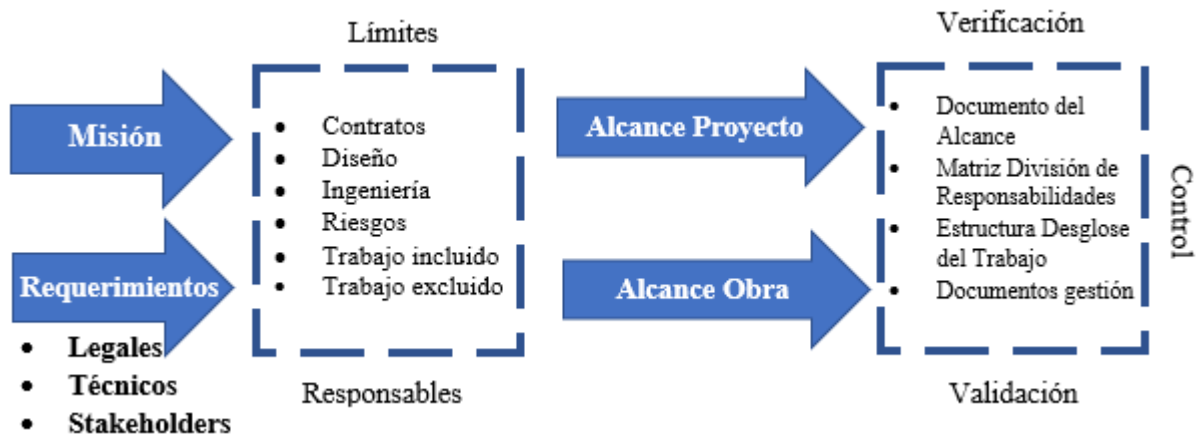


Figura 23: esquema planificación alcance  
Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, deben considerarse, como ya se ha mencionado, los requerimientos del cliente, los requerimientos legales, los de los *stakeholders*, definiciones contractuales, especificaciones de diseño, costo del ciclo de vida del proyecto, la ingeniería, el análisis de constructibilidad y aspectos de gestión, como hitos, presupuesto, entregables, criterios de aceptación, trabajo incluido y excluido, riesgos considerados, entre otros.

Otras buenas y mejores prácticas asociadas a la planificación del alcance:

1	Definir la Misión del Proyecto:	Permite generar visión común de los <i>stakeholders</i> .
2	Formulación de requisitos:	Claros, factibles, medibles y verificables.
3	Separar Alcance de Obra y Proyecto:	Alcance de Obra: Instalaciones físicas que se deben construir incluidas en el proyecto. Alcance de los servicios (proyecto): servicios de I&C incluidos en el contrato.
4	Matriz de División de Responsabilidades (DOR):	Identifica para cada área del proyecto el responsable por cada función del EPCM-EPC y otras adicionales.
5	Escribir un Documento del Alcance (SOW):	Contiene objetivos, descripción. Requisitos, inclusiones, exclusiones, entregables, restricciones, supuestos, límites y criterios de aceptación, tanto para obra (instalaciones) como para el proyecto (servicios).
6	Definir un WBS (Estructura de desglose del trabajo):	Subdividir los entregables mayores del proyecto en elementos entregables pequeños y manejables que permitan y faciliten su planificación, ejecución y control. Es recomendable añadir un diccionario del WBS.

Tabla 11: prácticas planificación alcance proyecto  
Fuente: Polanco, A. (2017)

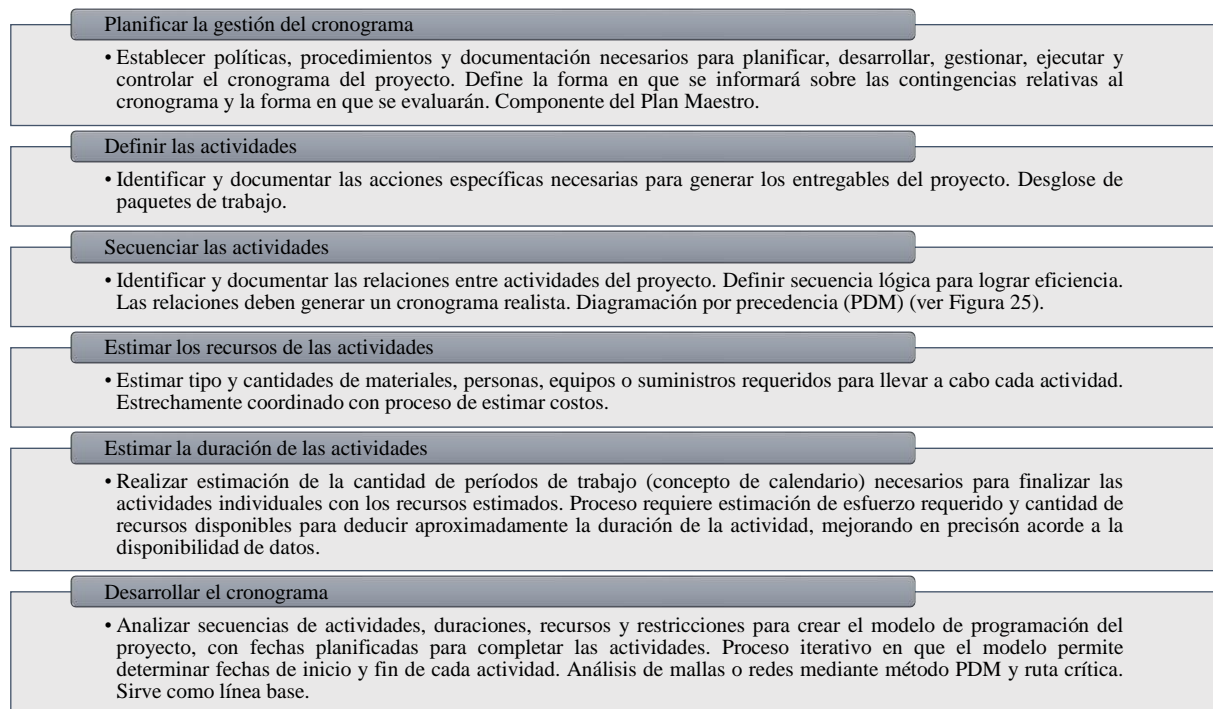
### 2.2.4.2. Tiempo

El manejo del tiempo es fundamental en el desarrollo de proyectos. Las industrias de la ingeniería y construcción son fuertemente afectadas por el tiempo y plazo, dadas las múltiples condiciones y restricciones contractuales.

La planificación del “tiempo” es un proceso que permite definir los plazos parciales y totales requeridos para cumplir con el Alcance. El documento principal generado es el cronograma (integrado y realista). Adicionalmente, se deben indicar restricciones y supuestos. (Polanco, A., 2017).

Planificar el tiempo consta principalmente en desarrollar el cronograma e identificar, de manera realista, las relaciones lógicas entre las actividades involucradas (ingeniería, compras, ejecución, entre otras).

El cronograma es la lista de actividades definidas y secuenciadas necesarias para el desarrollo completo del proyecto.



*Figura 24: gestión del cronograma*  
*Fuente: adaptado de PMI (2013), PMBOK ® 5ta edición.*

Gestionar el cronograma significa analizar todos los procesos y procedimientos necesarios para realizar el proyecto en el plazo definido. Estos procesos se componen de entradas, herramientas y salidas, las cuales son diferenciables y explícitas, permitiendo la asignación de responsables y el control de dicha gestión.



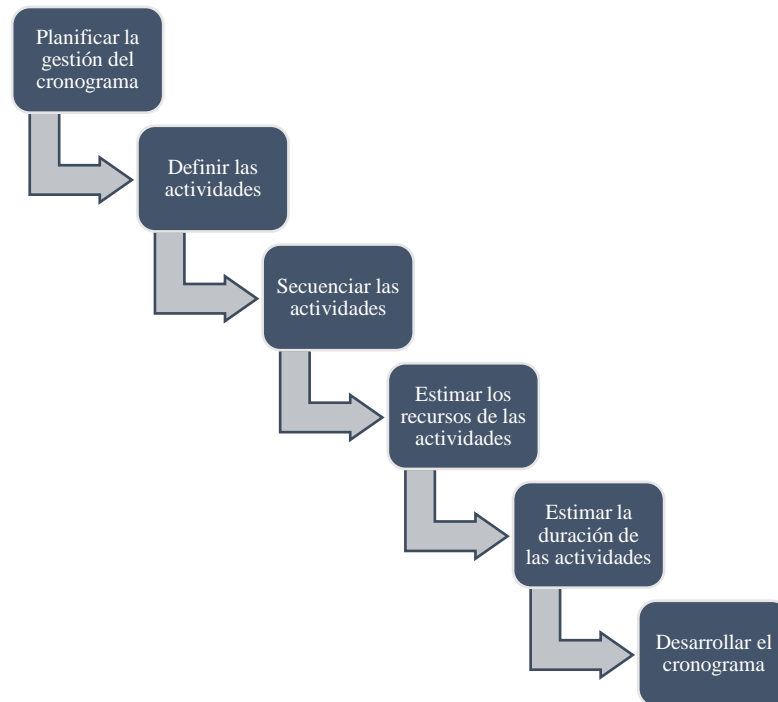


Figura 29: gestión del tiempo del proyecto  
 Fuente: adaptado de PMI (2013), PMBOK © 5ta edición

Un buen cronograma tendrá las actividades bien definidas, detalladas, con sus respectivos recursos asignados y relacionadas lógicamente. Esto permite desarrollar el proyecto con conocimiento del trabajo a realizar, posibles retrasos y sus causas, actividades críticas y evolución de los entregables. Esto es importante para los ejecutores y las demás partes interesadas involucradas en el proyecto.

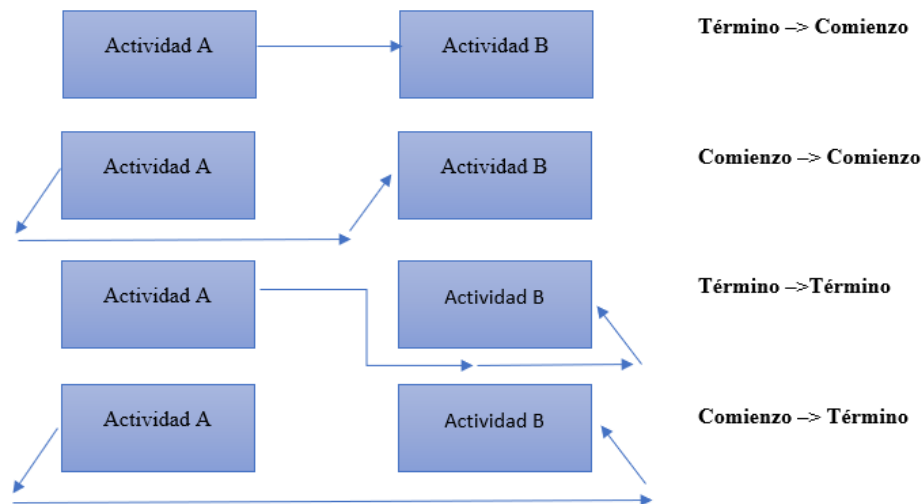


Figura 25: método PDM, diagrama lógico  
 Fuente: elaboración propia

La línea base del cronograma es el cronograma oficial del proyecto, está aprobado y será la base de comparación con las futuras actualizaciones que ocurrirán. Este es un documento con valor contractual y que debe ser distribuido a todas las partes interesadas.

En general, el cronograma puede representarse gráficamente como:

- Diagrama de barras
- Diagrama de hitos
- Diagrama lógico (malla)
- Diagrama de barras lógico

Además, los tipos de cronograma son los siguientes:

- Maestro: incluye todo el proyecto, objetivos, hitos y eventos clave.
- Por paquetes de trabajo principales
- Por contratos
- Por especialidades
- Por actividades
- 90, 30 o 7 días

Ejemplo de cronograma puede verse en el **Anexo C**.

Otras buenas y mejores prácticas asociadas a la planificación del tiempo:

1	Usar planillas estándares de la empresa.	Usar un nivel de detalle mayor para las actividades del corto plazo y menor par largo plazo.
2	Usar información de proyectos similares.	Desarrollar cronograma en sus etapas: actividades, malla y camino crítico, análisis y optimización, línea base.
3	Buena descomposición del WBS para su planificación temporal.	Uso de Carta Gantt mejorada (agrega actividades, recursos, entregables, responsables, entre otros).
4	Usar actividades resumen, es decir, planificar el trabajo a un nivel más alto.	Considerar planos <i>vendor</i> y metodología <i>fast-track</i> (traslapar actividades).

Tabla 13: prácticas planificación tiempo proyecto  
Fuente: Polanco, A. (2017)

#### 2.2.4.3. Costo

La gestión de costos (planificación y control) es vital para el éxito de los proyectos de construcción, dado el impacto que genera en las ganancias y manejo de los *stakeholders*.

Planificar la Gestión de los Costos es el proceso que establece las políticas, los procedimientos y la documentación necesarios para planificar, gestionar, ejecutar el gasto y controlar los costos del proyecto. El beneficio clave de este proceso es que proporciona guía y dirección sobre cómo se gestionarán los costos de proyecto a lo largo del mismo (PMI, 2013, p.195).

Las estimaciones juegan un rol muy importante en este proceso, pues muchas de las decisiones del proyecto se fundamentan en estimaciones de costos, presupuestos y los riesgos diagnosticados. Generalmente, los riesgos en la construcción se traducen en un impacto financiero.

La planificación del costo comienza en etapas tempranas de la planificación total de proyecto. Para realizar este proceso, es necesario tener bien definidos el alcance, cronograma, factores del entorno de la empresa e información sobre los riesgos.

Como señala A. Polanco (2017), los documentos generados en la planificación del costo son:

### 1. Bases del estimado:

Información previa para generar datos útiles para la estimación de costos. Comprende:

- Alcance de la estimación
- Exactitud y confiabilidad requeridas
- WBS y códigos de cuenta (partidas)
- Base económica (divisa)
- Tasas de cambio y descuento
- Plan y plazos de construcción
- Condiciones geográficas y climáticas
- Condiciones laborales, legislación y jornada.

### 2. Respaldos de la estimación:

Documentar supuestos (inflación, estabilidad política, costo de materiales, leyes ambientales, etc.) y exclusiones (capital de trabajo, programa acelerado, bonos e incentivos, cambios de alcance, etc.).

### 3. Estimado de costos:

Aproximación de los costos de los recursos necesarios para realizar las actividades requeridas por el proyecto, incluyendo *allowances* (tolerancias).

El estimado de costos del proyecto se conoce como el CAPEX (*Capital Cost Expenditure*) y se refiere a la inversión necesaria para construir el proyecto, incluyendo todos los estudios, ingenierías, compras, construcción y pruebas.

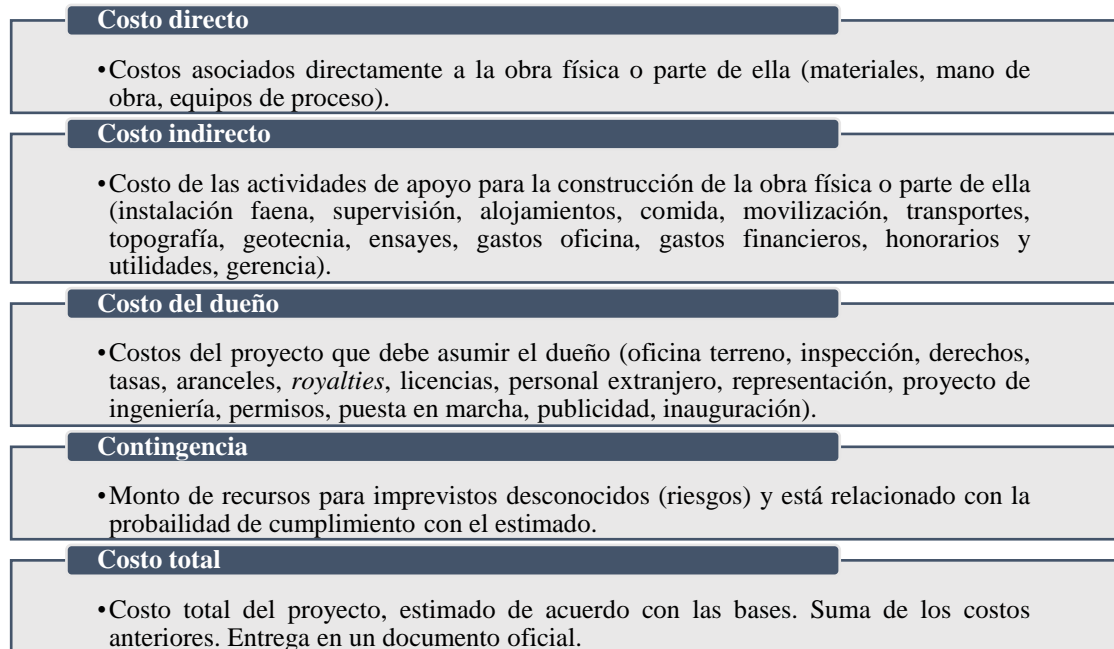
También se calcula el OPEX, el cuál es el costo de operación del proyecto (obra). Esto incluye mano de obra, insumos, servicios etc. Es usual que el dueño tenga expectativas o requisitos asociados a un OPEX de bajo valor, lo que es condicionante del diseño.

La calidad de un estimado se puede evaluar en 4 dimensiones: validez (alcance y metodología), exactitud (porcentaje error esperado), precisión (nivel de desglose y detalle) y confiabilidad (probabilidad de que se cumpla la exactitud).

Los métodos para la estimación de costos se pueden clasificar en:

- *Top Down* (analogía): costos reales de proyectos similares, juicio de expertos, factores de capacidad. Baja exactitud y se utiliza en fases iniciales (estudios).
- *Bottom Up* (ascendente): utiliza costo de las actividades individuales y se suma hasta llegar al total del proyecto. Utiliza cubicaciones, costos unitarios, cotizaciones aproximadas de equipos de proceso. Exactitud media a alta, según nivel de ingeniería (básica o detalle).

La estructura del estimado consta del Costo Directo, Costo indirecto, Costo del Dueño, Contingencia, Total, Exactitud y Confiabilidad. En la siguiente figura se exponen los costos recién mencionados.



*Figura 31: definición costos del estimado.  
Fuente: adaptado de Polanco, A. (2017).*

#### 4. Presupuesto y Línea base:

El presupuesto es la suma de los costos individuales y/o de paquetes en ítems previamente definidos para su control. Incluye reservas de contingencia. La línea base corresponde al presupuesto distribuido temporalmente, sin incluir la contingencia.

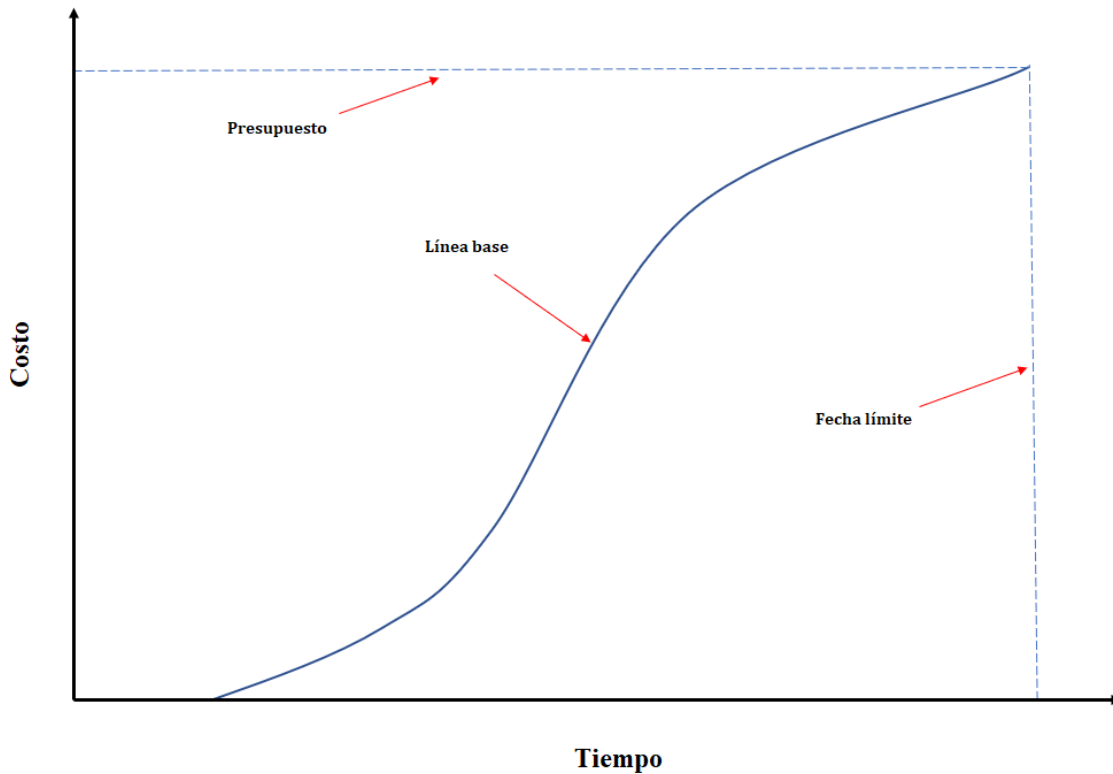


Figura 32: gráfico ejemplo línea base vs presupuesto  
Fuente: elaboración propia

Otras buenas y mejores prácticas asociadas a la planificación de costos:

1	Estimado de costos	Considerar perspectiva del estimado (dueño, proveedor, contratista), en qué etapa se realiza, incluir servicios EPC – EPCM, el efecto del diseño sobre el OPEX y el costo de mantenimiento.
2	Ingeniero de costos:	Estimado de costos es una tarea especializada que requiere de un profesional entrenado.
3	Documento “Bases de Estimado”:	Toda la información anterior es la base para realizar la estimación de costos. Este es un entregable del <i>Project Management</i> y debe ser aprobado formalmente por el mandante, dueño o gerencia, según corresponda. Un Estimado de Costos no puede revisarse o auditarse sin tener a la vista el ese documento
4	Contingencia:	Debe incluirse en los fondos del financiamiento del proyecto y se debe calcular.
5	Costo total:	Debe tener un formato estándar o del cliente, ser revisado por el proyecto, gerencia y un independiente (otra empresa) y compararse con otros estimados de proyectos similares.
6	Tabla resumen estimado:	Tablas resumen de estimado que permite visualización de todos los ítems y sus costos asociados.

Tabla 14: prácticas planificación costo proyecto  
Fuente: Polanco, A., (2017) y PMI (2013).

#### 2.2.4.4. Calidad

La planificación de la calidad es el proceso que define las políticas, objetivos, requisitos, normas y estándares, procedimientos y responsabilidades para lograr el cumplimiento de la calidad requerida de los entregables del proyecto. Se incluye también la calidad del *Project Management* y la calidad del producto. (Polanco, A., 2017).

En los proyectos relacionados a ingeniería y construcción, la gestión de la calidad apunta a satisfacer las necesidades de los *stakeholders*, expuestas en los requerimientos contractuales. Esta gestión se efectúa en los procesos y productos del proyecto.

*“La planificación de la calidad debe realizarse en paralelo con los demás procesos de planificación del proyecto”* (PMI, 2013, p.233). Esto, dado los diversos ajustes en cronograma o presupuesto que pueden solicitar ciertos requerimientos de la planificación de la calidad.

Aun así, para este proceso es necesario contar con el plan del proyecto, alcance, cronograma, línea base de costos y cualquier otra información atinente previamente definida, para que estén consideradas en la generación del plan de calidad.

Calidad es un concepto que se ha definido a lo largo del tiempo gracias a diversos autores, como Joseph Juran y Phillip Crosby, así como también distintos lineamientos que han surgido, de carácter internacional, llamados normas ISO. Las normas ISO, establecidas por la Organización Internacional de Normalización, son aplicables a distintas organizaciones y cubren distintos aspectos, dentro de los cuales está la calidad.



*Figura 33: principios de la Gestión de la calidad.  
Fuente: adaptado de PMI (2013), PMBOK® 5ta edición.*

El enfoque del PMI en la gestión de la calidad, busca ser compatible con los estándares ISO. Este enfoque alude a los Principios de la Gestión de la Calidad, los cuales se señalan a continuación:

Principio	Características
Satisfacción del cliente	Entender, evaluar, definir y gestionar los requisitos, de modo que se cumplan las expectativas del cliente
Prevención antes que inspección	La calidad debe ser planificada, diseñada y construida, y no inspeccionada dentro de la gestión del proyecto o en sus entregables. Costo de prevención menor al de corrección.
Mejora continua	El ciclo planificar-hacer-verificar-actuar (PDCA) es la base para la mejora de la calidad. Además, las iniciativas de mejora de la calidad, tales como la Gestión de la Calidad Total (TQM), Six Sigma y Lean Six Sigma, pueden mejorar tanto la calidad de la dirección del proyecto como la del producto del proyecto.
Responsabilidad de la dirección	El éxito requiere la participación de todos los miembros del equipo del proyecto. Sin embargo, sigue siendo responsabilidad de la dirección en lo que respecta a la calidad el proporcionar los recursos adecuados con las capacidades apropiadas.
Costo de la Calidad (COQ)	El costo de la calidad se refiere al costo total del trabajo conforme y del trabajo no conforme que se deberá realizar como esfuerzo compensatorio debido a que existe la probabilidad de que, en el primer intento de realizar dicho trabajo, una parte del esfuerzo para el trabajo a realizar se haga o se haya hecho de manera incorrecta. Se puede incurrir en costo del trabajo para la calidad todo a lo largo del ciclo de vida del entregable. Una vez finalizado el proyecto se puede incurrir en costos de calidad como resultado de devoluciones de productos, de reclamaciones de garantías y de campañas de retirada de productos del mercado. Además, los problemas relacionados con el costo de la calidad, una vez finalizado el proyecto, deberían ser una de las preocupaciones de las direcciones de programa y portafolio.

Tabla 16: Principios de la Gestión de la Calidad.  
Fuente: adaptado de PMI (2013), PMBOK ® 5ta edición, p.229.

El Costo de la Calidad, en base a lo señalado por A. Polanco (2017), se puede esquematizar como sigue:



Figura 34: esquema Costo de la Calidad.  
Fuente: adaptado de Polanco, A. (2017).

En parte, gestionar la calidad busca minimizar los costos evitables, ahorro que debe ser mayor al costo incurrido por la gestión de la calidad.

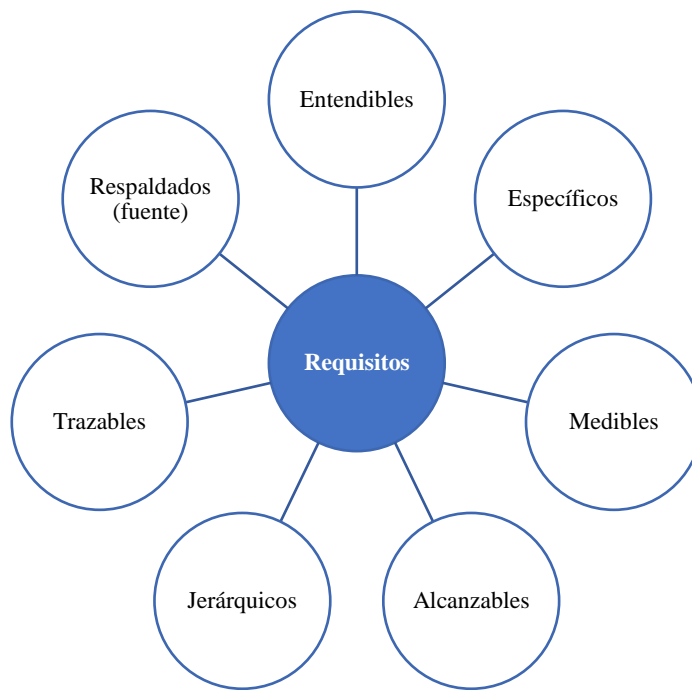


Figura 35: características necesarias para los requisitos del proyecto y/o producto.  
Fuente: adaptado de Polanco, A. (2017)

En la planificación de la calidad, los requisitos planteados deben ser considerados para el proyecto y/o para el producto. Esto dependerá del alcance de los trabajos a realizar y de los propios requisitos que especifique el cliente. Además, es necesario considerar todos aquellos requerimientos adicionales, como los impuestos por la misma organización o empresa, los necesarios para la correcta ejecución de los trabajos solicitados y los de carácter legal.

Como señala A. Polanco (2017), en ingeniería existen requisitos específicos, como la estandarización de los diseños (permitiendo un diseño optimizado en ingeniería, fabricación y montaje), materiales predilectos y soluciones preferidas y probadas.

El proceso de la planificación de la calidad tiene como principal producto el Plan de Calidad (PAC). El PAC forma parte de los entregables del proceso de planificación y corresponde al documento donde se encuentran los lineamientos pertinentes para la correcta implementación de un sistema de calidad en la organización.

Si bien, existen otros entregables como las métricas de la calidad, listas de control (verificación pasos preestablecidos), línea base de calidad y plan de mejoras del proceso, por lo general están contenidos en el PAC.

Algunas técnicas de apoyo a la planificación de la calidad, señaladas por A. Polanco (2017) son la tormenta de ideas, diagrama de afinidad, diagrama de flujo, matrices, priorización, análisis costo/beneficio, *benchmarking*, análisis costo de la calidad, entre otros.



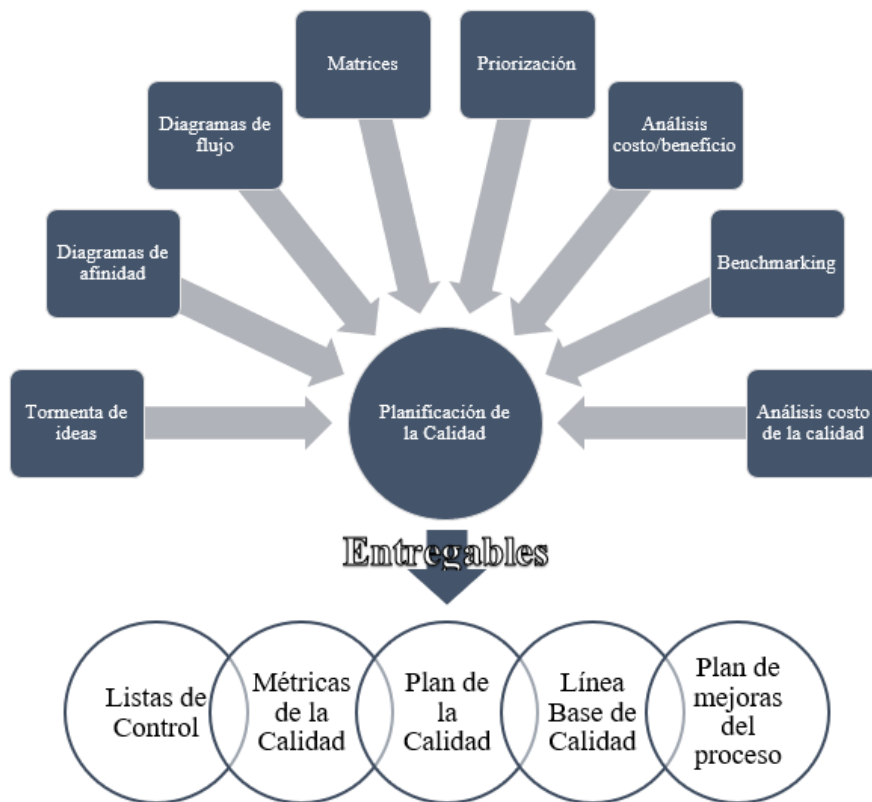


Figura 36: técnicas de apoyo y entregables de la planificación de la calidad  
 Fuente: adaptado de Polanco, A. (2017).

El Plan de la Calidad (PAC) es el documento donde se indica, para un proyecto, cuáles son los procedimientos involucrados, sus recursos relacionados, quién debe aplicarlos y cuándo, en un contexto de calidad relacionado a los lineamientos de ISO y PMI.

El plan de gestión de la calidad puede ser formal o informal, detallado o formulado de manera general. El estilo y el grado de detalle del plan de gestión de la calidad se determinan en función de los requisitos del proyecto. Se debería revisar el plan de gestión de la calidad en una etapa temprana del proyecto para asegurar que las decisiones estén basadas en información exacta. Entre los beneficios de esta revisión se pueden incluir el obtener un enfoque más claro sobre la propuesta de valor del proyecto, así como la reducción de costos y de la frecuencia con que se retrasa el cronograma debido a retrabajo (PMI, 2013).

Este PAC es parte del Plan del Proyecto y describe cómo implementar las políticas de calidad en la empresa u organización. Además, debe incluir el aseguramiento de la calidad (QA), el control de la calidad (QC) y la mejora continua de los procesos del proyecto.

Acorde a lo que A. Polanco señala sobre el PAC en *Apuntes de clase CI5511 Curso Dirección de Proyectos* (2017), se elabora la siguiente tabla:

Plan de la Calidad (PAC)	
Contenido sugerido del PAC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Política de calidad para el proyecto</li> <li>• Principios de calidad para el proyecto</li> <li>• Los 6 procedimientos de calidad ISO</li> <li>• Organización y recursos para la aplicación del PAC, y capacitación.</li> <li>• Requisitos y sus métricas, indicadores, metas, tolerancias y límites de control</li> <li>• Procesos críticos para la calidad (incluyendo recursos, materiales y equipos)</li> <li>• Procedimientos administrativos y técnicos de apoyo</li> <li>• Plan de control de calidad (autocontrol, inspecciones y procesos críticos)</li> <li>• Procedimientos de término y cierre relacionados con la gestión de la calidad.</li> </ul>
Recomendaciones prácticas para la preparación de un PAC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asignar o reconocer el rol del ingeniero o coordinador de Calidad para el proyecto</li> <li>• Estudiar bases de la licitación y su contrato (atención a cláusulas especiales)</li> <li>• Estudiar las directrices de Calidad globales que aplican al proyecto</li> <li>• Estudiar la normativa y regulación que aplica al proyecto</li> <li>• Definir o confirmar (con el cliente) los objetivos y requisitos de la Calidad, identificando los indicadores de cumplimiento, metas, límites de control, tolerancias y frecuencias.</li> <li>• Definir los procesos críticos para la calidad y sus correspondientes actividades.</li> <li>• Definir las listas de Control para los procesos críticos y sus actividades</li> <li>• Plan de mejoramiento de los procesos</li> <li>• Recopilar lo anterior y escribir el “Plan de la Calidad” y obtener la aprobación del cliente.</li> <li>• Definir el plan de difusión y capacitación necesario al equipo del proyecto</li> </ul>
Atributos de un buen PAC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientado a indicadores numéricos y no a principios</li> <li>• Orientado al cliente y no a la organización</li> <li>• Orientado a acciones y no a conceptos teóricos</li> <li>• Orientado al proyecto en particular y no un modelo general</li> <li>• Orientado al liderazgo y no a la administración</li> <li>• Orientado a la eficacia y eficiencia y no a la duplicación de esfuerzos</li> </ul>

Figura 37: características de un Plan de la Calidad

Fuente: Polanco, A. (2017).

El formato de un Plan de la Calidad está señalado en la norma ISO 10005, donde se exponen formatos de tabla, diagramas de flujo, texto y formato.

En el **Anexo D**, se exponen dos ejemplos de Planes de Calidad, facilitados en la norma ISO 1005:2005.

Otras buenas y mejores prácticas asociadas a la planificación de la calidad:

1	Aseguramiento de la calidad:	Realizar auditorías y monitoreos internos, efectuar revisiones por agentes externos y definir políticas de revisión. Incluir el aseguramiento de la calidad en el plan, permite generar confianza con el cliente sobre el cumplimiento de los estándares y procedimientos definidos.
2	Definir responsables:	Un plan de calidad debe definir quienes se harán cargo de cada tarea, para que se tengan revisiones de estado y avance, con el fin de cumplir con los hitos establecidos. Lo anterior, con el fin de minimizar los riesgos de generar trabajos no conformes con las directrices establecidas de la calidad para el proyecto.
3	Gestión de la Calidad Total (TQM: Total Quality Management)	Corresponde a la gestión de la calidad dentro de una organización, orientada al producto, los procesos y las personas que trabajan en la empresa.

Tabla 15: prácticas planificación calidad proyecto

Fuente: Polanco, A. (2017).

### 2.2.5. Control

El control de proyectos es el proceso necesario para guiar al proyecto a una finalización exitosa. “El objetivo último del control es asegurar el cumplimiento con la línea base o *baseline*. Sin cumplimiento de las metas no puede decirse que hay control” (Polanco, 2017). Debe estar presente desde la concepción del proyecto, esto es, desde la etapa de planificación hasta la ejecución.

“No es necesario decir que la planificación es un ejercicio sin sentido a menos que la ejecución de los planes se rastree y controle a través de informes precisos sobre el rendimiento” (Burke, 2003, p.211).

La complejidad de los proyectos muchas veces genera desviaciones en el trabajo real respecto al planificado, por lo que es necesario realizar un seguimiento y acciones correctivas. Para un óptimo desempeño del proyecto es necesario enfocar el control como un sistema integrado.

En la siguiente figura, se expone el enfoque moderno del control de proyectos, como señala Alejandro Polanco en los *Apuntes de clase CI5511 Curso Dirección de Proyectos* (2017).

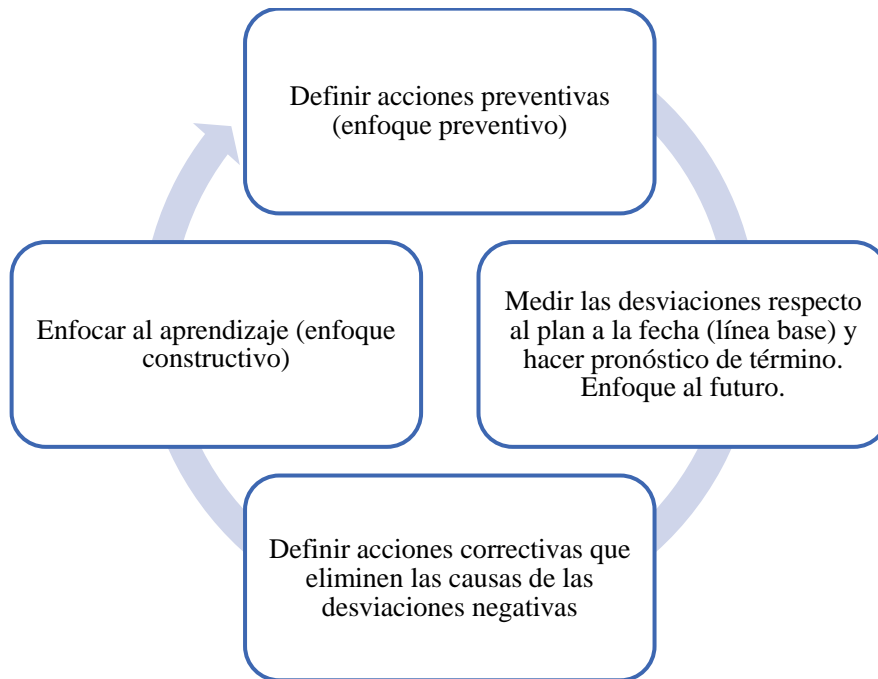


Figura 38: enfoque moderno control de proyectos  
Fuente: adaptado de *Apuntes de clase CI5511 Curso Dirección de Proyectos* (2017)

Esta filosofía deja atrás la clásica, donde la prevención no era prioridad y sí las penalizaciones.

El controlar requiere medir y esta actividad necesita recursos que deben ser considerados en la planificación. Las mediciones entregarán indicadores de las actividades relacionadas a los objetivos prioritarios del proyecto, los cuales serán utilizados en el proceso de control. Cabe mencionar que el beneficio del proceso de control debe ser mayor a los recursos y costos incurridos.

### 2.2.5.1. Alcance

El control del alcance del proyecto es un proceso crítico para el desarrollo de proyectos en los presupuestos y plazos requeridos.

Los proyectos están expuestos a desviaciones de su línea base y controlar el alcance asegura que los cambios requeridos y las acciones preventivas o correctivas a aplicar son procesadas “a través del proceso control integrado de cambios” (PMI, 2007, p.47).

El control del Alcance significa asegurar que los entregables y resultados del trabajo son completados y aceptados. Es decir, se enfoca a la aceptación de los entregables y no con el cumplimiento de los requisitos de calidad de ellos. Se documentan los entregables terminados aceptados y los no aceptados (con sus razones) Se incluye el respaldo del dueño y de la aceptación de los interesados (según aplique). (Polanco, A., 2017).

Determinar causales y grado de desviación o variación del trabajo real con respecto a la línea base y la repuesta a efectuar, son los aspectos principales del control del alcance.

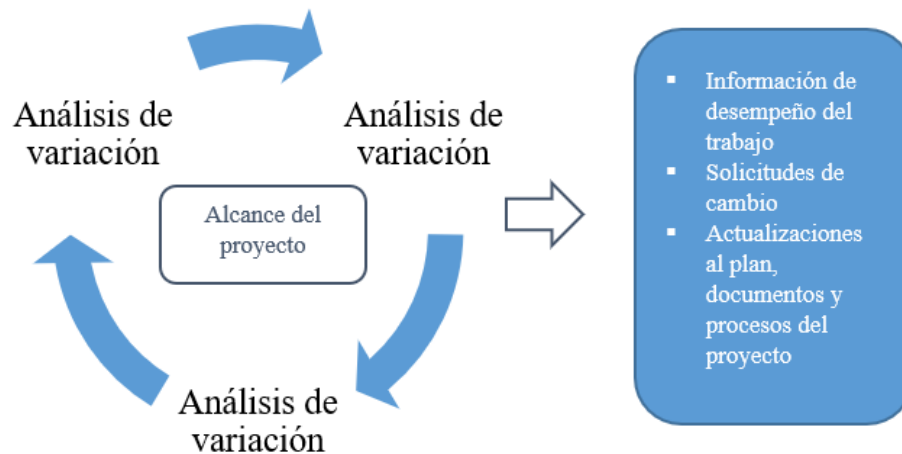


Figura 39: control del alcance  
Fuente: adaptado de PMI (2013), PMBOK © 5ta edición

Otras buenas y mejores prácticas asociadas al control del alcance:

1	WBS:	Control ordenado y sistemático
2	Medir, examinar y verificar:	Determinar si el trabajo y entregables cumplen con los requisitos y criterios de aceptación. Corroborar que completitud de obras se encuentren en lista de planos.
3	Diagramas de proceso e instrumentación:	Sirven como punto de partida para la revisión de planos y documentos entregados de ingeniería.
4	Procesos de gestión de cambios:	Para ingeniería de obras que no están en el alcance del proyecto, pero son necesarias.

Tabla 16: prácticas control alcance proyecto  
Fuente: Polanco, A. (2017)

### 2.2.5.2. Tiempo

El control del tiempo significa controlar el cumplimiento de los plazos parciales y totales, es decir, el cumplimiento con el cronograma o línea base. (Polanco, A., 2017). En los proyectos de ingeniería y construcción, este proceso juega un rol importante en el establecimiento de mecanismos de respuesta a desviaciones respecto a la línea base planificada y permite ejecutar acciones correctivas organizadamente para amortiguar el impacto en el cronograma.

“Controlar el cronograma es el proceso de monitorear el estado de las actividades del proyecto para actualizar el avance del mismo y gestionar los cambios de la línea base del cronograma a fin de cumplir el plan” (PMI, 2013). Por lo tanto, un buen control minimiza el riesgo de desviaciones y aumenta la eficiencia de la implementación de acciones correctivas.

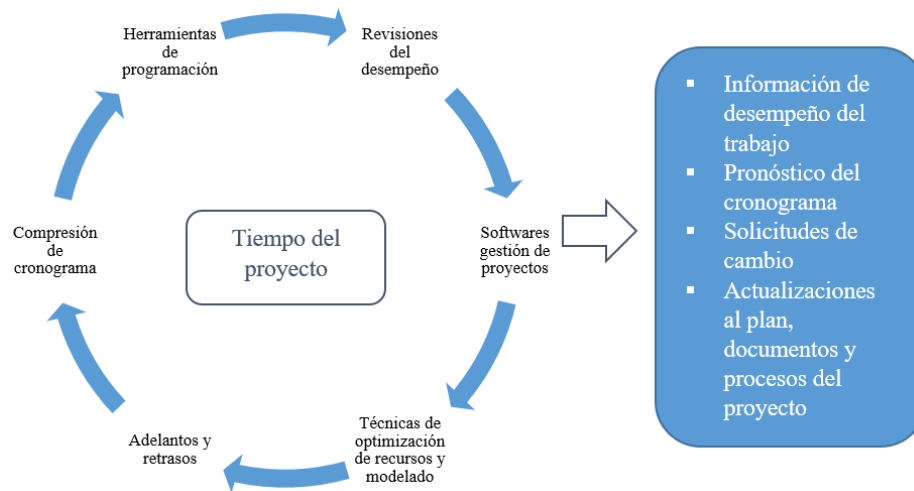


Figura 40: esquema control del tiempo  
Fuente: PMI (2013), PMBOK © 5ta edición

Un enfoque de control integrado requiere determinar estado actual, reconocer los factores de desviación y gestionar los cambios del cronograma, actualizando toda la documentación relacionada para todos los *stakeholders* pertinentes del proyecto.

Otras buenas y mejores prácticas asociadas al control del tiempo:

1	Informes de rendimiento.
2	Estatus de las actividades (iniciada, terminada, desarrollo, suspendida, postergada, etc.).
3	Trabajo hecho de cada actividad.
4	Novedades relacionadas a plazos y trabajo adicional.
5	Análisis de variaciones, diagramas de barras.
6	Indicadores de cumplimiento: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Avance a la fecha aplicado a actividades, áreas del WBS, entregables o proyecto total</li> <li>▪ Productividad: avance real (%) / avance plan (%)</li> <li>▪ Hitos cumplidos (real/plan)</li> <li>▪ Actividades críticas iniciadas (real/plan)</li> <li>▪ Términos cumplidos (real/plan)</li> <li>▪ Holguras totales originales / holguras totales disponibles</li> </ul>

Tabla 17: prácticas control tiempo proyecto  
Fuente: Polanco, A. (2017)

### 2.2.5.3. Costo

El control de costos significa controlar el cumplimiento con el presupuesto aprobado para el proyecto (línea base) y el adecuado uso de la contingencia. Sus principales objetivos son: asegurar que potenciales sobrecostos no excedan fondos autorizados, actuar para mantener los sobrecostos esperados dentro de los límites aceptables, detectar y entender las desviaciones c/r a la línea base de costos y pronosticar el costo total del proyecto. (Polanco, A., 2017).

Controlar costos no consta solamente en gestionar el presupuesto definido en la planificación, sino que también es necesario manejar los posibles gastos y expensas debido a los riesgos presentes a lo largo del proyecto y efectuar acciones que influyan en los factores que puedan crear cualquier desviación o cambio con la línea base.

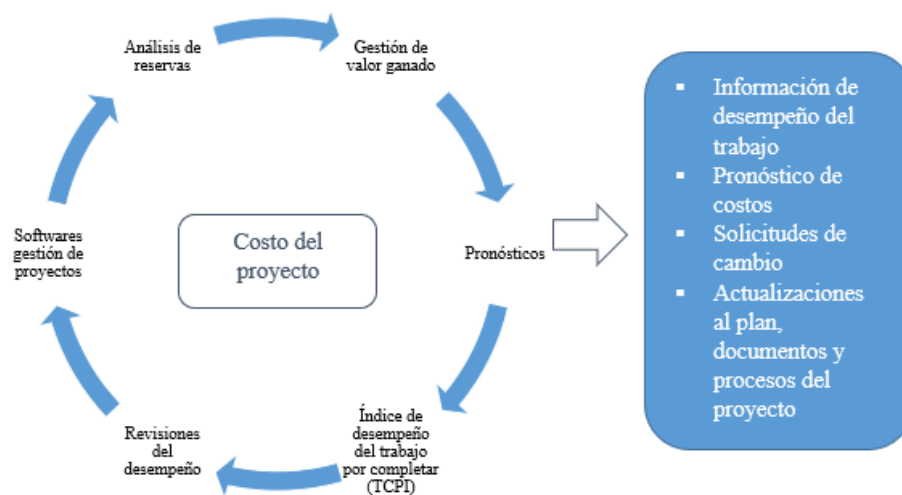


Figura 41: esquema control del tiempo  
Fuente: PMI (2013), PMBOK ® 5ta edición

Desde la planificación del costo del proyecto, se tiene una línea base y un plan de gestión de los costos. En el proceso de control se utiliza esta información para comparar con los costos reales y determinar los posibles cambios, acciones preventivas y/o correctivas y el cómo se deben manejar.

Además, es necesario contemplar los requisitos de financiamiento (gastos o deudas proyectadas), los datos de desempeño del trabajo (avance de actividades, entregables y costos autorizados e incurridos) y las políticas, procedimientos y herramientas definidas en la etapa de planificación.

La información antes mencionada corresponde a las variables de entrada en el proceso de control de costos. Esta información, gracias a las herramientas y técnicas logran entregar pronósticos de costos y realizar actualizaciones al plan de costos.

En la siguiente tabla se exponen las distintas herramientas y técnicas del control de costos señaladas por el PMI (2013) en el PMBOK ® 5ta edición.

#	Herramientas y técnicas	Características
1	Gestión del valor ganado (EVM)	Metodología que involucra medidas del alcance, cronograma y recursos para evaluar el desempeño y avance del proyecto. Requiere la constitución de una línea base integrada (alcance, cronograma, costos) con respecto a la cual se pueda medir el desempeño a lo largo del proyecto. Ejemplo en <b>Anexo E</b> .
2	Pronósticos	Pronosticar la estimación de la conclusión (EAC) implica realizar proyecciones de condiciones y eventos futuros para el proyecto, contemplando la estimación hasta la conclusión (ETC). Existen 2 métodos: ascendente y manual. Cada uno de estos enfoques podría brindar una señal de “alerta temprana” si los pronósticos para la EAC no están dentro de las tolerancias aceptables.
3	Índice de desempeño del trabajo por completar (TCPI)	Medida del desempeño del costo que se debe alcanzar con los recursos restantes a fin de cumplir con un determinado objetivo de gestión.
4	Revisiones de desempeño	Comparar desempeño del costo en el tiempo, las actividades o paquetes del cronograma que exceden el presupuesto o que están por debajo de éste, y los fondos necesarios para completar el trabajo en ejecución
5	Software de gestión de proyectos	Uso de softwares de gestión para monitorear las dimensiones del EVM.
6	Análisis de reservas	Monitorear reservas de contingencia y gestión.

Tabla 20: herramientas y técnicas del control de costos.  
Fuente: adaptado de PMI (2013), PMBOK ® 5ta edición.

Las técnicas más utilizadas en el control de costos son el método del valor ganado (EVM), los pronósticos y el índice de desempeño del trabajo por completar. Estos métodos permiten monitorear los costos, tiempo y término de tareas.

Además, permite comenzar a formar un sistema integral de control, pues se incorporan otras técnicas de control de otras áreas del *Project Management*, como la estructura de desglose del trabajo (WBS) y los cronogramas, en el EVM.

Cabe resaltar que el control implica completar tareas, lo que hace necesario realizar acciones correctivas (con enfoque de aprendizaje preventivo) a las desviaciones encontradas y pronosticadas en el seguimiento y monitoreo. Asimismo, es importante realizar las actualizaciones de presupuesto de manera oportuna.

Otras buenas y mejores prácticas asociadas al control del costo:

1	Contar con profesionales idóneos para medidas y respuesta.
2	Tablero o tabla de control de costos (ítem, costo real, costo ya comprometido, costo faltante, costo total al término, costo presupuestado, desviación, acción correctiva, entre otros).

Tabla 18: prácticas control costos proyecto  
Fuente: Polanco, A. (2017)

#### 2.2.5.4. Calidad

El control de la calidad está enfocado a verificar que los resultados del trabajo y los entregables del proyecto cumplen con las especificaciones técnicas, normas, estándares y requisitos especificados. El resultado del control es entregables validados. (Polanco, A., 2017).

El control de la calidad es el proceso en que se monitorean la ejecución de las actividades de la calidad, para extraer resultados, indicadores de desempeño y, de existir, causas de calidad deficiente. Esto, para evaluar el estado de los procesos registrados y aplicar, de ser necesario, medidas para cambio y mejora.

Controlar la calidad, con un enfoque preventivo, permite reducir el impacto que las no conformidades generan en el proyecto, esto es, evitar la reprogramación y el realizar el mismo trabajo más de una vez.

Según señala A. Polanco (2017), el control de calidad se realiza por funciones de ingeniería, adquisiciones y construcción:

- a) Control de Calidad de Ingeniería:
  - Revisar planos y documentos de diseño respecto a normativas de cálculo y criterios de diseño aprobados del proyecto.
  - Revisar el calce con los diseños de las otras disciplinas para evitar interferencias.
  - Revisar consistencia de bases de datos, cantidad de materiales en planos y en órdenes de compra.
- b) Control de Calidad de las Adquisiciones:
  - Plan de Calidad del proveedor.
  - Inspección técnica de acuerdo con el plan del proyecto.
  - Pruebas, ensayos de apoyo.
  - Reparación de defectos (no conformidades).
- c) Control de Calidad de la Construcción:
  - Cumplimiento con Tolerancias,
  - Cumplimiento con especificaciones.
  - Ensayos, pruebas.
  - Reparación de defectos (no conformidades).

Además de la inspección de trabajo realizado, se utilizan las 7 herramientas básicas de la calidad, las cuales permiten analizar los eventuales problemas:

- Diagramas causa-efecto (Ishikawa)
- *Check Sheets* (hojas de datos)
- Diagramas de control
- Histogramas
- Diagramas de Pareto
- Diagramas de dispersión
- Diagramas de flujo

Estas herramientas se presentan y explican en la siguiente figura.



Diagramas causa-efecto (Ishikawa)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El enunciado del problema se utiliza como punto de partida para trazar el origen del problema hacia su causa raíz. El mecanismo para encontrar las causas consiste en considerar el problema y preguntarse “por qué” hasta que se llegue a identificar la causa raíz o hasta que se hayan agotado las opciones razonables en cada diagrama. Útiles para relacionar los efectos no deseados vistos como variación especial de una causa posible sobre la que los equipos de proyecto deben implementar acciones correctivas.</li> </ul>
Check Sheets	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se pueden utilizar como lista de comprobación a la hora de recoger datos. Se utilizan para organizar los hechos de manera que se facilite la recopilación de un conjunto de datos útiles sobre un posible problema de calidad. Son especialmente útiles a la hora de recoger datos de los atributos mientras se realizan inspecciones para identificar defectos.</li> </ul>
Diagramas de control	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utilizan para determinar si un proceso es estable o tiene un comportamiento predecible. Los límites superior e inferior de las especificaciones se basan en los requisitos establecidos en el acuerdo. Reflejan los valores máximo y mínimo permitidos. Estos límites se determinan mediante la utilización de cálculos y principios estadísticos estándar para establecer la capacidad natural de obtener un proceso estable. El director del proyecto, junto con los interesados adecuados, puede utilizar los límites de control calculados estadísticamente para identificar los puntos en que se aplicarán medidas correctivas para prevenir un desempeño anormal. En general la acción correctiva busca el mantener la estabilidad natural de un proceso estable y eficaz. Se utilizan con mayor frecuencia para realizar el seguimiento de actividades repetitivas.</li> </ul>
Histogramas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma especial de diagrama de barras y se utilizan para describir la tendencia central, dispersión y forma de una distribución estadística. A diferencia del diagrama de control, el histograma no tiene en cuenta la influencia del tiempo en la variación existente en la distribución.</li> </ul>
Diagramas de Pareto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama de barras verticales y se utilizan para identificar las pocas fuentes clave responsables de la mayor parte de los efectos de los problemas. Las categorías que se muestran en el eje horizontal representan una distribución probabilística válida que cubre el 100% de las observaciones posibles. Las frecuencias relativas de cada una de las causas especificadas recogidas en el eje horizontal van disminuyendo en magnitud, hasta llegar a una fuente por defecto denominada “otros” que recoge todas las causas no especificadas. Por lo general, el diagrama de Pareto se organiza en categorías que miden frecuencias o consecuencias.</li> </ul>
Diagramas de dispersión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representan pares ordenados (X, Y) y a menudo se les denomina diagramas de correlación, ya que pretenden explicar un cambio en la variable dependiente Y en relación con un cambio observado en la variable independiente X. En caso de que se pueda establecer una correlación, se puede calcular una línea de regresión y utilizarla para estimar cómo un cambio en la variable independiente influirá en el valor de la variable dependiente.</li> </ul>
Diagramas de flujo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• También denominados mapas de procesos, porque muestran la secuencia de pasos y las posibilidades de ramificaciones que existen en un proceso que transforma una o más entradas en una o más salidas. Los diagramas de flujo muestran las actividades, los puntos de decisión, las ramificaciones, las rutas paralelas y el orden general de proceso. Útiles para entender y estimar el costo de la calidad de un proceso.</li> </ul>

Figura 42: las 7 herramientas básicas de la Calidad.  
Fuente: adaptado de PMI (2013), PMBOK ® 5ta edición

Otras buenas y mejores prácticas asociadas al control de la calidad:

1	Aplicar el control de calidad durante todo el desarrollo del proyecto y acorde al PAC.
2	Analizar los resultados del control de calidad, comparando con el PAC.
3	Usar listas de control y archivar adecuadamente los registros.
4	Aprobar o rechazar partes del trabajo de manera explícita, documentando.
5	Rehacer trabajos si corresponde y documentarlo.
6	Realización de ajustes al proceso si corresponde (solo si está fuera de control).
7	Uso extensivo de acciones preventivas.
8	Al término del proyecto, realizar la medición de satisfacción de los <i>stakeholders</i> .
9	Obtener retroalimentación periódica del equipo del proyecto (autoevaluación, encuestas, etc.).

Tabla 19: prácticas control calidad proyecto  
Fuente: Polanco, A. (2017)

### 3. CAPÍTULO III: Metodología

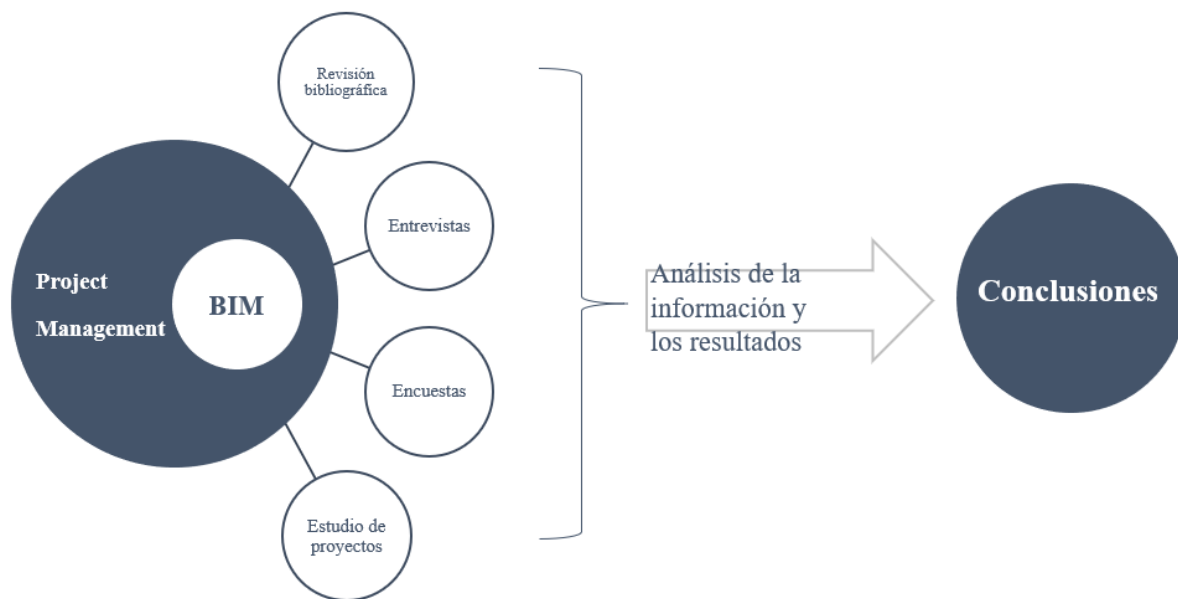
Para lograr los objetivos planteados en el presente trabajo de título, es necesario realizar el emparejamiento entre estos y las herramientas de la metodología de trabajo propuesta, consistente en: Revisión bibliográfica, Entrevistas a profesionales del área de la dirección y gestión de proyectos, Encuestas a profesionales de la ingeniería y construcción, Estudio de proyectos y Análisis de información y resultados.

Objetivos específicos	Herramienta utilizada
Identificar los elementos relevantes de los distintos procesos de planificación y control de alcance, tiempo, costo y calidad que usualmente se usan en proyectos de ingeniería y construcción.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revisión bibliográfica</li> </ul>
Analizar los cambios que la metodología BIM induce en los proyectos de ingeniería y construcción, específicamente en los procesos de planificación y control del alcance, tiempo, costo y calidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entrevistas</li> <li>▪ Encuestas</li> </ul>
Realizar análisis comparativo entre las metodologías utilizadas de planificación y control en proyectos con y sin BIM, identificando ventajas, desventajas y recomendaciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revisión bibliográfica</li> <li>▪ Entrevistas</li> <li>▪ Estudio de proyectos</li> </ul>

*Tabla 23: metodología necesaria para el cumplimiento de los objetivos planteados*

*Fuente: elaboración propia*

El efectuar dichos métodos de recopilación de información y análisis, permitirá reconocer cómo BIM se ha desarrollado en los proyectos de ingeniería y construcción, sus resultados y usos para la planificación y control, desde la perspectiva de la Dirección de Proyectos.



*Figura 43: metodología de trabajo*

*Fuente: elaboración propia*

### 3.1. Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica consta de la revisión de documentos y publicaciones relacionadas al *Project Management* (enfocado en la Planificación y Control) y BIM, aplicado al área de la ingeniería y construcción.

Para la recopilación de información bibliográfica relacionada a BIM y a la dirección de proyectos, se consultaron diversos documentos y publicaciones, las cuales se categorizarán según:

- a) Índole
- b) Tipo
- c) Año de publicación
- d) Procedencia

### 3.2. Entrevistas

Las entrevistas tienen como objetivo obtener información relacionada a proyectos realizados con y sin el uso de BIM, desde profesionales encargados de la planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción. Además, permiten recoger las experiencias de los distintos profesionales y el cómo ellos han abordado proyectos, enfocando su transmisión de la información a las metodologías BIM y del *Project Management*.

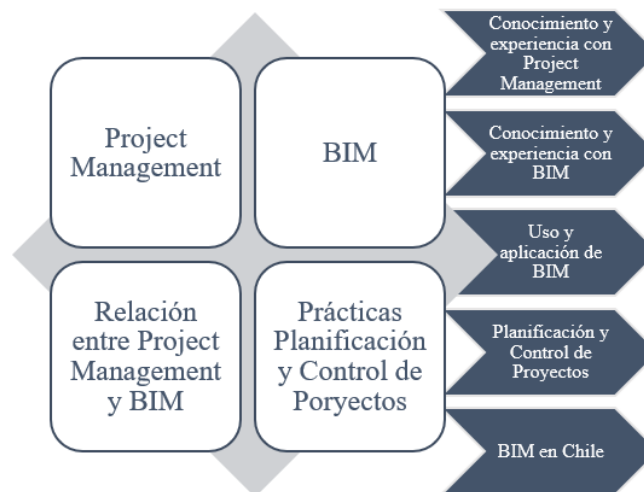


Figura 44: principales directrices de la entrevista  
Fuente: elaboración propia

Alcance	Definiciones, procesos, responsables
	WBS
	Control
	Gestión de cambios
Tiempo	Cronograma y actividades
	Control del cronograma
	Gestión de cambios
Costo	Estimaciones y presupuestos
	CAPEX y OPEX
	Control de costos
Calidad	PAC
	Requisitos
	Control de ingeniería y construcción

*Figura 45: temas a tratar en entrevistas  
Fuente: elaboración propia*

En el **Anexo F** se adjuntan las preguntas de la entrevista.

### 3.3. Encuestas

Las encuestas buscan recopilar información de distintos profesionales de la ingeniería y construcción, sobre su conocimiento y experiencia con BIM y la Dirección de Proyectos.

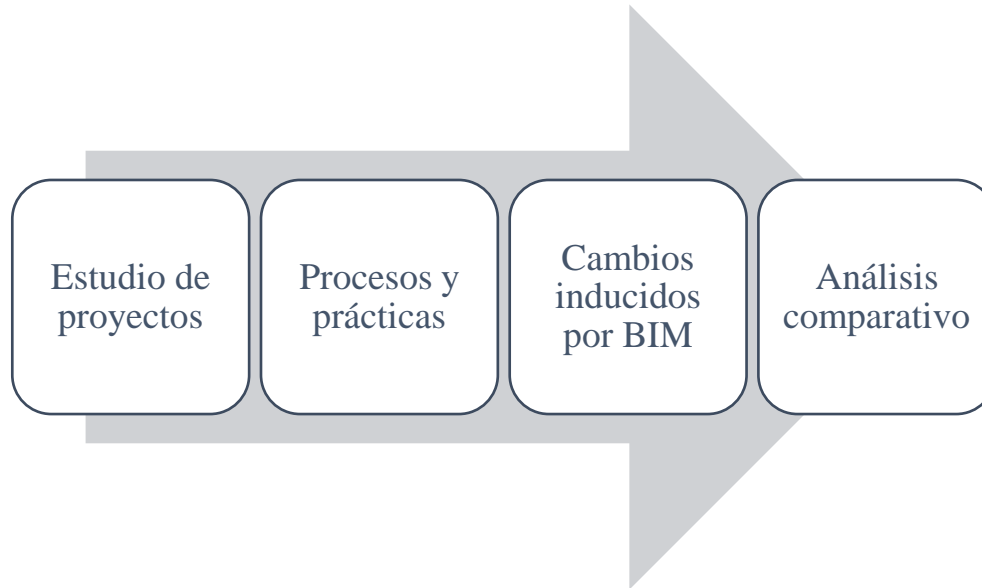


*Figura 46: principales directrices de la encuesta  
Fuente: elaboración propia*

En virtud de recabar una mayor cantidad de respuestas, la encuesta será realizada de manera online, mediante la plataforma **Google Forms**. La encuesta se presenta en el **Anexo G**.

### 3.4. Estudio de proyectos

Se realizará el estudio de proyectos con y sin el uso de BIM, además del análisis comparativo entre prácticas para obtener información relevante sobre las metodologías implementadas en los procesos de planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción.



*Figura 47: identificación y comparación entre proyectos estudiados y sus procesos  
Fuente: elaboración propia*

### 3.5. Análisis de la información y resultados

El análisis de la información recopilada mediante la revisión bibliográfica, entrevistas, encuestas y estudio de proyectos, permitirá generar conocimiento sobre el uso de BIM en los proyectos de ingeniería y construcción, específicamente en la aplicación de esta metodología en los procesos de Planificación y Control.

Lo anterior, posibilitará lograr los objetivos planteados para el presente trabajo de título, por cuanto sea posible determinar el impacto del uso de BIM en los procesos de Planificación y Control de proyectos, reconocer ventajas y desventajas respecto a las prácticas usuales e identificar las experiencias del uso de la metodología BIM en proyectos de ingeniería y construcción.

A partir de la revisión bibliográfica, se realizará la identificación de las características de los distintos procesos de planificación y control de alcance, tiempo, costo y calidad en las prácticas convencionales, además de un análisis, entre la metodología de trabajo usual en los Procesos de Planificación y Control y la metodología BIM.

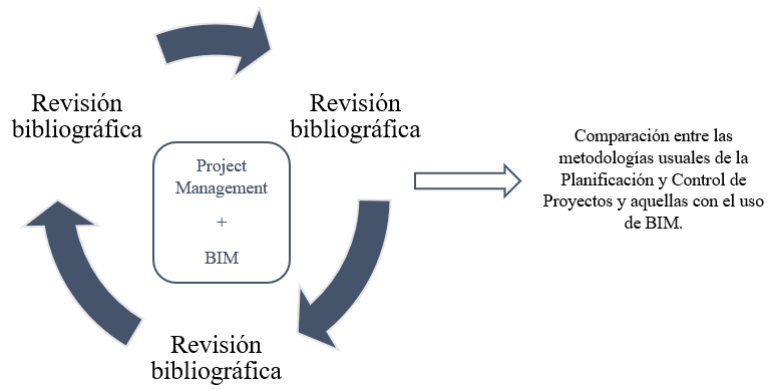


Figura 48: análisis revisión bibliográfica  
Fuente: elaboración propia

Desde las entrevistas, se realizará un compendio de los proyectos donde los entrevistados han o no utilizado BIM, identificando tipo de proyecto, forma de implementación y uso y beneficios atribuibles a las metodologías. Además, se obtendrá información de los principales obstáculos, desafíos y diferencias respecto a la forma tradicional de trabajar en los procesos de Planificación y Control de proyectos.

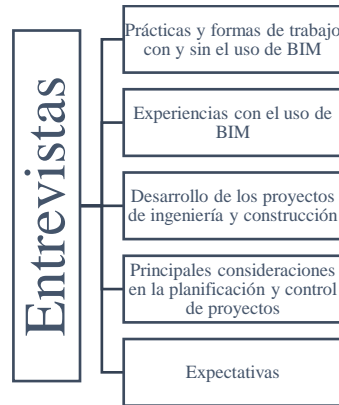


Figura 49: análisis entrevistas  
Fuente: elaboración propia

Con las encuestas se busca obtener información más amplia y diversa sobre el uso de BIM, los tipos de proyecto y procesos en que se ha implementado, además de la percepción de sus beneficios. Esta herramienta recogerá respuestas de todo profesional de la ingeniería y construcción, tenga o no conocimiento de BIM, dado que esto también entregará información sobre la situación actual del conocimiento de BIM.

El estudio de proyectos con y sin BIM, permitirá realizar un análisis entre las metodologías utilizadas para la planificación y control, estableciendo comparaciones entre los procesos de alcance, tiempo, costo y calidad. Esto, mediante la recopilación de casos exitosos con el uso de BIM.

## 4. CAPÍTULO IV: Desarrollo y resultados

A continuación, se expone el trabajo realizado para la obtención de la información y sus resultados, acorde a la metodología planteada para lograr los objetivos establecidos en el presente trabajo de título.

### 4.1. Resultados de la revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica juega un rol fundamental para la comprensión de los dos grandes conceptos en estudio, BIM y *Project Management*. Esta revisión, se efectuó acudiendo a varios documentos y publicaciones, las cuales se categorizan a continuación. Cabe señalar que las fuentes utilizadas para el apartado de “Estudio de proyectos” se consideran fuera de la revisión bibliográfica, pues su uso fue para cumplir un objetivo distinto.

Documento o publicación	BIM	PM	Tipo	Año	Procedencia
The Development of BIM Definition from 1975 to 2013	X		Artículo digital	2014	Malasia
Implementación y metodología para la elaboración de modelos BIM para su aplicación en proyectos industriales multidisciplinarios	X		Tesis de pregrado	2012	Chile
BIM in the world	X		Artículo digital	2016	Global
Project Management. Planning and Control Techniques.		X	Libro	2003	Inglaterra
Incorporación de Metodología BIM en la Gestión Integrada de Proyectos	X		Tesis de maestría	2016	España
Global Project Management Handbook		X	Libro	2006	Estados Unidos
A Brief History of Project Management		X	Artículo digital	2015	Estados Unidos
¿QUÉ ES CONSTRUYE 2025?	X		Artículo digital	2016	Chile
PLAN BIM	X		Artículo digital	2016	Chile
Guía inicial para implementar BIM en las organizaciones	X		Documento digital	2017	Chile
Listado de Softwares BIM	X		Documento digital	2016	Chile
Beneficios de la coordinación de proyectos BIM en edificios habitacionales	X		Tesis de pregrado	2014	Chile
BIM Levels explained	X		Artículo digital	2014	Inglaterra
Análisis comparativo de las prácticas de dirección de proyectos del PMI en empresas públicas y privadas en Chile		X	Tesis de pregrado	2017	Chile
National BIM Standard – United States® Version 3	X		Artículo digital	2015	Estados Unidos
Gestión de proyectos de construcción mediante Building Information Modeling (BIM) e Integrated Project Delivery (IPD)	X		Tesis de maestría	2016	España
BIM Project Management	X		Artículo digital	2014	España
Desafíos de la Dirección de Proyectos Mineros EPCM-EPC		X	Documento digital	2010	Chile
Apuntes de clase CI5511 Curso Dirección de Proyectos		X	Documento académico	2017	Chile
Construction Extension to the PMBOK® Guide 3rd Edition		X	Libro	2007	Global
Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. PMBOK® 5ta edición		X	Libro	2013	Global
About Us		X	Artículo digital	2017	Global
Success in Disruptive Times. 10th Global Project Management Survey		X	Documento digital	2018	Global
Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM	X		Tesis de pregrado	2010	Chile
Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling	X		Documento digital	2013	Inglaterra

Tabla 24: características bibliografía utilizada

Fuente: elaboración propia

La tabla anterior, se representa con los siguientes gráficos:

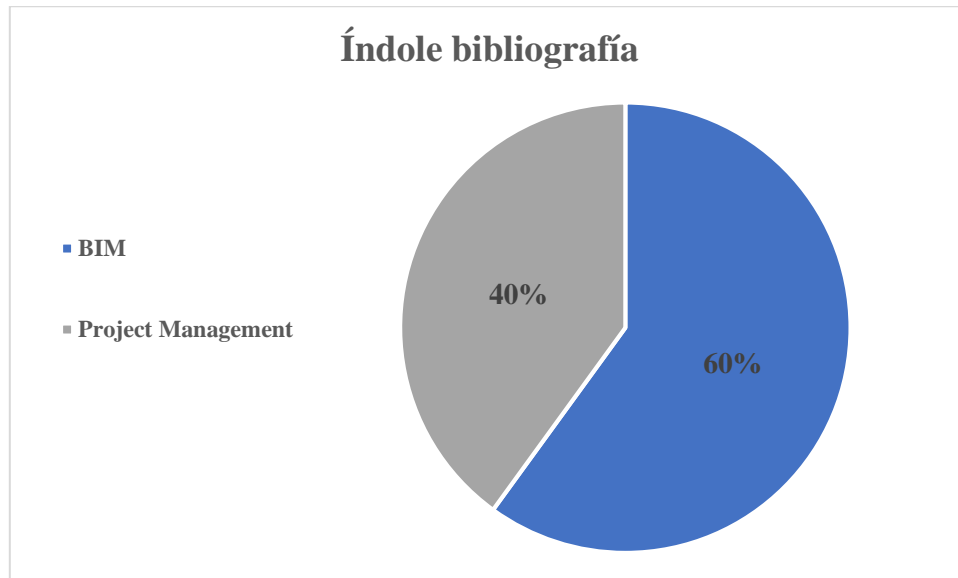


Figura 50: índole bibliografía utilizada  
Fuente: elaboración propia

Dado que BIM es un concepto más nuevo (que el *Project Management*), la mayor parte de la bibliografía es respecto a este, pues la información disponible de BIM es más escasa y está menos desarrollada que la relacionada a la dirección de proyectos, razón por la que se investigó más.

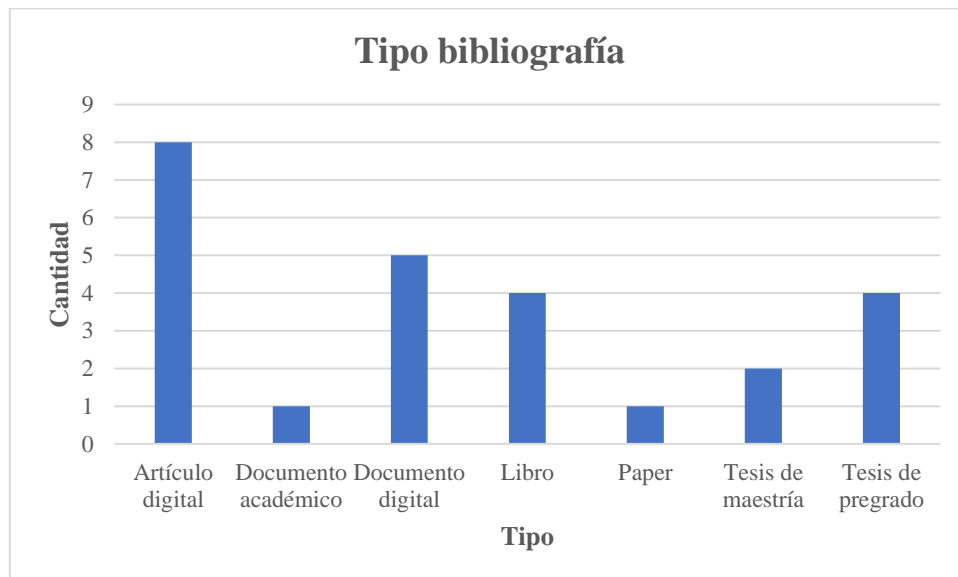


Figura 51: tipo bibliografía utilizada  
Fuente: elaboración propia

Los artículos y documentos digitales son los predominantes, seguidos por las tesis de pregrado y libros. Cabe señalar que la cantidad de documentos planteada no guarda relación con la abundancia de información que aporta cada una. Un ejemplo, es que el documento académico acudido fue ampliamente utilizado en el desarrollo del marco teórico del presente trabajo de título.



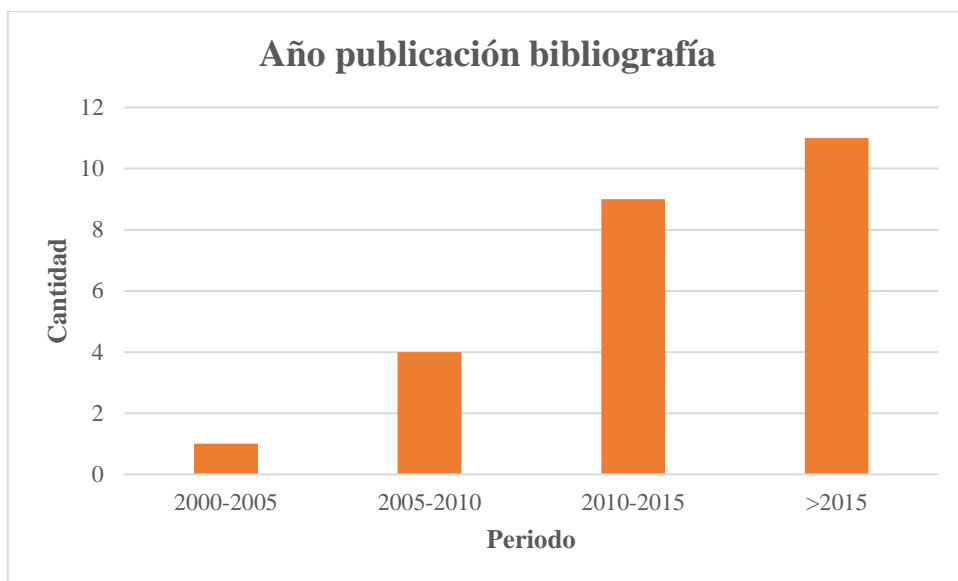


Figura 52: año publicación bibliografía utilizada  
Fuente: elaboración propia

La mayoría de la bibliografía utilizada es de los últimos 8 años, lo cual muestra que el grueso de información recopilada es atinente a la actualidad.

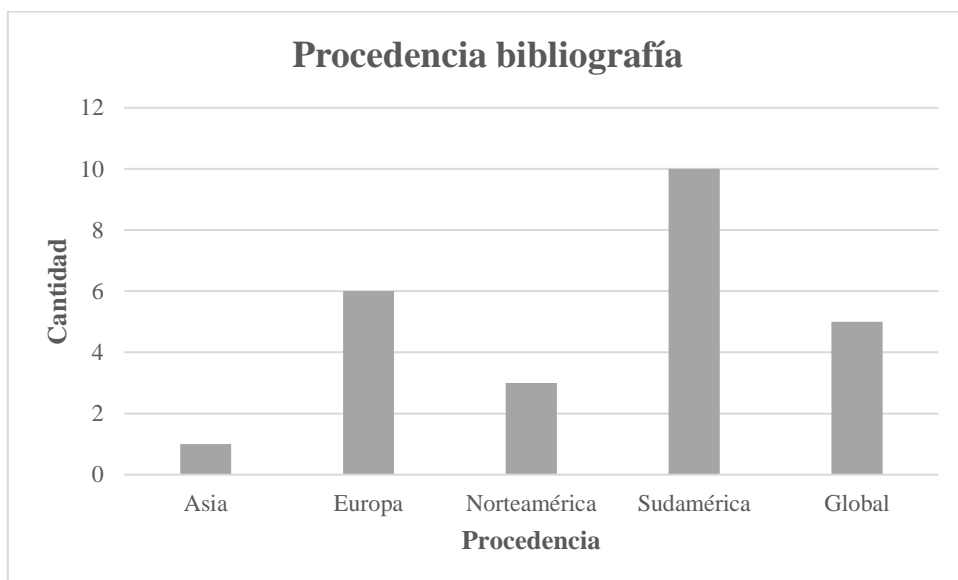


Figura 53: procedencia bibliografía utilizada  
Fuente: elaboración propia

La figura anterior permite ver que la bibliografía con mayor incidencia en este trabajo de título es la generada en Sudamérica (Chile, principalmente) y Europa. La de procedencia “global” corresponde al aporte del PMI con sus publicaciones.

En general, se observa que la bibliografía utilizada es muy variada, para cada uno de los aspectos indicados, actual y focalizada a cubrir el marco teórico necesario.

La revisión bibliográfica efectuada busca cumplir con dos objetivos. Primero, identificar las características de los distintos procesos de planificación y control de alcance, tiempo, costo y calidad que usualmente se usan en proyectos de ingeniería y construcción. En segundo lugar, aportar información para realizar un análisis comparativo entre las metodologías utilizadas de planificación y control en proyectos con y sin BIM.

Los resultados de la revisión bibliográfica se exponen a continuación, con las siguientes tablas:

Área	Planificación	Control
Alcance	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Generación del WBS, principalmente, por el Mandante.</li> <li>▪ Matriz de Responsabilidades (para cada <i>stakeholder</i> y de nivel interno).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informes de desviación o variación respecto a Línea Base.</li> <li>▪ Solicitudes de cambio.</li> <li>▪ Actualizaciones al plan, documentos y procesos.</li> <li>▪ Control por WBS (no siempre).</li> </ul>
Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Generación del cronograma del proyecto, generalmente, por el contratista principal y con aprobación del Mandante.</li> <li>▪ Creación de una Línea Base del programa.</li> <li>▪ Uso de los métodos de la Ruta Crítica (CPM) y PERT (en menor medida).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informes de desviación o variación respecto a Línea base o cronograma.</li> <li>▪ Informes de rendimiento y cumplimiento.</li> <li>▪ Pronósticos o <i>forecasting</i>.</li> <li>▪ Solicitudes de cambio.</li> <li>▪ Actualizaciones y estatus de actividades.</li> </ul>
Costo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Establecer bases del estimado y generar el estimado de costos.</li> <li>▪ Considerar tolerancias (<i>allowances</i>) para las distintas partidas.</li> <li>▪ CAPEX generado entre contratista principal y Mandante.</li> <li>▪ OPEX, generalmente, gestionado por el dueño.</li> <li>▪ Consideración de costos directos, indirectos, del dueño, contingencia e imprevistos.</li> <li>▪ Generación de presupuesto y Línea Base, por lo general, mediante paquetes de costos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gestión del valor ganado (EVM).</li> <li>▪ Pronósticos y <i>forecasting</i>.</li> <li>▪ índices de desempeño e informes de costos.</li> <li>▪ Solicitudes de cambio.</li> <li>▪ Análisis de reservas (contingencia, imprevistos).</li> <li>▪ Verificación de cantidades.</li> </ul>
Calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Generación del Plan de Calidad, el cual es interno para cada <i>stakeholder</i>, pero con base en los requerimientos impuestos por el Mandante.</li> <li>▪ Considerar planes para ingeniería y construcción.</li> <li>▪ Incluir el aseguramiento de la calidad (QA), procesos de control y mejora continua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Control calidad de ingeniería, adquisiciones y construcción.</li> <li>▪ Revisión de planos, planes, pruebas, tolerancias, ensayos, entre otras medidas.</li> <li>▪ Herramientas como diagramas causa efecto, Pareto, flujo, <i>Checklists</i>, etc.</li> <li>▪ Control durante todo el proyecto, acorde al PAC.</li> <li>▪ Informes de desempeño y acciones a tomar.</li> </ul>

Tabla 25: prácticas usuales en proyectos de ingeniería y construcción

Fuente: elaboración propia

La tabla anterior muestra las principales prácticas convencionales en la planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción, para el alcance, tiempo, costo y calidad.

Área	Planificación	Control
Alcance	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modelo compartido.</li> <li>▪ Distintas visualizaciones del modelo.</li> <li>▪ Distintos niveles de detalle para presentar.</li> <li>▪ Plataformas para generar simulaciones.</li> <li>▪ Evaluación de alternativas.</li> <li>▪ Tecnología inmersiva y marketing.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modelo compartido.</li> <li>▪ Detección temprana de interferencias.</li> <li>▪ Capitalización de la información.</li> <li>▪ Informes e índices en diversas presentaciones.</li> <li>▪ Actualización instantánea de información.</li> <li>▪ Tecnología inmersiva.</li> </ul>
Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modelo compartido.</li> <li>▪ Detección temprana de interferencias.</li> <li>▪ Capitalización de la información.</li> <li>▪ Cubicaciones en modelo.</li> <li>▪ Plataformas para generar simulaciones y vistas del modelo en cualquier momento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modelo compartido.</li> <li>▪ Detección temprana de interferencias.</li> <li>▪ Capitalización de la información.</li> <li>▪ Cubicaciones en modelo.</li> <li>▪ Informes e índices en diversas presentaciones.</li> <li>▪ Actualización instantánea de información.</li> <li>▪ Plataformas para generar simulaciones y vistas del modelo en cualquier momento.</li> </ul>
Costo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modelo compartido.</li> <li>▪ Capitalización de la información.</li> <li>▪ Cubicaciones en modelo.</li> <li>▪ Estimado de costos en base a información disponible y cubicaciones en modelo.</li> <li>▪ Selección de materiales, equipo y compras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modelo compartido.</li> <li>▪ Capitalización de la información.</li> <li>▪ Cubicaciones en modelo.</li> <li>▪ Informes e índices en diversas presentaciones.</li> <li>▪ Actualización instantánea de información.</li> </ul>
Calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modelo compartido.</li> <li>▪ Detección temprana de interferencias.</li> <li>▪ Capitalización de la información.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modelo compartido.</li> <li>▪ Detección temprana de interferencias.</li> <li>▪ Capitalización de la información.</li> <li>▪ Cubicaciones en modelo.</li> <li>▪ Informes e índices en diversas presentaciones.</li> <li>▪ Actualización instantánea de información.</li> <li>▪ Generación eficiente de planos <i>As-Built</i> y planos 2D exactos, por extracción desde el modelo BIM.</li> <li>▪ Reportes y <i>checklists</i> desde terreno.</li> </ul>

Tabla 26: prácticas y aplicaciones de BIM en proyectos de ingeniería y construcción  
Fuente: elaboración propia

La tabla anterior muestra las distintas aplicaciones y prácticas de BIM en los procesos del alcance, tiempo, costo y calidad de proyectos de ingeniería y construcción. Esto, según la revisión bibliográfica realizada.

El análisis y conclusiones respecto a esta información se trata en el siguiente capítulo.

## 4.2. Resultados de las entrevistas

Las entrevistas a profesionales de la dirección y gestión de proyectos era una actividad imperante de realización, ya que permite recoger la información real respecto al uso del *Project Management* y BIM en los proyectos de ingeniería y construcción.

Estas entrevistas fueron realizadas utilizando el formato del **Anexo F**, aplicándolas a profesionales que tienen experiencia en la dirección de proyectos y, por otro lado, conocimiento y/o experiencia con BIM. Estos profesionales se han desempeñado en grandes empresas nacionales e internacionales, con roles de Mandante, EPCM, DBO, contratistas de diseño, construcción e inspección.

A continuación, se exponen los perfiles (anónimos) de los 7 entrevistados:

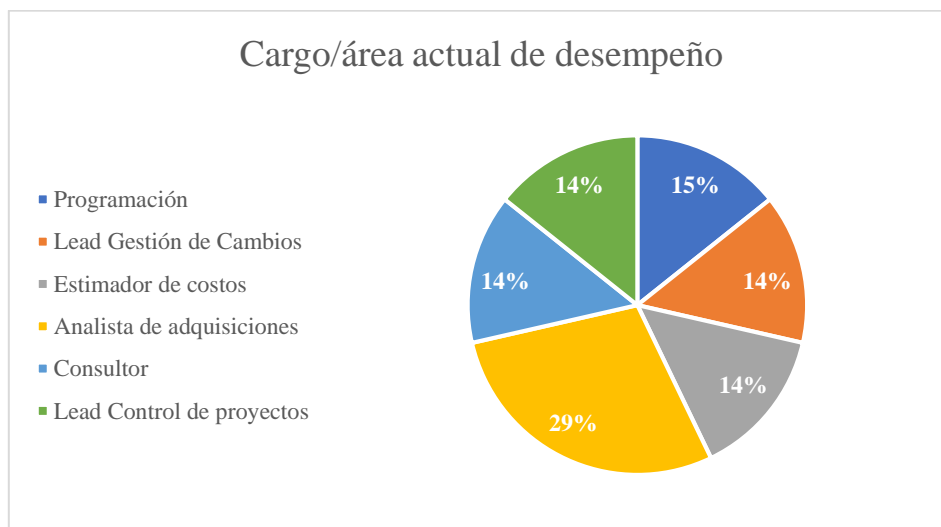


Figura 54: cargo actual profesional entrevistados  
Fuente: elaboración propia



Figura 55: años experiencia profesional entrevistados  
Fuente: elaboración propia

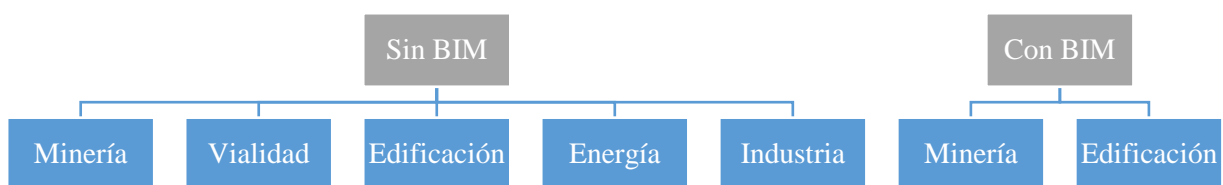


Figura 56: tipos de proyectos donde han participado los entrevistados  
Fuente: elaboración propia

Las figuras anteriores muestran que los entrevistados se desempeñan en distintas áreas de la dirección de proyectos, con variados años de experiencia y que se han desenvuelto en diversos tipos de proyectos. Aun así, la minería es el tipo de proyecto común a todos los entrevistados.

Ahora bien, como se expone en el formato de la entrevista, el trabajo consistió en recabar respuestas a las preguntas planteadas, pero con el fin de interpretarlas y evaluar ciertos puntos de interés para efectos del presente trabajo de título. Así es como las respuestas obtenidas se utilizaron, en la misma entrevista, para evaluar los puntos planteados en la siguiente tabla:

Área	Puntos evaluados
Alcance	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se utiliza la metodología BIM para elaboración de la oferta contractual.</li> <li>➤ BIM o el "Modelo" son considerados para la elaboración del WBS.</li> <li>➤ Se utiliza BIM para gestionar los cambios del alcance.</li> <li>➤ Los cambios del alcance se incluyen en BIM.</li> </ul>
Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La metodología BIM se utiliza en la generación del cronograma.</li> <li>➤ Se utiliza BIM en la planificación de las actividades.</li> <li>➤ En el cronograma se incluyen los entregables de BIM.</li> <li>➤ El Modelo integra el cronograma (4D).</li> <li>➤ Se utiliza BIM (herramientas) para controlar el cronograma.</li> <li>➤ El Modelo se utiliza para controlar el cronograma.</li> <li>➤ Se considera el Modelo al efectuar modificaciones al cronograma.</li> </ul>
Costo	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se considera el Modelo para generar la Estimación del presupuesto</li> <li>➤ Se utiliza la metodología BIM para la elaboración del CAPEX</li> <li>➤ Se utiliza la metodología BIM para la elaboración del OPEX</li> <li>➤ Los costos y presupuesto son incluidos en el Modelo (5D)</li> <li>➤ Los cambios en el CAPEX se incluyen en el Modelo (5D)</li> <li>➤ Los cambios en el OPEX se incluyen en el Modelo (5D)</li> </ul>
Calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se utiliza el Modelo para la elaboración del PAC</li> <li>➤ El PAC incluye BIM y/o el Modelo</li> <li>➤ Los requisitos de calidad se encuentran en el Modelo</li> <li>➤ Los requisitos de calidad se comunican mediante BIM</li> <li>➤ BIM entrega herramientas para el control de calidad de ingeniería</li> <li>➤ BIM entrega herramientas para el control de calidad de construcción</li> </ul>

Tabla 27: puntos evaluados en la entrevista  
Fuente: elaboración propia

Las respuestas de los entrevistados se representan en las siguientes figuras:

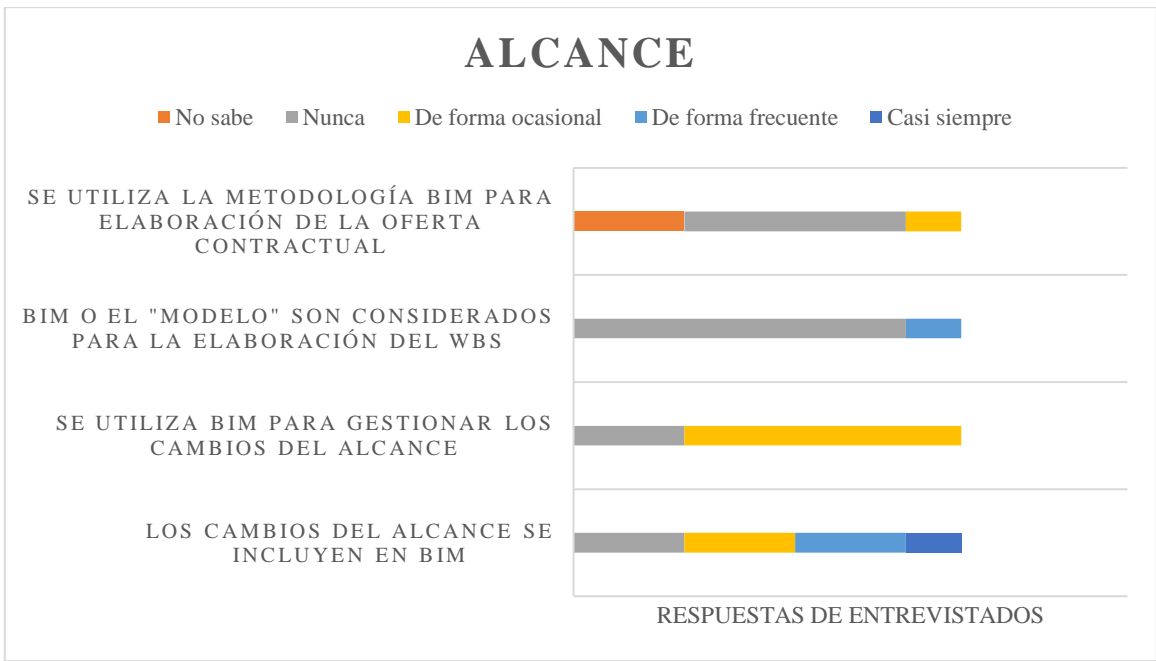


Figura 57: respuestas entrevistados respecto al alcance  
Fuente: elaboración propia

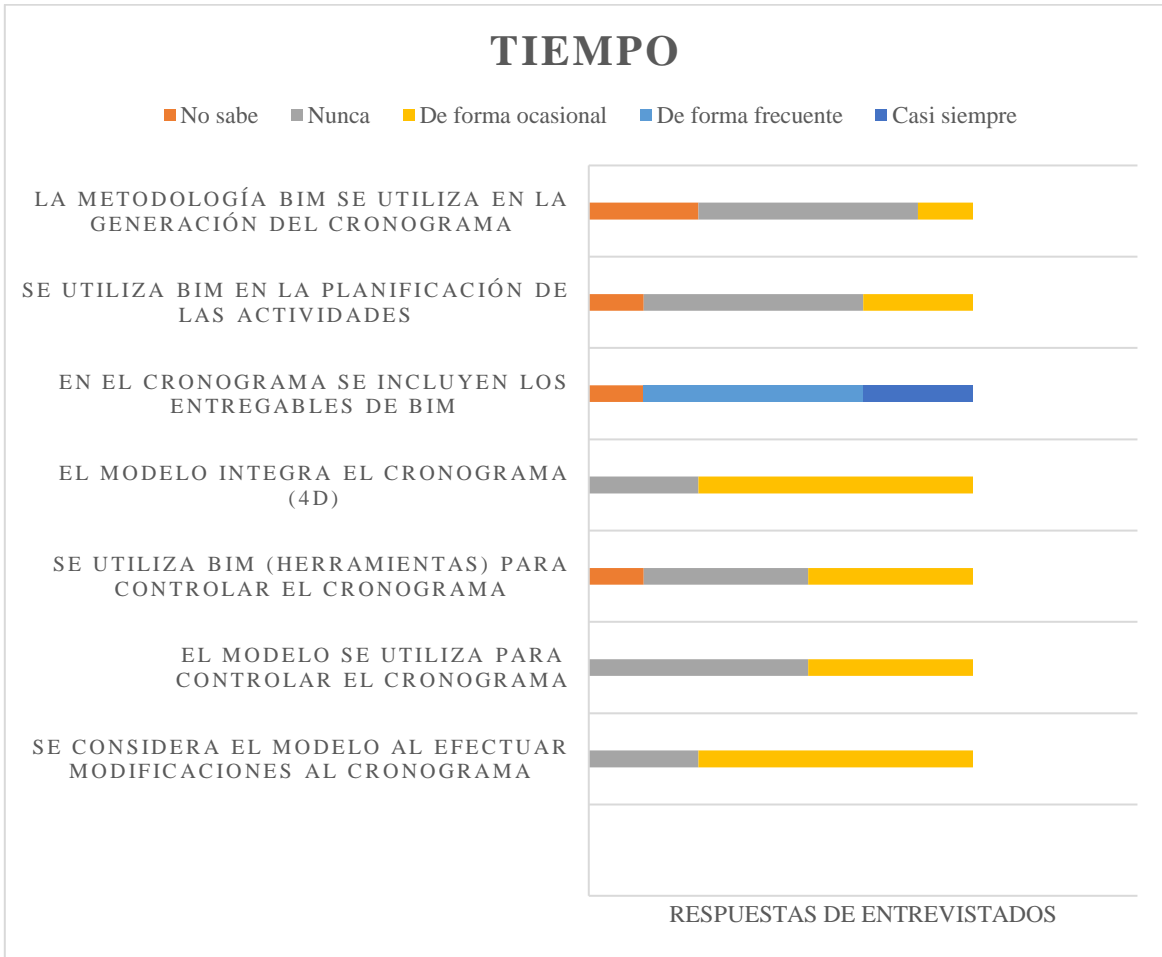


Figura 58: respuestas entrevistados respecto al tiempo  
Fuente: elaboración propia

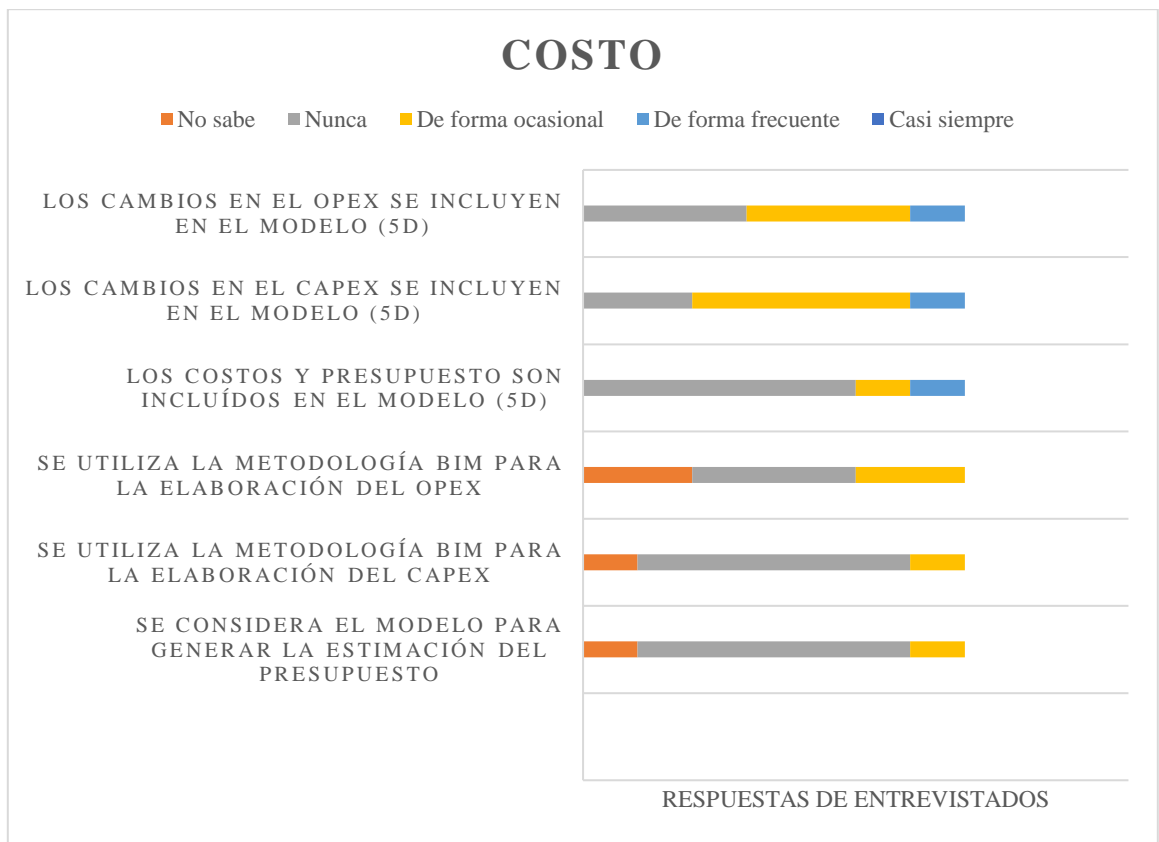


Figura 59: respuestas entrevistados respecto al costo  
Fuente: elaboración propia

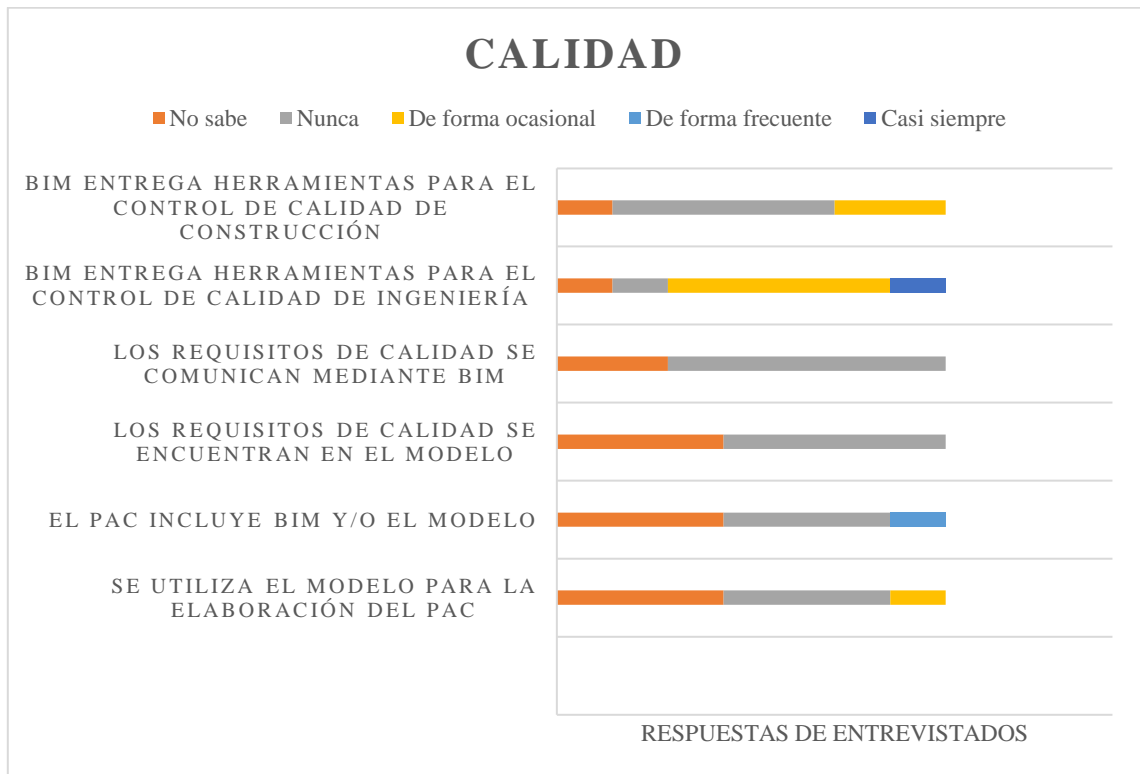


Figura 60: respuestas entrevistados respecto al costo  
Fuente: elaboración propia

La siguiente tabla resume las respuestas anteriores de manera numérica, indicando la contestación de los entrevistados para los puntos evaluados:

Área	Puntos evaluados	No sabe	Nunca	De forma ocasional	De forma frecuente	Casi siempre
Alcance	Uso de la metodología BIM para elaboración de la oferta contractual	2	4	1	0	0
	BIM o el "Modelo" son considerados para la elaboración del WBS	0	6	0	1	0
	Se utiliza BIM para gestionar los cambios del alcance	0	2	5	0	0
	Los cambios del alcance se incluyen en BIM	0	2	2	2	1
Tiempo	La metodología BIM se utiliza en la generación del cronograma	2	4	1	0	0
	Se utiliza BIM en la planificación de las actividades	1	4	2	0	0
	En el cronograma se incluyen los entregables de BIM	1	0	0	4	2
	El Modelo integra el cronograma (4D)	0	2	5	0	0
	Se utiliza BIM (herramientas) para controlar el cronograma	1	3	3	0	0
	El Modelo se utiliza para controlar el cronograma	0	4	3	0	0
	Se considera el Modelo al efectuar modificaciones al cronograma	0	2	5	0	0
Costo	Se considera el Modelo para generar la Estimación del presupuesto	1	5	1	0	0
	Se utiliza la metodología BIM para la elaboración del CAPEX	1	5	1	0	0
	Se utiliza la metodología BIM para la elaboración del OPEX	2	3	2	0	0
	Los costos y presupuesto son incluidos en el Modelo (5D)	0	5	1	1	0
	Los cambios en el CAPEX se incluyen en el Modelo (5D)	0	2	4	1	0
	Los cambios en el OPEX se incluyen en el Modelo (5D)	0	3	3	1	0
Calidad	Se utiliza el Modelo para la elaboración del PAC	3	3	1	0	0
	El PAC incluye BIM y/o el Modelo	3	3	0	1	0
	Los requisitos de calidad se encuentran en el Modelo	3	4	0	0	0
	Los requisitos de calidad se comunican mediante BIM	2	5	0	0	0
	BIM entrega herramientas para el control de calidad de ingeniería	1	1	4	0	1
	BIM entrega herramientas para el control de calidad de construcción	1	4	2	0	0

Tabla 28: cantidad de respuestas de los entrevistados para cada punto a evaluar  
Fuente: elaboración propia

Esta recolección de respuestas (y evaluación de puntos) permiten generar un análisis centrado en las principales prácticas del *Project Management* que se ven afectadas o que incluso han sufrido cambios por el uso de la metodología BIM.

Además de conseguir respuestas a las preguntas planteadas en la entrevista, se instó a los entrevistados a comentar sobre las prácticas de la dirección de proyectos, según su experiencia, y los posibles cambios e impactos que genera el uso de BIM. Las siguientes tablas muestran los principales comentarios recibidos para cada punto en evaluación, según el área del conocimiento:



Área	Puntos evaluados	Comentarios de los profesionales entrevistados
Alcance	Uso de la metodología BIM para elaboración de la oferta contractual	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Importante contar con bibliotecas de información.</li> <li>▪ Difícil por los costos que involucra, y la posibilidad de no adjudicación.</li> <li>▪ Ingeniería básica, por lo general, desarrollada ya por el cliente o Mandante.</li> <li>▪ Se utiliza más la metodología que el Modelo BIM.</li> <li>▪ BIM útil para evaluación de alternativas.</li> </ul>
	BIM o el "Modelo" son considerados para la elaboración del WBS	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desde el WBS se genera el Modelo, no al revés.</li> <li>▪ El WBS se entrega, generalmente, por el Mandante y sus asesores.</li> <li>▪ Hay casos donde por implementación del Modelo BIM se ha replanteado el WBS.</li> </ul>
	Se utiliza BIM para gestionar los cambios del alcance	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El modelo 3D es útil para visualizar los cambios.</li> <li>▪ BIM podría ser de gran utilidad para los procesos de comunicación.</li> </ul>
	Los cambios del alcance se incluyen en BIM	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es necesario transmitir cambios por adendas o inclusión de terceras partes, por ejemplo.</li> </ul>

Tabla 29: comentarios de los profesionales entrevistados para cada punto evaluado en alcance  
Fuente: elaboración propia

Área	Puntos evaluados	Comentarios de los profesionales entrevistados
Tiempo	La metodología BIM se utiliza en la generación del cronograma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Casi siempre se genera por juicio de experto, cantidades disponibles y CAPEX.</li> <li>▪ BIM sería de gran utilidad para simulaciones en distintos instantes y estudiar secuencias.</li> <li>▪ El Mandante, muchas veces, tiene un programa maestro preestablecido, el cual se ratifica o modifica en conjunto con el contratista principal.</li> </ul>
	Se utiliza BIM en la planificación de las actividades	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Generalmente, se planifican mediante juicio experto.</li> <li>▪ En la mayoría de los casos, las actividades en detalle son planificadas por los mismos contratistas responsables.</li> <li>▪ Cuando se ha utilizado BIM, se ha hecho solo para paquetes de actividades específicos.</li> </ul>
	En el cronograma se incluyen los entregables de BIM	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Generalmente, se incluyen revisiones del Modelo, informes, entregables de ingeniería, entre otros.</li> </ul>
	El Modelo integra el cronograma (4D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Experiencia con integración del cronograma de ingeniería.</li> <li>▪ La mayoría de los casos ha sido de forma parcial.</li> <li>▪ Se ha realizado solo para efectuar simulaciones.</li> </ul>
	Se utiliza BIM (herramientas) para controlar el cronograma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se utilizan softwares independientes (<i>Primavera</i>, por ejemplo) y luego se unifica información.</li> <li>▪ A veces, se utilizan revisiones del Modelo para efectuar comparaciones y control en las actividades.</li> </ul>
	El Modelo se utiliza para controlar el cronograma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se ha utilizado para reflejar cambios en secuencias o programación de actividades.</li> <li>▪ Se ha utilizado para ver avance de etapas y secuencias de montaje.</li> </ul>
	Se considera el Modelo al efectuar modificaciones al cronograma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Experiencia con Modelo vinculado al cronograma, por lo que hay actualizaciones automáticas.</li> <li>▪ Solo para modificaciones de cantidades.</li> </ul>

Tabla 30: comentarios de los profesionales entrevistados para cada punto evaluado en tiempo  
Fuente: elaboración propia

Área	Puntos evaluados	Comentarios de los profesionales entrevistados
Costo	Se considera el Modelo para generar la Estimación del presupuesto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se utiliza el juicio de expertos, mediante el chequeo con alcance.</li> <li>Se generan modelos, pero son simples y para estimar parcialmente.</li> </ul>
	Se utiliza la metodología BIM para la elaboración del CAPEX	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se utilizan resultados del Modelo.</li> <li>Se observa gran utilidad en BIM respecto a su uso como base de datos.</li> </ul>
	Se utiliza la metodología BIM para la elaboración del OPEX	<ul style="list-style-type: none"> <li>Podría utilizarse, pero por el cliente o quien opere el proyecto.</li> <li>No se vislumbra mucho aporte de BIM.</li> </ul>
	Los costos y presupuesto son incluidos en el Modelo (5D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las tolerancias (o <i>allowances</i>) dependen del nivel de información, que puede ser mayor con el uso de BIM.</li> <li>Se incluyen algunos “itemizados” y plantillas de costos.</li> </ul>
	Los cambios en el CAPEX se incluyen en el Modelo (5D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los cambios más comunes de inclusión tienen que ver con las cantidades, respecto al alcance preestablecido.</li> </ul>
	Los cambios en el OPEX se incluyen en el Modelo (5D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si el Modelo ya se encuentra entregado, surge el problema de quién lo sigue modificando (perspectiva del Mandante).</li> </ul>

Tabla 31: comentarios de los profesionales entrevistados para cada punto evaluado en costo  
Fuente: elaboración propia

Área	Puntos evaluados	Comentarios de los profesionales entrevistados
Calidad	Se utiliza el Modelo para la elaboración del PAC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mayor uso de la metodología que del Modelo BIM.</li> </ul>
	El PAC incluye BIM y/o el Modelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Experiencia con procedimientos BIM creados, pero aún no aplicados.</li> <li>Metodología y medición de los modelos.</li> </ul>
	Los requisitos de calidad se encuentran en el Modelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>BIM puede ser útil, ya que comprende una gran base de información.</li> </ul>
	Los requisitos de calidad se comunican mediante BIM	<ul style="list-style-type: none"> <li>BIM puede ser útil, ya que comprende una gran base de información.</li> </ul>
	BIM entrega herramientas para el control de calidad de ingeniería	<ul style="list-style-type: none"> <li>BIM permite mejorar la calidad de los entregables de ingeniería.</li> <li>Las entregas, con BIM, podría ser automática.</li> <li>Se ve un aporte en el uso del Modelo BIM.</li> </ul>
	BIM entrega herramientas para el control de calidad de construcción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plataformas en terreno BIM serían útiles.</li> <li>Se podrían controlar requisitos específicos.</li> <li>BIM sería más beneficioso en el control de calidad “administrativo” que en los productos de la obra.</li> <li>El Modelo podría ser útil en planta.</li> </ul>

Tabla 32: comentarios de los profesionales entrevistados para cada punto evaluado en calidad  
Fuente: elaboración propia

### 4.3. Resultados de las encuestas

Las encuestas buscan obtener información para analizar los cambios que BIM induce en los proyectos de ingeniería y construcción, en sus procesos de planificación y control, de una forma menos específica y detallada que las entrevistas, pero a la vez más amplia y diversa. Además, la encuesta fue planteada para obtener el nivel de conocimiento y la percepción de los distintos profesionales sobre BIM.

Como ya se mencionó anteriormente, la encuesta fue desarrollada mediante la plataforma de formularios **Google Forms**, y fue distribuida por distintos canales digitales (publicaciones en sitios web, correos electrónicos, difusión por parte de Extensión Civil de la Universidad de Chile, entre otros).

A continuación, se muestran los gráficos que representan el perfil de los 52 encuestados:



Figura 61: área de desempeño de los encuestados  
Fuente: elaboración propia, mediante Google Forms

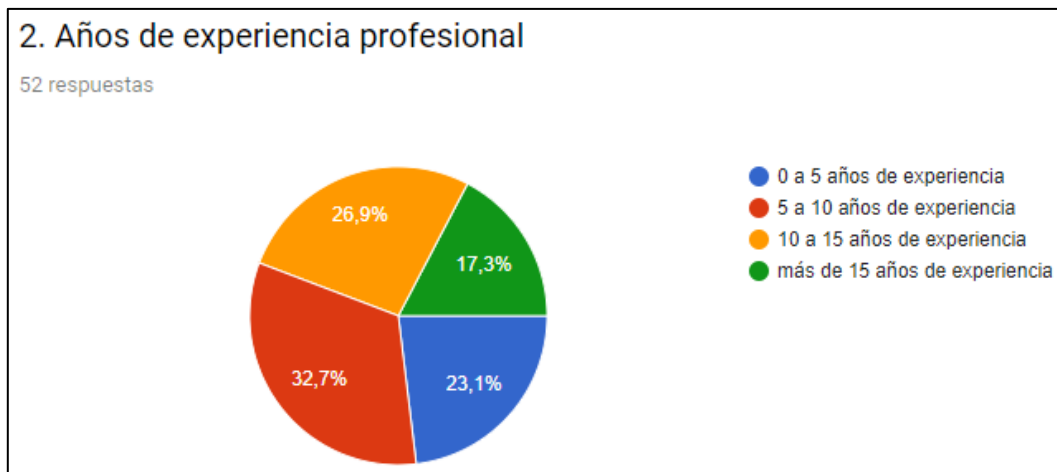


Figura 62: años de experiencia profesional de los encuestados  
Fuente: elaboración propia, mediante Google Forms

### 3. A su juicio, ¿Qué nivel de conocimiento tiene del Project Management?

52 respuestas

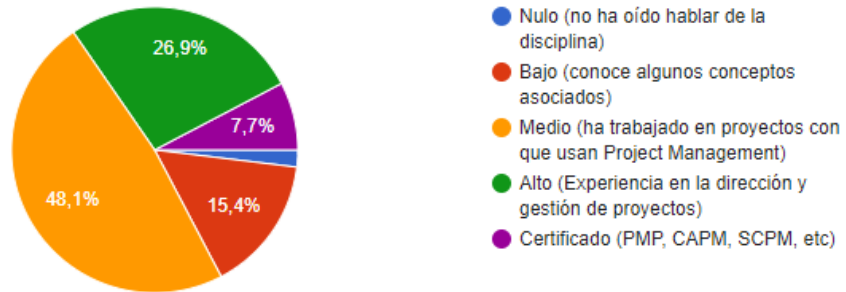


Figura 63: juicio del encuestado sobre su conocimiento del Project Management  
Fuente: elaboración propia, mediante Google Forms

### 4. Seleccione las casillas correspondientes a los tipos de proyectos en que ha participado (puede seleccionar más de una opción):

52 respuestas

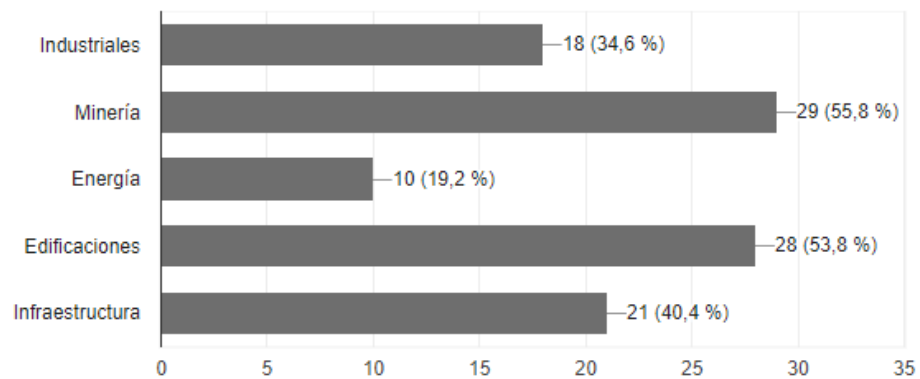


Figura 64: tipos de proyecto en los que han participado los encuestados  
Fuente: elaboración propia, mediante Google Forms

### 5. Seleccione según su experiencia laboral y/o conocimiento de las siguientes áreas:

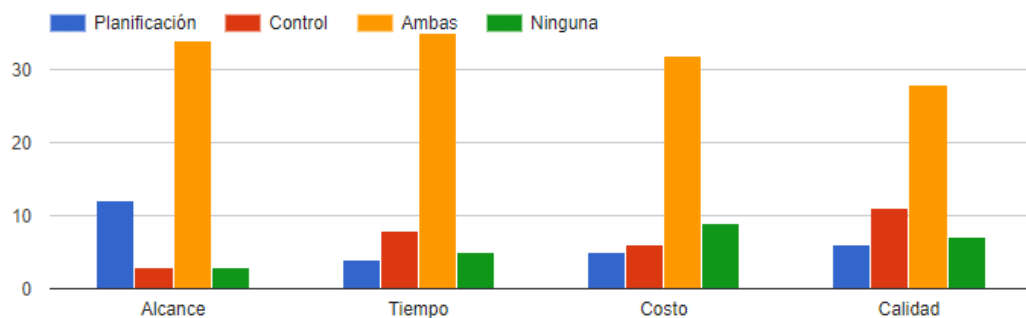


Figura 65: experiencia y conocimiento de los encuestados en la planificación y control de proyectos  
Fuente: elaboración propia, mediante Google Forms

Posteriormente, se consultó a los encuestados sobre su nivel de conocimiento BIM y uso de softwares relacionados:

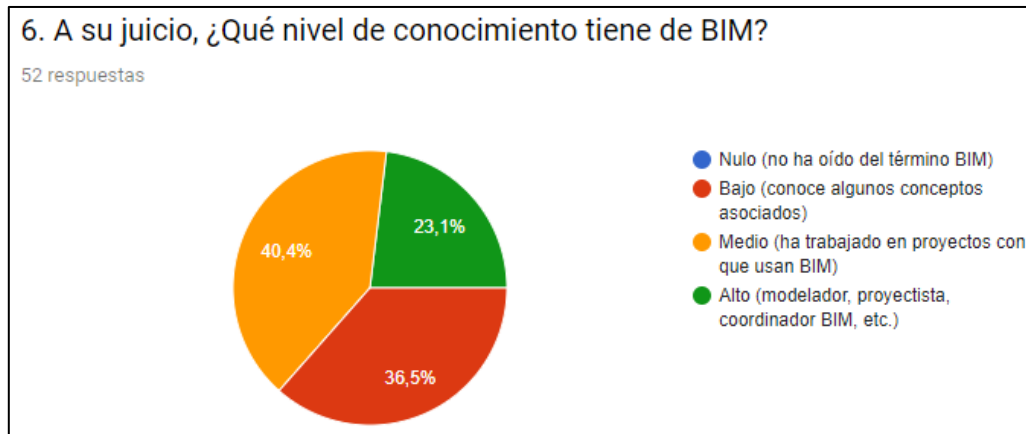


Figura 66: juicio de los encuestados sobre su nivel de conocimiento de BIM  
Fuente: elaboración propia, mediante Google Forms

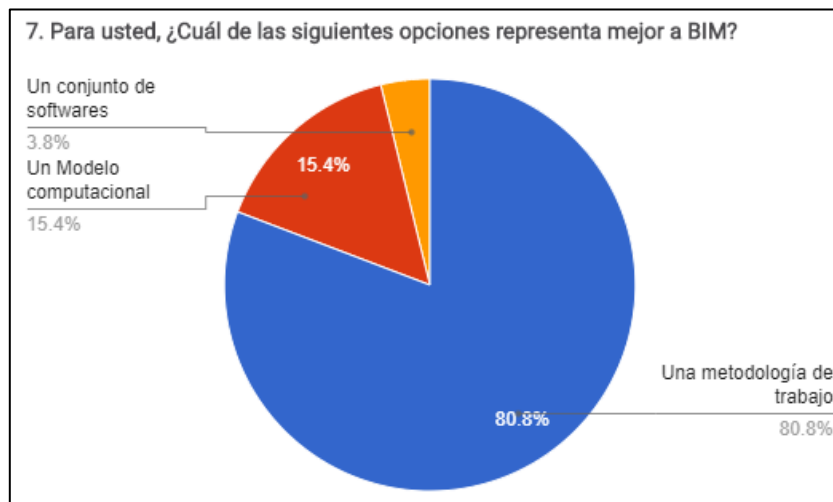


Figura 67: mejor definición de BIM según encuestados  
Fuente: elaboración propia, mediante Google Forms

Realizando una revisión más detallada, se advierte que quienes indican un conocimiento “Alto” de BIM concuerdan en que la mejor definición de este concepto corresponde a una metodología de trabajo. Por otro lado, dentro del 15.4% que reconoce a BIM como un modelo computacional, la mitad (4 personas) señala un nivel medio de conocimiento de BIM.

Software	Experiencia de uso			
	No lo ha utilizado	Usuario indirecto	Usuario ocasional	Usuario regular
Revit	16	18	8	10
ArchiCAD	35	14	2	1
Navisworks	17	13	13	9
Tekla Structures	32	12	7	1
SmartPlant	36	7	4	5
Inroads	41	10	0	1
Intergraph Smart 3D	45	5	0	2
AutoCAD	1	5	15	31
PDMS	44	3	3	2

Tabla 33: respuestas de encuestados sobre su experiencia con algunos “softwares BIM”  
Fuente: elaboración propia

La tabla anterior expone la experiencia de los encuestados en el uso de ciertos softwares reconocibles como “softwares BIM”, ya que permiten trabajar como requiere la metodología. Es posible observar que el software con mayor número de usuarios regulares (dentro de los encuestados) es AutoCAD, seguido por Revit y Navisworks.

Los encuestados respondieron preguntas relativas al uso de BIM en la planificación y control de proyectos, respecto al alcance, tiempo costo y calidad. Las siguientes tablas muestran la cantidad de respuestas para cada pregunta,

Preguntas planificación	Nunca	Ocasionalmente	Frecuentemente	Casi siempre
¿Se genera un Modelo específico para la elaboración de propuestas?	19	<b>21</b>	5	7
¿Se utiliza BIM para la evaluación de alternativas?	16	<b>22</b>	10	4
¿Se utiliza BIM para la elaboración del WBS (estructura de desglose del trabajo)?	<b>23</b>	21	5	3
¿Se utiliza BIM para elaborar el cronograma y definir las actividades?	<b>23</b>	17	8	4
En el cronograma, ¿se incluyen los entregables del Modelo (BIM)?	15	<b>16</b>	<b>16</b>	5
El Modelo (BIM), ¿integra el cronograma (BIM 4D)?	<b>23</b>	18	10	1
¿Se utiliza el Modelo para elaborar el Estimado de Costos?	<b>25</b>	13	10	4
¿Se utiliza BIM para la elaboración del CAPEX (gastos de capital) y/u OPEX?	<b>31</b>	12	6	3
Los costos y presupuestos del proyecto, ¿son incluidos en el Modelo (BIM 5D)?	<b>28</b>	18	4	2
¿Está incluido BIM en el Plan de Calidad (PAC)?	<b>35</b>	9	4	4
¿Se utiliza BIM para comunicar los requisitos y objetivos de Calidad?	<b>33</b>	10	6	3

Tabla 34: respuestas de los encuestados sobre el uso de BIM en la planificación de proyectos  
Fuente: elaboración propia

Preguntas control	Nunca	Ocasionalmente	Frecuentemente	Casi siempre
BIM, ¿aporta herramientas para controlar el Alcance?	7	11	<b>19</b>	15
¿Se utiliza el Modelo (BIM) para gestionar los cambios del Alcance?	10	15	<b>18</b>	9
¿Se actualiza el Modelo (BIM) con los cambios en el Alcance?	10	12	<b>21</b>	9
BIM, ¿aporta herramientas para controlar el cronograma?	11	<b>15</b>	14	12
¿Se utiliza el Modelo para gestionar cambios en el cronograma?	<b>17</b>	16	13	6
Los cambios del CAPEX, ¿se incluyen en el Modelo (BIM 5D)?	<b>27</b>	14	8	3
Los cambios del OPEX, ¿se incluyen en el Modelo (BIM 5D)?	<b>28</b>	15	7	2
BIM, ¿entrega herramientas para el control de la Calidad de Ingeniería?	<b>19</b>	6	18	9
BIM, ¿entrega herramientas para el control de la Calidad de Construcción?	<b>18</b>	9	16	9

Tabla 35: respuestas de los encuestados sobre el uso de BIM en el control de proyectos  
Fuente: elaboración propia

Finalmente, se consulta a los encuestados sobre su percepción sobre el uso de BIM en los procesos de planificación y control de proyectos, además de los posibles beneficios que trae consigo. Las respuestas se representan en las siguientes figuras:

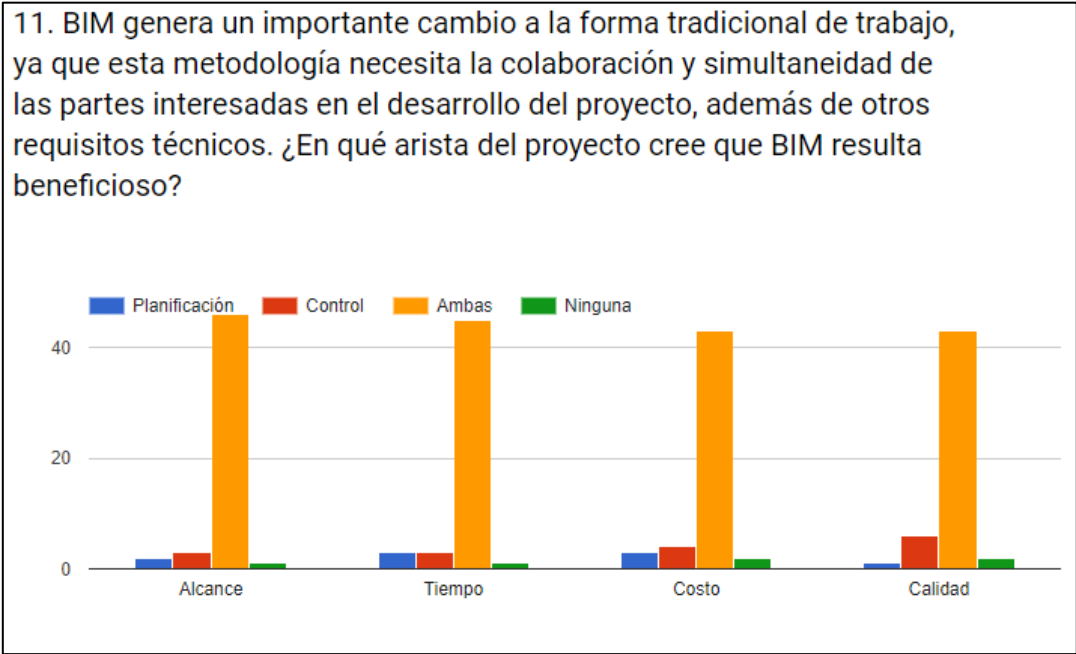


Figura 68: procesos en los que encuestados observan beneficios del uso de BIM  
Fuente: elaboración propia, mediante Google Forms

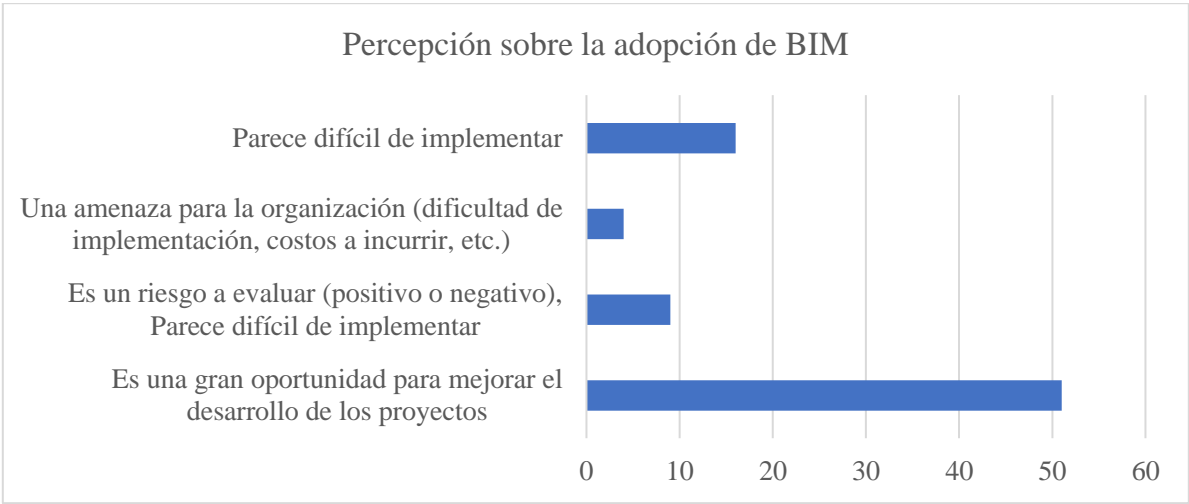


Figura 69: percepción de los encuestados sobre la implementación de BIM  
Fuente: elaboración propia

Expuestos los resultados totales de la encuesta, a continuación, se mostrarán los resultados filtrados según el enfoque y necesidades del presente trabajo de título.

Primero, se filtrarán los resultados con aquellos profesionales que indicaron un conocimiento de nivel “Alto” y “Certificado” sobre el *Project Management* (18 personas). En adelante, solo para efectos de redacción, este grupo se denominará “*Profesionales Project Management*”.

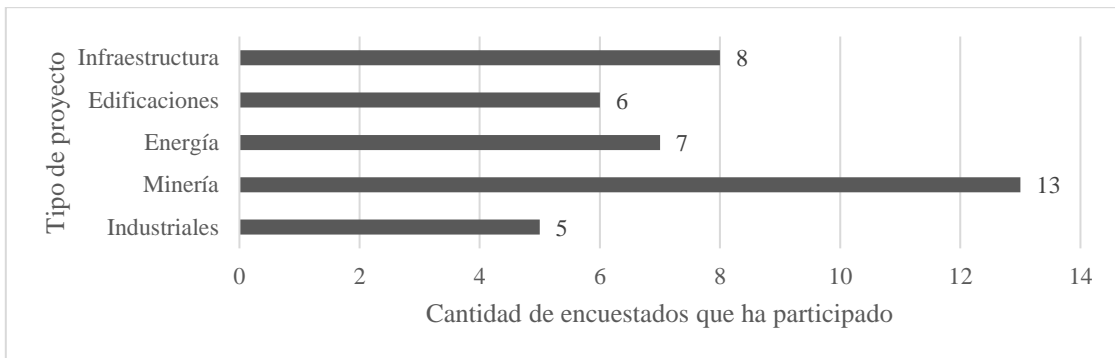


Figura 70: tipos de proyecto en los que han participado los “Profesionales Project Management”  
Fuente: elaboración propia

Área	Planificación	Control
Alcance	18	16
Tiempo	17	16
Costo	15	16
Calidad	12	14

Tabla 36: “Profesionales Project Management” y su conocimiento en las áreas de estudio  
Fuente: elaboración propia

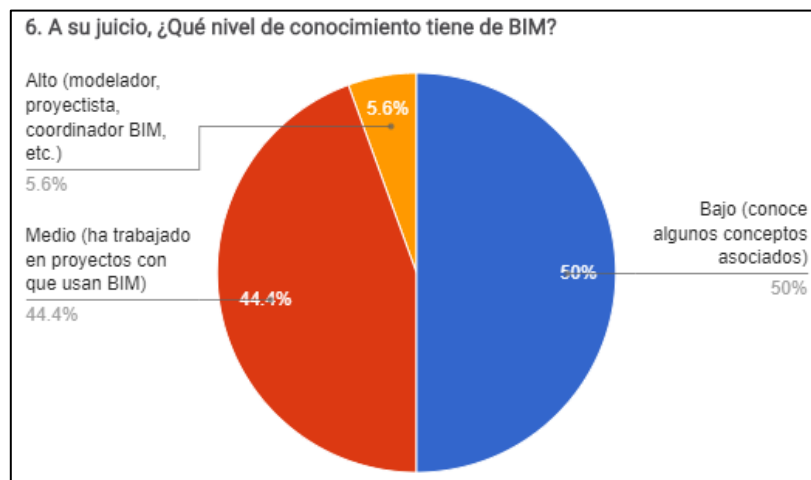


Figura 71: juicio de los “Profesionales Project Management” sobre su nivel de conocimiento de BIM  
Fuente: elaboración propia, mediante Google Forms

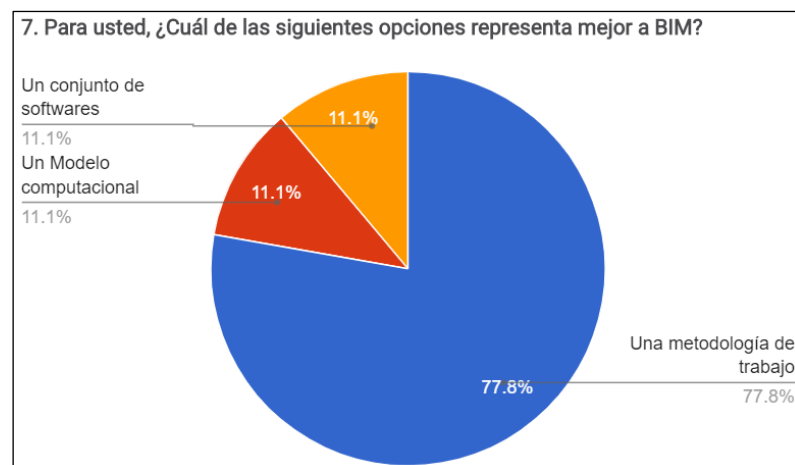


Figura 72: mejor definición de BIM según “Profesionales Project Management”  
Fuente: elaboración propia, mediante Google Forms



<b>Preguntas planificación</b>	<b>Nunca</b>	<b>Ocasionalmente</b>	<b>Frecuentemente</b>	<b>Casi siempre</b>
¿Se genera un Modelo específico para la elaboración de propuestas?	9	6	1	2
¿Se utiliza BIM para la evaluación de alternativas?	7	7	4	0
¿Se utiliza BIM para la elaboración del WBS (estructura de desglose del trabajo)?	9	8	0	1
¿Se utiliza BIM para elaborar el cronograma y definir las actividades?	9	6	2	1
En el cronograma, ¿se incluyen los entregables del Modelo (BIM)?	5	4	8	1
El Modelo (BIM), ¿integra el cronograma (BIM 4D)?	9	4	5	0
¿Se utiliza el Modelo para elaborar el Estimado de Costos?	11	4	1	2
¿Se utiliza BIM para la elaboración del CAPEX (gastos de capital) y/u OPEX?	11	6	0	1
Los costos y presupuestos del proyecto, ¿son incluidos en el Modelo (BIM 5D)?	9	8	0	1
¿Está incluido BIM en el Plan de Calidad (PAC)?	13	2	1	2
¿Se utiliza BIM para comunicar los requisitos y objetivos de Calidad?	12	2	2	2

Tabla 37: respuestas de los “Profesionales Project Management” sobre el uso de BIM en la planificación de proyectos  
Fuente: elaboración propia

<b>Preguntas control</b>	<b>Nunca</b>	<b>Ocasionalmente</b>	<b>Frecuentemente</b>	<b>Casi siempre</b>
BIM, ¿aporta herramientas para controlar el Alcance?	2	5	5	6
¿Se utiliza el Modelo (BIM) para gestionar los cambios del Alcance?	5	5	5	3
¿Se actualiza el Modelo (BIM) con los cambios en el Alcance?	5	4	6	3
BIM, ¿aporta herramientas para controlar el cronograma?	5	6	2	5
¿Se utiliza el Modelo para gestionar cambios en el cronograma?	8	3	4	3
Los cambios del CAPEX, ¿se incluyen en el Modelo (BIM 5D)?	9	4	4	1
Los cambios del OPEX, ¿se incluyen en el Modelo (BIM 5D)?	11	5	1	1
BIM, ¿entrega herramientas para el control de la Calidad de Ingeniería?	6	2	6	4
BIM, ¿entrega herramientas para el control de la Calidad de Construcción?	7	2	6	3

Tabla 38: respuestas de los “Profesionales Project Management” sobre el uso de BIM en el control de proyectos  
Fuente: elaboración propia

<b>Área</b>	<b>Ninguna</b>	<b>Planificación</b>	<b>Control</b>	<b>Ambas</b>
Alcance	0	2	1	15
Tiempo	0	1	1	16
Costo	1	1	3	13
Calidad	1	1	3	13

Tabla 39: procesos en los que los “Profesionales Project Management” ven beneficiosos el uso de BIM  
Fuente: elaboración propia

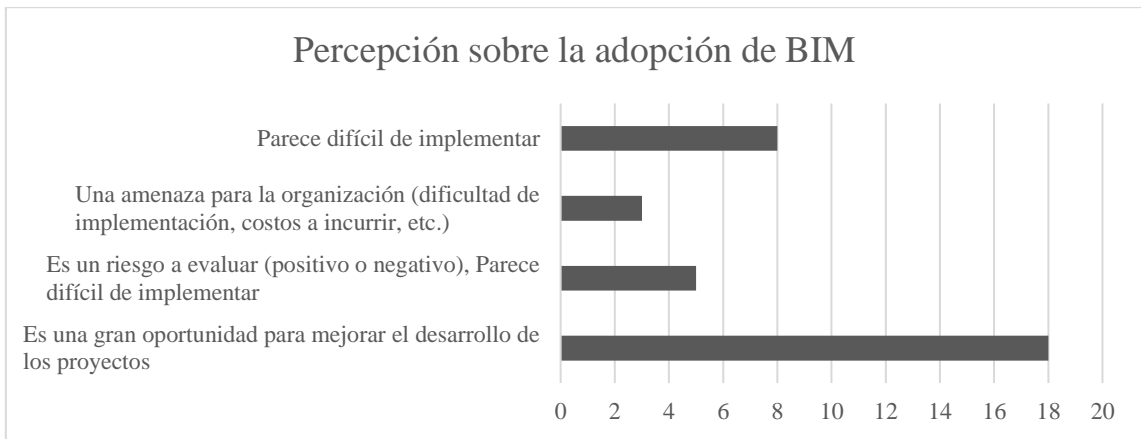


Figura 73: percepción de los “Profesionales Project Management” sobre la implementación de BIM  
Fuente: elaboración propia

En segundo lugar, se filtrarán los resultados con aquellos profesionales que indicaron un conocimiento de nivel “Alto” sobre BIM (12 personas). En adelante, solo para efectos de redacción, este grupo se denominará “Profesionales BIM”.

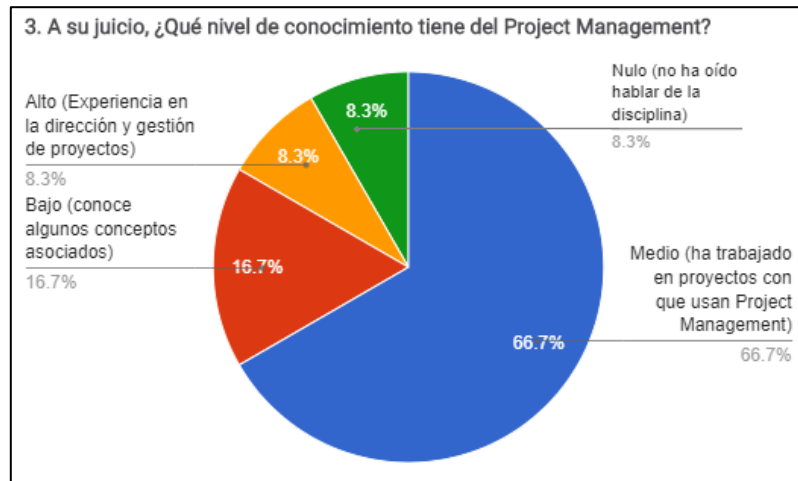


Figura 74: juicio de los “Profesionales BIM” sobre su conocimiento del Project Management  
Fuente: elaboración propia, mediante Google Forms

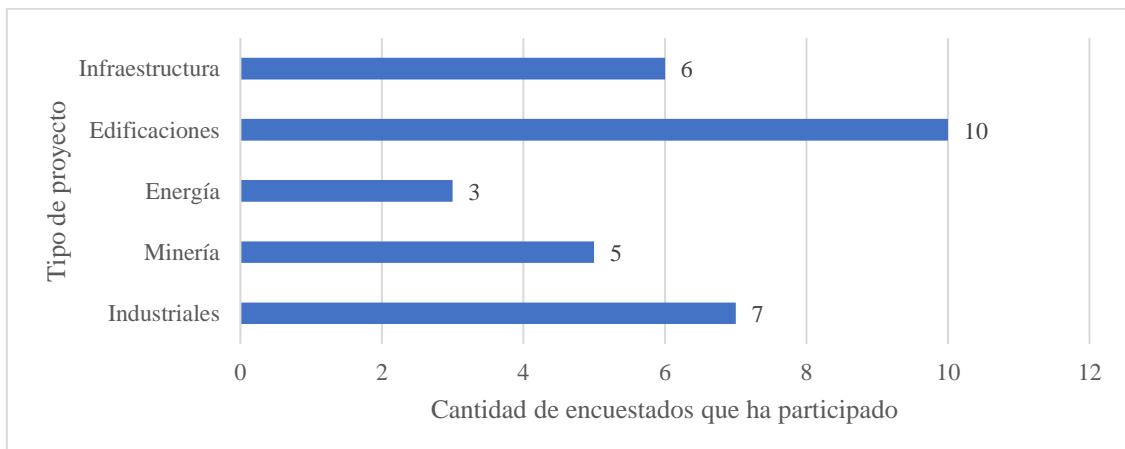


Figura 75: tipos de proyecto en los que han participado los “Profesionales BIM”  
Fuente: elaboración propia

Área	Planificación	Control
Alcance	11	7
Tiempo	8	10
Costo	7	7
Calidad	8	9

Tabla 40: "Profesionales BIM" y su conocimiento en las áreas de estudio  
Fuente: elaboración propia

Software	Experiencia de uso			
	No lo ha utilizado	Usuario indirecto	Usuario ocasional	Usuario regular
Revit	0	1	1	10
ArchiCAD	6	4	1	1
Navisworks	2	0	2	8
Tekla Structures	3	5	3	1
SmartPlant	6	1	2	3
Inroads	7	4	0	1
Intergraph Smart 3D	9	1	0	2
AutoCAD	0	1	0	11
PDMS	7	2	1	2

Tabla 41: respuestas de "Profesionales BIM" sobre su experiencia con algunos "softwares BIM"  
Fuente: elaboración propia

Preguntas planificación	Nunca	Ocasionalmente	Frecuentemente	Casi siempre
¿Se genera un Modelo específico para la elaboración de propuestas?	1	4	2	5
¿Se utiliza BIM para la evaluación de alternativas?	0	4	4	4
¿Se utiliza BIM para la elaboración del WBS (estructura de desglose del trabajo)?	2	6	3	1
¿Se utiliza BIM para elaborar el cronograma y definir las actividades?	3	4	3	2
En el cronograma, ¿se incluyen los entregables del Modelo (BIM)?	2	3	5	2
El Modelo (BIM), ¿integra el cronograma (BIM 4D)?	1	6	4	1
¿Se utiliza el Modelo para elaborar el Estimado de Costos?	2	5	2	3
¿Se utiliza BIM para la elaboración del CAPEX (gastos de capital) y/u OPEX?	5	3	4	0
Los costos y presupuestos del proyecto, ¿son incluidos en el Modelo (BIM 5D)?	4	5	2	1
¿Está incluido BIM en el Plan de Calidad (PAC)?	7	2	1	2
¿Se utiliza BIM para comunicar los requisitos y objetivos de Calidad?	5	2	3	2

Tabla 42: respuestas de los "Profesionales BIM" sobre el uso de BIM en la planificación de proyectos  
Fuente: elaboración propia

Preguntas control	Nunca	Ocasionalmente	Frecuentemente	Casi siempre
BIM, ¿aporta herramientas para controlar el Alcance?	1	2	4	5
¿Se utiliza el Modelo (BIM) para gestionar los cambios del Alcance?	1	3	5	3
¿Se actualiza el Modelo (BIM) con los cambios en el Alcance?	1	4	4	3
BIM, ¿aporta herramientas para controlar el cronograma?	0	1	8	3
¿Se utiliza el Modelo para gestionar cambios en el cronograma?	1	5	4	2
Los cambios del CAPEX, ¿se incluyen en el Modelo (BIM 5D)?	4	5	2	1
Los cambios del OPEX, ¿se incluyen en el Modelo (BIM 5D)?	4	5	3	0
BIM, ¿entrega herramientas para el control de la Calidad de Ingeniería?	2	0	6	4
BIM, ¿entrega herramientas para el control de la Calidad de Construcción?	2	0	5	5

Tabla 43: respuestas de los "Profesionales BIM" sobre el uso de BIM en el control de proyectos  
Fuente: elaboración propia

Área	Ninguna	Planificación	Control	Ambas
Alcance	0	1	0	11
Tiempo	0	1	1	10
Costo	0	0	1	11
Calidad	0	0	1	11

Tabla 44: procesos en los que los "Profesionales BIM." ven beneficiosos el uso de BIM  
Fuente: elaboración propia

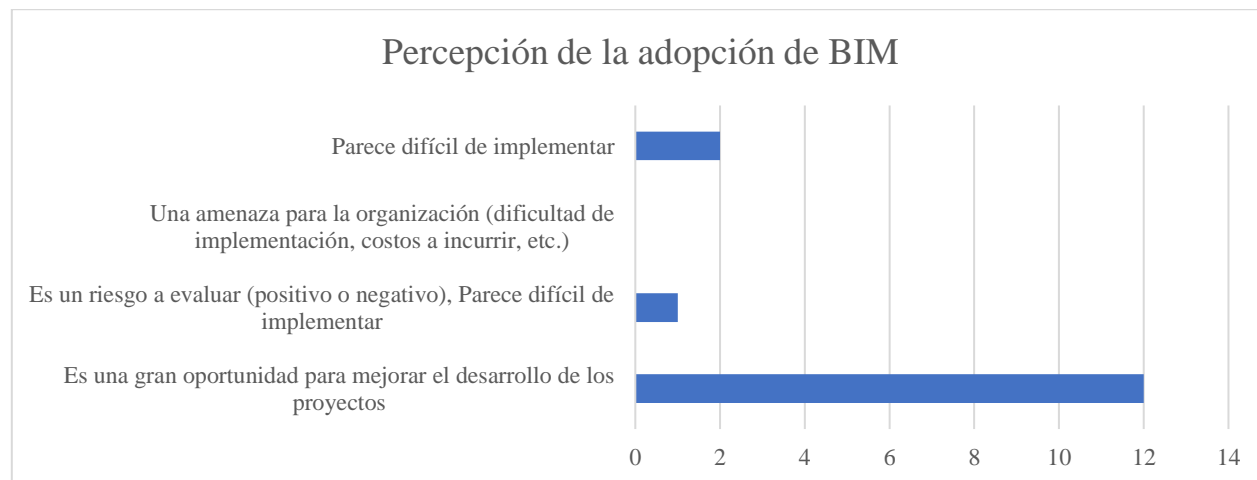


Figura 76: percepción de los "Profesionales BIM." sobre la implementación de BIM  
Fuente: elaboración propia

Los resultados selectos pretenden otorgar la visión de los profesionales con gran conocimiento y experiencia en el *Project Management* sobre el uso de BIM y, por otro lado, la visión desde los profesionales con gran conocimiento y experiencia en BIM sobre el uso de esta metodología en prácticas de la dirección de proyectos. Los resultados de la encuesta son analizados en el siguiente capítulo.

#### 4.4. Estudio de proyectos

El estudio de proyectos busca brindar información para realizar un análisis comparativo entre las metodologías utilizadas de planificación y control en proyectos con y sin BIM. Esta actividad contempla el análisis de varios proyectos y destaca los aspectos más relevantes de la gestión del proyecto, respecto a las áreas del conocimiento del *Project Management* en estudio.

Las siguientes tablas muestran la información disponible en la web de los proyectos a analizar. Primero, se exponen aquellos proyectos sin el uso de BIM, para luego presentar aquellos donde sí se ha utilizado la metodología.

Proyecto n°1	
Nombre del proyecto:	London Heathrow Terminal 3 – PIER 6
Tipo de proyecto:	Aeroportuario
Ubicación:	Londres, Inglaterra
Año inicio del proyecto:	Julio 2003
Aspectos relevantes en la planificación y control del proyecto:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un WBS de 5 niveles fue establecido por un equipo de profesionales.</li> <li>▪ De la misma forma, se generó una estructura de desglose de los costos (CBS).</li> <li>▪ Programa Maestro en función de los requerimientos de los <i>stakeholders</i> y usando información disponible (entre esta, el WBS).</li> <li>▪ Herramientas utilizadas en el proyecto: <i>Cascade</i> (software usado por cliente para cartera de inversiones), <i>MS Project</i> (utilizando WBS y cronogramas de las partes), <i>PMS/ASite</i> (herramienta de gestión documental), <i>Last Planner</i> y distintas herramientas de contratistas y abastecedores.</li> <li>▪ Reportes del valor ganado (EVM) e índices de desempeño (CPI, SPI, KPI).</li> </ul>

Tabla 45: ficha proyecto 1: London Heathrow Terminal 3 – Pier 6

Fuente: Antoniadis, D. (2004)

Proyecto n°2	
Nombre del proyecto:	Hotel Restort & SPA Vines of Mendoza
Tipo de proyecto:	Edificación
Ubicación:	Mendoza, Argentina
Año inicio del proyecto:	2011
Aspectos relevantes en la planificación y control del proyecto:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ WBS utilizado como base para planificación, seguimiento y control del cronograma y costos.</li> <li>▪ Gestión del cronograma mediante varios softwares (MS Project, por ejemplo), reportes semanales, calendarios, curvas de progreso.</li> <li>▪ Uso de técnicas del valor ganado (EVM) para obtener indicadores de desempeño de costos y tiempo.</li> </ul>

Tabla 46: ficha proyecto 2: Vines of Mendoza

Fuente: Garay, M. & Olsina, C. (2013)

Proyecto n°3	
Nombre del proyecto:	Denver International Airport
Tipo de proyecto:	Aeroportuario
Ubicación:	Colorado, Estados Unidos
Año inicio del proyecto:	Septiembre 1989
Aspectos relevantes en la planificación y control del proyecto:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mandante se asesoró con 2 firmas de <i>Project Management</i>.</li> <li>▪ El diseño y construcción del proyecto se agruparon en siete categorías o áreas, generando un WBS.</li> <li>▪ Gran número de ordenes de cambio en el desarrollo del proyecto.</li> <li>▪ Uso de <i>Primavera Contract Management</i> y <i>Primavera Scheduling</i>.</li> </ul>

Tabla 47: ficha proyecto 3: Denver International Airport

Fuente: Kerzner, H. (2017) y Gallagher, D. (2013).

<b>Proyecto n°4</b>	
Nombre del proyecto:	Óxidos Encuentro
Tipo de proyecto:	Minería
Ubicación:	Antofagasta, Chile
Año inicio del proyecto:	2014
Aspectos relevantes en la planificación y control del proyecto:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Definición de un Plan de Aseguramiento de la Calidad (PAC).</li> <li>▪ En él se describen las actividades para su realización, alcance, requisitos y objetivos, responsabilidades, recursos, mediciones, indicadores, análisis de datos, mejoras, entre otras actividades.</li> </ul>

*Tabla 48: ficha proyecto 4: Óxidos Encuentro  
Fuente: BIFM (2015)*

<b>Proyecto n°5</b>	
Nombre del proyecto:	Durham Cathedral
Tipo de proyecto:	Edificación
Ubicación:	Durham, Inglaterra
Año inicio del proyecto:	Agosto 2014
Aspectos relevantes en la planificación y control del proyecto:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Levantamiento de estructural actual, traducido en modelo 3D rico en información.</li> <li>▪ Permitted creación de programas de mantenimiento.</li> <li>▪ Tecnología inmersiva aplicada.</li> <li>▪ Planificación y simulación de escenarios utilizando Revit.</li> <li>▪ Capacidad de tomar medidas precisas de volúmenes.</li> <li>▪ Uso de tecnología móvil en terreno para exploración y actualización del modelo.</li> <li>▪ Producción de visuales de calidad para comunicar futuras propuestas.</li> </ul>

*Tabla 49: ficha proyecto 5: Druham Cathedral  
Fuente: BIFM (2015)*

<b>Proyecto n°6</b>	
Nombre del proyecto:	Edificio laboratorios Universidad del Valle
Tipo de proyecto:	Edificación
Ubicación:	Cali, Colombia
Año inicio del proyecto:	Octubre 2017
Aspectos relevantes en la planificación y control del proyecto:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cantidades de obra calculadas de forma tradicional por consultor y, luego, mediante uso de Revit.</li> <li>▪ Modelación de superficie topográfica previa a edificio.</li> <li>▪ Modelación de cimientos, excavaciones, aceros de refuerzo, sistema estructural, entre otros.</li> <li>▪ Luego de modelación arquitectónica y de instalaciones, cantidades de obra fueron generadas desde Revit.</li> <li>▪ Detección de interferencias y correcciones previa a construcción.</li> <li>▪ Estimación de presupuestos y costos.</li> <li>▪ Modelo BIM 4D: capacidad de generar cronograma y simular procesos constructivos.</li> <li>▪ Exportación de datos a Navisworks y Microsoft Project.</li> <li>▪ Se generaron cantidades de obra más precisas, lo que llevó a presupuestos y programas de actividades más realistas.</li> </ul>

*Tabla 50: ficha proyecto 6: Edificio laboratorios Universidad del Valle  
Fuente: (Ramírez, J., 2018)*

Proyecto n°7	
Nombre del proyecto:	Foshan Municipal Public Culture Complex
Tipo de proyecto:	Edificación
Ubicación:	Guangdong, China
Año inicio del proyecto:	Diciembre 2008
Aspectos relevantes en la planificación y control del proyecto:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estructura organizacional basada en IPD (<i>Integrated Project Delivery</i>).</li> <li>▪ Simulación del uso de KanBIM (Sistema que combina <i>Lean Construction</i> y BIM) para el control de calidad (QC).</li> <li>▪ Cada <i>stakeholder</i> puede obtener el estatus en tiempo real de la construcción del proyecto y progreso a través de la plataforma BIM.</li> <li>▪ Se espera que participantes trabajen juntos y se comuniquen estrechamente.</li> <li>▪ Las discusiones y transmisión de información entre las partes se realizan mediante la plataforma BIM, logrando comentarios y actualizaciones en tiempo real.</li> <li>▪ Este sistema permite detección de interferencias, simulación del proceso constructivo, integración con database de proveedor.</li> <li>▪ Establecimiento de equipo de QC, procesos de autoinspección, aceptación, retrabajo y mejora.</li> </ul>

Tabla 51: ficha proyecto 7: Foshan Municipal Public Culture Complex  
Fuente: Liu, J. & Shi, G., (2017)

Proyecto n°8	
Nombre del proyecto:	Ejecución, reparación, conservación y operación de la obra pública fiscal denominada “Concesión Ruta 5 Tramo Los Vilos – La Serena”
Tipo de proyecto:	Vial
Ubicación:	Coquimbo, Chile
Año inicio del proyecto:	Mayo 2017 (llamado licitación)
Aspectos relevantes en la planificación y control del proyecto:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Múltiples requerimientos BIM para el desarrollo del proyecto. Entre estos: obtención de planos de los proyectos, gestión de datos para infraestructura, coordinación de especialidades y obtención de cantidades de obra.</li> <li>▪ Designación de “Encargados de BIM”, con funciones de: desarrollar plan de implementación BIM, liderar y coordinar el sistema BIM durante el diseño, construcción y explotación de la obra, generar reportes de desempeño, entre otras.</li> <li>▪ Requerimientos del Modelo BIM: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Reflejar íntegramente y en forma georreferenciada todos los proyectos de Ingeniería de Detalle.</li> <li>○ Integrar las especificaciones técnicas y funcionales de todos los componentes de la obra construida.</li> <li>○ Generar planos, inventarios con ubicación física georreferenciada de los elementos viales, reportes de seguimiento del Plan y Programa de Conservación vigente, historial de los elementos de la obra y análisis comparativo de su estado pasado y presente, así como también su proyección en el tiempo, tanto en representaciones gráficas del tipo 2D (bidimensional) como 3D (tridimensional).</li> <li>○ Permitir la coordinación entre el MOP y la Sociedad Concesionaria, para el cumplimiento de las obligaciones relacionadas con el diseño, construcción y conservación de las obras de la Concesión.</li> <li>○ Permitir la detección automática de conflictos o interferencias entre los diferentes componentes del Proyecto.</li> <li>○ Facilitar la supervisión y control del diseño, la construcción y conservación de las obras de la Concesión por parte del Inspector Fiscal y su asesoría.</li> <li>○ Obtener los planos As Built o de Construcción de la obra en conformidad a los establecido en las presentes Bases de Licitación</li> </ul> </li> </ul>

Tabla 52: ficha proyecto 8: Concesión Ruta 5 Tramo Los Vilos – La Serena  
Fuente: (MOP, 2017)

Proyecto n°9	
Nombre del proyecto:	Anaheim Regional Transportation Intermodal Center (ARTIC)
Tipo de proyecto:	Transporte
Ubicación:	California, Estados Unidos
Año inicio del proyecto:	2009
Aspectos relevantes en la planificación y control del proyecto:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ BIM utilizado para diseño y su comunicación a <i>stakeholders</i>.</li> <li>▪ Uso combinado de Revit, Rhino, CATIA y Navisworks.</li> <li>▪ Se logró certificación LEED platino.</li> <li>▪ BIM permitió coordinación eficiente durante diseño y construcción.</li> <li>▪ Contratista principal señala que el modelo BIM fue significativo para todos los contratistas, debido a los distintos requerimientos de diseño que permite efectuar.</li> <li>▪ El Mandante indica que BIM permite tener una instalación con información muy detallada. Además, señala que no todos los documentos tradicionales de construcción se produjeron usando BIM.</li> <li>▪ Se definieron usos de BIM y responsabilidades a los diversos actores (arquitectos, ingenieros, MEP, entre otros).</li> <li>▪ BIM permitió visualización del diseño, programación en instalaciones, detallamiento estructural, secuencias de montaje, generar documentación, etc.</li> </ul>

Tabla 53: ficha proyecto 9: ARTIC  
Fuente: Ogbamwen, J. (2016)

Proyecto n°10	
Nombre del proyecto:	Northumbria University
Tipo de proyecto:	Edificación
Ubicación:	Newcastle, Inglaterra
Año inicio del proyecto:	Julio 2010
Aspectos relevantes en la planificación y control del proyecto:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Uso de BIM para gestión del campus.</li> <li>▪ Desarrollo claro de los requerimientos para el uso de BIM, mediante formato IFC y Revit.</li> <li>▪ Modelo se utiliza para realización de pruebas y simulaciones, así como para comunicación comercial (marketing) e interna.</li> </ul>

Tabla 54: ficha proyecto 10: Northumbria University  
Fuente: BIFM (2015)

Los proyectos expuestos permiten identificar prácticas de la planificación y control de proyectos, con y sin el uso de BIM, para las áreas del conocimiento del *Project Management* de alcance, tiempo, costo y calidad.

El análisis de estos resultados se muestra en el siguiente capítulo, así como los de las demás metodologías de trabajo realizadas.



## 5. CAPÍTULO V: Análisis de resultados

### 5.1. Análisis de los resultados de la revisión bibliográfica

Desde la revisión bibliográfica se pudo apreciar que existen prácticas del *Project Management* que cobran mayor relevancia que otras para la industria de la construcción. Estas prácticas se replican en varios proyectos y, hasta el día de hoy, siguen ejecutándose. Aun así, no todas las organizaciones implementan estas formas de trabajo.

También fue posible identificar aquellas prácticas características de los distintos procesos de planificación y control en las cuatro áreas del conocimiento en estudio (alcance, tiempo, costo, calidad), las cuales se exponen en la **Tabla 25**. Es en base a estas prácticas que se generaron las entrevistas y encuestas, pues son las mayormente reconocidas y utilizadas en la industria, acorde a la revisión e investigación efectuada.

Por otro lado, se realizó la identificación de las prácticas y aplicaciones de la metodología BIM (**Tabla 26**), donde es posible notar que BIM ofrece herramientas nuevas que pueden modificar y/o ampliar las actuales prácticas sugeridas por el PMI. Un ejemplo de esto es la capacidad de visualización que permite el modelo BIM, con niveles de detalle distintos, para su uso en la planificación del alcance y la desagregación del proyecto por WBS.

Aun así, la revisión bibliográfica permite obtener una referencia teórica de estos posibles cambios y complementos, mas no su implementación ni uso efectivo. Por lo tanto, para ello es necesario recurrir, además, a las entrevistas, encuestas y estudio de proyectos.

### 5.2. Análisis de los resultados de las entrevistas

Las entrevistas entregaron resultados importantes respecto al uso real de BIM, para cada área de estudio, según la experiencia de los profesionales. Es posible notar que, hasta ahora, BIM no ha generado un gran impacto en las prácticas del *Project Management* para proyectos de gran envergadura (minería, energía, industria), pues la forma de trabajo se ha mantenido durante los años. La siguiente tabla muestra el análisis para el efecto de BIM en cada área del conocimiento estudiada, para los procesos de planificación y control.

Área	Planificación	Control
Alcance	Proceso se centra en determinar las actividades, evaluar alternativas y elaborar el WBS. Hasta ahora, BIM no ha tenido mayor influencia.	El proceso de basa en gestionar los cambios mediante ordenes de cambio. BIM ha tenido poco impacto en este proceso, pero se ve uso en el modelo para visualización de los cambios y comunicación.
Tiempo	El proceso se enfoca en planificar actividades (desde juicio experto y cantidades estimadas), generar el cronograma y determinar entregables. El efecto de BIM es, principalmente, su vinculación (ocasional y, a veces, parcial) del cronograma con el Modelo. Si bien no se ha dado en la mayoría de las experiencias relatadas, se ve como un beneficio.	Este proceso se centra en utilizar herramientas para controlar posibles desviaciones y corregir para ajustarse al cronograma. El software mayormente utilizado es <i>Primavera</i> . BIM se ha utilizado para visualizar secuencias constructivas y actualizar el modelo automáticamente, según los cambios del cronograma, aunque solo parcialmente.
Costo	Proceso corresponde a estimación de costos, elaboración de presupuestos, CAPEX y OPEX. El uso de BIM ha sido prácticamente nulo, dado que los estimados y presupuestos se realizan por juicio experto y técnicas tradicionales. Aun así, los profesionales ven a BIM como una herramienta útil para el control de datos y cubicación.	El proceso utiliza distintas herramientas, como el EVM, planillas de control, traspasos de capital entre bolsas, entre otras. Estos cambios se reflejan en la elaboración del CAPEX y en las ordenes de cambio realizadas. BIM no ha generado mayor impacto en esta actividad, pero su mayor uso se observa para la documentación, control de cantidades y entregables del control.
Calidad	Proceso se centra en generar el PAC. Frente a esto, el mayor aporte que los profesionales observan en BIM es la metodología de trabajo que propone y la base de información.	El proceso se centra utilizar herramientas para el control de ingeniería y construcción, reconocer problemas y tomar acciones, según lo establecido en el PAC, acorde a los requisitos planteados. BIM ha generado entregables de ingeniería de mayor calidad y la posibilidad de efectuar control en la construcción mediante herramientas tecnológicas que optimizan los procesos de comunicación de las no conformidades en obra. Aun así, no ha tenido mayor uso, acorde a las experiencias reunidas.

Tabla 55: análisis resultados de las entrevistas  
Fuente: elaboración propia

Existen varios puntos en común, sobre todo entre la metodología de trabajo que plantea BIM y la del *Project Management* (comunicación y participación de los distintos *stakeholders*, integración de especialidades, entre otros), pero no respecto al entorno basado en un modelo de información y simultaneidad de participación. Aun así, la mayoría de los profesionales han señalado que el principal y más importante uso de BIM es la colección y gestión de data e información centralizada, ya que esto permitiría optimizar muchos procesos y etapas en los proyectos de la industria, por lo que la principal barrera de su adopción es la implementación.

### 5.3. Análisis de los resultados de las encuestas

Las encuestas entregaron resultados valiosos respecto al uso de BIM, su nivel de implementación, relación con el *Project Management* y percepción de la metodología.

Se observa que los encuestados tienen una distribución equitativa en su área de desempeño, con un 42% perteneciente a la construcción y un 58% a ingeniería, así como en los años de experiencia profesional. Esto indica un universo de encuestados variado, global y con diversidad de experiencias.

Es posible notar que la mayoría de los encuestados indica un nivel “Medio” de conocimiento del *Project Management* (ha trabajado en proyectos que usan *Project Management*, pero no directamente en el área). Aun así, la mayoría indica experiencia en la planificación y control del alcance, tiempo, costo y calidad, siendo esta última área la con menor conocimiento de ambos procesos. Además, se han desempeñado, mayoritariamente, en proyectos de minería, edificación e industriales.

Respecto al conocimiento de BIM, la mayoría indica un conocimiento “Medio” (ha trabajado en proyectos que usan BIM) y señala que BIM corresponde a una metodología de trabajo. Esto muestra que el *Building Information Modeling* se entiende como una forma de trabajar por sobre un conjunto de softwares o un modelo computacional.

En relación a los posibles beneficios que genera el implementar BIM, la amplia mayoría de los encuestados señala que cree positivo el uso de la metodología tanto en la planificación como en el control del alcance, tiempo, costo y calidad. También se observa la percepción sobre la dificultad de implementación.

Para efectos del presente trabajo de título, se brindará mayor atención a las respuestas de quienes indicaron un nivel “Alto” y “Certificado” sobre el *Project Management* (35% del universo de encuestados), y los que señalaron un nivel “Alto” de conocimiento en BIM (23% del universo de encuestados). Esto, pues dichas respuestas son las que potencialmente reflejarán los mayores impactos entre metodologías. El análisis de las respuestas de estos dos grupos selectos, se exponen en las siguientes tablas.

<b>Concepto</b>		<b>Análisis de respuestas profesionales del Project Management</b>
Tipos de proyecto en los que ha participado		Muestran experiencia en distintos tipos de proyectos, con minería e infraestructura como los principales.
Conocimiento en las 4 áreas de estudio		Se observa que calidad es el área con menor conocimiento, especialmente en planificación
Conocimiento de BIM		Un 94% indica un nivel "bajo" o "medio", lo que habla de una relación débil de BIM con la disciplina. Aun así, un 78% entiende BIM como una metodología de trabajo.
Planificación	Alcance	Por lo general, no se generan modelos específicos para la elaboración de propuestas ni del WBS,
	Tiempo	En la mayoría de los casos, el cronograma no se genera desde BIM ni es integrado en el Modelo. Por el contrario, los entregables de BIM y el Modelo sí se incluyen en el cronograma.
	Costo	BIM tiene poco uso para la generación del estimado de costos, CAPEX y OPEX. Además, no hay mucha experiencia con costos integrados en el modelo.
	Calidad	BIM no ha generado gran impacto en la planificación de la calidad, pues el PAC lo incluye pocas veces y el modelo no se utiliza como medio de comunicación de requisitos y objetivos de calidad
Control	Alcance	Se observa el reconocimiento de que BIM aporta herramientas para controlar el alcance y gestionar sus cambios.
	Tiempo	BIM aporta herramientas para el control del cronograma, y, en menor medida, el modelo aporta en la gestión de cambios.
	Costo	Los cambios del CAPEX y OPEX, en la mayoría de los casos, no se ven reflejados en el modelo.
	Calidad	Se observa que BIM entrega herramientas para el control de calidad, tanto de ingeniería como de construcción.
Procesos en los que se ve beneficioso el uso de BIM		Los encuestados ven un uso beneficioso de BIM en la planificación y control de las 4 áreas en estudio.
Percepción sobre la adopción de BIM		BIM es reconocido como una oportunidad para mejorar el desarrollo de los proyectos, pero que consigo trae dificultades de implementación y riesgos a evaluar.

*Tabla 56: análisis de respuestas profesionales del Project Management  
Fuente: elaboración propia*

Concepto		Análisis de respuestas profesionales BIM
Nivel de conocimiento del Project Management		Mayoritariamente han trabajado en proyectos con uso de Project Management, pero sólo un 17% de manera directa, lo cual indica una débil relación con la disciplina.
Tipos de proyecto en los que ha participado		Los tipos de proyecto con mayor participación son los de edificaciones e industriales.
Conocimiento en las 4 áreas de estudio		Se observa que las áreas donde los encuestados declaran menor conocimiento son las de costos y calidad.
Experiencia con softwares		AutoCAD, Revit y Navisworks son los softwares con mayor cantidad de usuarios regulares, lo que puede deberse a su compatibilidad y uso complementario.
Planificación	Alcance	Es común utilizar BIM para evaluar alternativas y generar modelos para propuestas. Por otro lado, no es tan recurrente el uso de BIM para la generación del WBS.
	Tiempo	Se observa que BIM es considerado para definir las actividades y generar el cronograma, pero no es muy común que el modelo lo integra (BIM 4D).
	Costo	Se observa que BIM y el modelo se utilizan en la elaboración del estimado de costos, CAPEX y OPEX, pero no es lo más común.
	Calidad	La mayoría de los encuestados indica que el PAC no considera BIM. Por otra parte, BIM permite la comunicación de los requisitos y objetivos de calidad.
Control	Alcance	Se observa el reconocimiento de que BIM aporta herramientas para controlar el alcance y gestionar sus cambios.
	Tiempo	BIM aporta herramientas para el control del cronograma, y, en menor medida, el modelo aporta en la gestión de cambios.
	Costo	Los cambios del CAPEX y OPEX, ocasionalmente, se reflejan en el modelo.
	Calidad	Se observa que BIM entrega herramientas para el control de calidad, tanto de ingeniería como de construcción.
Procesos en los que se ve beneficioso el uso de BIM		Los encuestados ven un uso beneficioso de BIM en la planificación y control de las 4 áreas en estudio.
Percepción sobre la adopción de BIM		BIM es reconocido como una oportunidad para mejorar el desarrollo de los proyectos, pero que consigo trae dificultades de implementación y riesgos a evaluar.

Tabla 57: análisis de respuestas profesionales BIM  
Fuente: elaboración propia

Se observa que las respuestas para cada concepto en evaluación, en muchos casos, difieren. En primer lugar, es posible notar que existe una diferencia entre los tipos de proyecto con mayor experiencia de los encuestados, lo cual habla de en qué proyectos se han desarrollado de mayor forma el *Project Management* y BIM. Al ser distintos, se nota una lejanía en su interacción.

Respecto al alcance, se verifica que es primordial la generación del WBS y que el uso de modelos para propuestas no es muy utilizado en la minería, pero sí en edificaciones, lo cual puede deberse a los diferentes costos que significa efectuar el modelo. Se aprecia que BIM aporta herramientas para el control y gestión del alcance. Esto, puede ser mediante modelos para visualización de la situación actual y el aporte de canales de comunicación y traspaso de información.

También se observa una diferencia en el uso de BIM para efectuar el cronograma, lo cual podría deberse a la cantidad de actividades que tenga cada proyecto y la facilidad o dificultad de vinculación y secuencia que se otorgue. Lo que sí es común a los 2 grupos de encuestados, es la inclusión de los entregables BIM en el cronograma y el aporte de herramientas de control.

Respecto a los costos, se observan diferencias en el uso de BIM en la generación del estimado de costos, CAPEX y OPEX. Esto puede deberse a los tipos de costos a estimar, la forma en que se estiman, las cotizaciones necesarias de realizar, entre otros factores. Lo anterior, está muy condicionado al tipo de proyecto del cual se necesitan los costos, ya que, por ejemplo, en minería, es necesario considerar un gran número de variables para estimar el precio de un trabajo, material o equipo, por ejemplo. Por lo tanto, sin una base de datos contundente es difícil realizar estimaciones y elaborar presupuestos útiles.

Para calidad, BIM representa una plataforma que permite una comunicación óptima de la información, generando herramientas óptimas para el control de ingeniería y construcción, ya sea por los entregables o por la posibilidad de informar no conformidades desde terreno instantáneamente, por ejemplo. Aun así, BIM no ha afectado el desarrollo tradicional de los PAC y estos, solo algunas veces incluyen BIM y sus requisitos en su contenido.

#### **5.4. Análisis de los resultados del estudio de proyectos**

Junto con el desarrollo de la revisión bibliográfica, entrevistas y encuestas, se realizó un estudio de proyectos con el fin de obtener información para realizar una comparación entre las metodologías utilizadas en la planificación y control de proyectos con y sin BIM.

El estudio de proyectos desarrollado muestra distintos proyectos con distintos niveles de uso de BIM, puesto que hay proyectos que no lo han utilizado, otros que lo han hecho de forma parcial y, finalmente, otros que lo han desarrollado a lo largo del proyecto. Dada esta variedad de casos e información recabada, se genera las siguientes tablas (**Tabla 57** y **Tabla 58**), las cuales permiten unificar los aspectos relevantes en la planificación y control de los proyectos estudiados.

Es posible notar que la información recolectada varía acorde al área tratada. Si bien se estudiaron 9 proyectos distintos, aun así, hay poca información detallada disponible sobre los procesos de planificación y control que utilizaron. De cualquier forma, es posible establecer que hay diferencias en la planificación y control con y sin el uso de BIM, lo que se refleja en las prácticas nuevas y en la forma en que se han visto afectadas las prácticas convencionales.

	Área	Proyecto sin BIM	Proyecto con BIM
Planificación	Alcance	<ul style="list-style-type: none"> <li>WBS generado por equipo de profesionales, y se utiliza para la planificación del cronograma y costos.</li> <li>Definición de <i>stakeholders</i> y sus roles.</li> <li>Asesoría del Mandante mediante firmas de Project Management.</li> <li>Diseño y construcción basado en WBS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificación y simulación de escenarios.</li> <li>Establecimiento de requerimientos BIM (por ejemplo, formato IFC y uso de Revit).</li> <li>Mejora en la comunicación interna y comercial.</li> <li>Participación de <i>stakeholders</i> en las distintas etapas del proyecto.</li> <li>Designación de responsabilidades, entre ellas encargados de BIM.</li> <li>Obtención de certificación LEED.</li> </ul>
	Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programa se genera en función de requerimientos de <i>stakeholders</i> y acorde a lo planteado en el WBS.</li> <li>Softwares comunes para la planificación del cronograma: MS Project y Primavera.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generación de programas de mantención.</li> <li>Modelos BIM 4D: capacidad de integrar y generar el cronograma, además de simular procesos constructivos.</li> <li>Uso de softwares como Naviswork, MS Project y Primavera.</li> <li>Programas más realistas, debido a cantidades más precisas gracias al Modelo.</li> </ul>
	Costo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaboración de una estructura de desglose de costos (CBS) desde el WBS.</li> <li>Estimados de costos y cantidades desarrollados por profesionales en base a su experiencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estimaciones más precisas, por cantidades y volúmenes más exactos (uso del Modelo).</li> <li>Colección de información para otros proyectos.</li> </ul>
	Calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaboración de un Plan de calidad (PAC).</li> <li>Se establecen requisitos, objetivos, responsables y actividades a realizar durante el desarrollo del proyecto.</li> <li>Definición de procedimientos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Detección de interferencias y correcciones previa construcción.</li> <li>Planificar entregables y documentos a generar en base a requerimientos previos y mediante el Modelo.</li> </ul>

Tabla 58: aspectos relevantes del estudio de proyectos en la planificación  
Fuente: elaboración propia

	Área	Proyecto sin BIM	Proyecto con BIM
Control	Alcance	<ul style="list-style-type: none"> <li>El WBS es utilizado para el seguimiento y control de cronograma y los costos.</li> <li>Identificación de cambios mediante notas u ordenes de cambio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simulación de escenarios mediante Revit, para toma de decisiones en el desarrollo del proyecto.</li> <li>Producción de visuales de calidad para comunicar futuras propuestas.</li> <li>Cada <i>stakeholder</i> puede obtener el estatus en tiempo real de la construcción del proyecto y progreso a través de la plataforma BIM.</li> </ul>
	Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de MS Project y Primavera como softwares para el control del programa.</li> <li>Uso de técnicas de valor ganado (EVM) como herramientas de seguimiento y control del programa.</li> <li>Indicadores de desempeño (SPI).</li> <li>Elaboración de reportes semanales, calendarios y curvas de progreso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Control por cantidades, visual y, si es que hay vínculo establecido con el programa del proyecto, mediante en el Modelo.</li> <li>Simulación de procesos constructivos (por ejemplo, montaje de estructuras).</li> <li>Uso de softwares como Navisworks, Microsoft Project y Primavera.</li> </ul>
	Costo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de técnicas de valor ganado (EVM) como herramientas de seguimiento y control de los costos.</li> <li>Indicadores de desempeño (CPI).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaboración de presupuestos en base a cantidades.</li> <li>Gestión de cambios en base al Modelo y su información</li> </ul>
	Calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Herramientas de control de calidad tradicionales.</li> <li>Tablas para medición y otras plantillas.</li> <li>Uso de índices y procedimientos frente a no conformidades y oportunidades de mejora.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de tecnología móvil para actualizar modelo desde terreno.</li> <li>Establecimiento de equipo de QC, procesos de autoinspección, aceptación, retrabajo y mejora.</li> <li>Obtención de planos As-Built desde modelo.</li> </ul>

Tabla 59: aspectos relevantes del estudio de proyectos en el control

Fuente: elaboración propia



## **6. CAPÍTULO VI: Conclusiones y recomendaciones**

### **6.1. Conclusiones**

El presente trabajo de título busca identificar el impacto y cambios por el uso de la metodología BIM en los procesos de planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción, acorde a los lineamientos y prácticas propuestas por el PMI en el alcance, tiempo, costo y calidad del proyecto.

Para lo anterior, se utilizaron distintas herramientas de trabajo con el fin de cumplir con los objetivos establecidos y así lograr una revisión bibliográfica con los procesos de planificación y control clásicos y aquellos con el uso de BIM, determinar el impacto de BIM en estos procesos convencionales y sus ventajas, desventajas y recomendaciones.

Las conclusiones obtenidas se presentan a continuación:

- i. Gracias a la revisión bibliográfica fue posible identificar los elementos relevantes de los distintos procesos de planificación y control de alcance, tiempo, costo y calidad que usualmente se usan en proyectos de ingeniería y construcción, cumpliendo el “objetivo específico a)” planteado.

Dentro de las prácticas del *Project Management* destacan:

- Elaboración del WBS.
- Generación del cronograma y uso del método de la ruta crítica (CPM).
- Estimado de costos y presupuestos (CAPEX y OPEX).
- Plan del Aseguramiento de la Calidad (PAC) y diversas herramientas de control.

Es posible notar que muchas de las prácticas señaladas en la dirección de proyectos se han mantenido a lo largo de los años debido a los resultados positivos que se han logrado con su adopción. Asimismo, se ha notado la oportunidad y necesidad de mejora en algunas de ellas, en función los recursos tecnológicos y cognitivos actuales.

Respecto a las prácticas, aspectos y aplicaciones de BIM, resaltan las siguientes:

- Metodología que considera la interoperabilidad y colaboración entre las partes.
- Colección y gestión de la información de forma centralizada.
- Visualizaciones del Modelo modificables acorde al detalle a exponer.
- Detección temprana de interferencias.
- Cubicaciones, cantidades y generación de diversos entregables desde el Modelo.
- Capacidad de asociar tiempo y costo al Modelo (BIM 4D y 5D)

Si bien se observa que existen prácticas que podrían verse modificadas o reemplazadas de manera beneficiosa (por ejemplo, el generar un modelo central al que se le asocien el cronograma y presupuestos), no es más que un análisis teórico. Esto, debido a que, junto con la implementación de nuevas tecnologías y metodologías, como es BIM, siempre hay barreras de entrada y dificultades, lo que muchas veces lleva a la no adopción.

- ii. Las entrevistas permitieron reconocer las prácticas que han sido ejecutadas en varios proyectos de ingeniería y construcción, donde han tenido experiencia los entrevistados, y la forma en que BIM las ha impactado realmente.

Se verifica que BIM ha tenido un impacto menor en las prácticas de la gestión de proyectos que han desarrollado los entrevistados, pero que en el último tiempo ha ido en crecimiento. Como ya se ha señalado, existen puntos en común entre la metodología BIM y las prácticas del *Project Management*, principalmente en su forma de trabajo y relación con las demás partes, pero se diferencian fuertemente en el uso de un modelo central.

Los entrevistados manifestaron que el aspecto más atractivo del uso de BIM es la colección y gestión de la información, la cual puede ser de gran utilidad para varios procesos en la planificación y control del proyecto en desarrollo, así como para la generación de bases de datos utilizables para estimar de mejor manera los costos y elaborar planes más certeros de proyectos futuros.

Aun así, los entrevistados indican que la adopción íntegra de BIM es compleja, al menos, en la minería, debido a que son muchos los *stakeholders* involucrados, pero que es necesario comprender esta metodología de trabajo, puesto que podría ser un requerimiento del Mandante o dueño del proyecto.

- iii. Con las encuestas se logró obtener información respecto al uso de BIM, su nivel de implementación, relación con el *Project Management* y percepción de la metodología.

Se observa que BIM ha tenido un importante impacto en la ingeniería y construcción, pero solo en ciertos tipos de proyectos, como son los de edificación. Es importante notar que los profesionales que indicaron tener mayor conocimiento de la dirección de proyectos exponen mayor experiencia en proyectos de minería, rubro que ha sufrido un mucho menor impacto en sus prácticas de gestión por BIM.

Desde el análisis de los resultados, se verifica que BIM se ha implementado a escalas distintas en la industria de la construcción, variando en función del tipo o índole del proyecto. Se observa que BIM se ha adaptado con mayor fuerza en proyectos de edificación, los cuales son más “repetibles” y menos complejos (en gestión) que los mineros, debido a su envergadura y cantidad *stakeholders*.

También se desprende que BIM ha generado, mayormente, cambios y mejoras en las prácticas del control del proyecto. Lo anterior guarda relación con las varias funciones que proveen softwares como Revit o Navisworks para revisión y seguimiento de los procesos constructivos, los cuales pueden implementarse en un proyecto ya en desarrollo. Aun así, se observa que la metodología BIM brinda grandes beneficios en los procesos de planificación, principalmente en la definición de actividades y evaluación de alternativas.

- iv. Desde el análisis conjunto de las entrevistas y encuestas, fue posible analizar los cambios que la metodología BIM ha inducido en los proyectos de ingeniería y construcción, específicamente en los procesos de planificación y control del alcance, tiempo, costo y calidad. De tal forma, se cumple con el “objetivo específico b)”.

Además, se puede notar que los mayores cambios y aportes que genera BIM, en la planificación y control, se relacionan al alcance y tiempo, mientras que las prácticas en costo y calidad no han sufrido mayores modificaciones. Lo anterior, dado que se observa un gran uso de BIM para la visualización de cambios de alcance, actualizaciones y gestión de información, secuencias constructivas, vinculación a los planes y programas, entre otros. Por otro lado, el impacto de BIM en costo y calidad se remite, mayormente, a los informes de desempeño y reportes varios.

- v. El análisis del estudio de proyectos refuerza el planteamiento de que BIM se ha implementado en distintos tipos de proyecto, a distintos niveles de integración y con diversas aplicaciones.

Se verifica que, en aquellos proyectos donde se ha hecho uso de BIM, es fundamental contar con un flujo de datos e información eficiente y que pueda ser capitalizada desde el comienzo del proyecto y, de tal forma, utilizada a lo largo del desarrollo de este mediante las herramientas disponibles. Para esto, se requiere una relación interactiva, colaborativa y simultánea entre los distintos participantes del proyecto, ya que es necesario mantener constantemente actualizada la información del proyecto y, en aquellos casos donde BIM se encuentra mejor implementado, el Modelo central.

Además, se advierte que hay proyectos de gran envergadura que han resultado exitosos con el uso de BIM, pero teniendo definiciones de trabajo claras, compromiso de los *stakeholders* y cumpliendo los requisitos que BIM requiere. Lo anterior, indica que esta metodología de trabajo es adoptable para todo tipo de proyecto de ingeniería y construcción, solo que su forma es distinta.

Se advierte que BIM es una herramienta que ha generado un impacto positivo en los procesos de planificación y control de los proyectos mineros, industriales, de edificación e infraestructura, respecto al alcance, tiempo, costo y calidad. Si bien hasta ahora el mayor uso de BIM se ha dado en el control de los proyectos (observando las respuestas obtenidas desde entrevistas y encuestas), la planificación también es afectada positivamente. Además, BIM aporta en la generación mayor valor al proyecto, así como mejor comunicación con el cliente y los demás participantes.

Las siguientes tablas muestran el impacto del uso de BIM en las prácticas del Project Management, asociadas a los procesos de planificación y control del alcance, tiempo, costo y calidad.

Aspecto		Impacto de los cambios inducidos por BIM a las prácticas del PM				Comentarios
		Nulo	Bajo	Medio	Alto	
Alcance	Elaboración propuesta		X			El modelo permite una visualización temprana del proyecto, dando al cliente una mejor capacidad para evaluar si se cumplen los requisitos, en forma y función. BIM permite tener mayor exactitud para las estimaciones y pronósticos, además de disponer de gran base de información. La forma en que el WBS se elabora se ve poco afectada por BIM. De hecho, es común utilizar el WBS para la generación del modelo.
	Elaboración del WBS		X			
	Uso del WBS		X			
	División de responsabilidades			X		
	Documento del alcance				X	
Tiempo	Elaboración del cronograma			X		BIM se usa para crear cronogramas de manera más eficiente en función del método de planificación elegido, como el Diagrama de Gantt. La ruta crítica se puede determinar con mayor precisión con el uso de herramientas BIM. Al poder determinar con mayor precisión la ruta crítica de un proyecto, los riesgos e incertidumbres causados por los retrasos en el proyecto pueden reducirse o incluso evitarse. Con el WBS bien definido, BIM aporta en desarrollar el cronograma con el desglose de cada actividad y su relación secuencial, además de permitir simulaciones de dichas secuencias.
	Tipo de cronograma		X			
	Definición y secuenciamiento de actividades				X	
	Nivel de detalle del cronograma				X	
Costo	Estimado de costos		X			La forma en que se elaboran los estimados de costos, CAPEX y OPEX no es impactada en gran medida por BIM, dado que esta metodología aporta cantidades más precisas, y con ello, permite presupuestos más certeros.
	Consideración de costos			X		
	Elaboración del CAPEX		X			
	Elaboración del OPEX		X			
Calidad	Definición de requisitos		X			La planificación de la calidad sigue centrándose en generar un PAC, el cual no se ve mayormente afectado en su elaboración por el uso de BIM. BIM permite visualizar de mejor forma las distintas aristas y áreas del proyecto, lo cual permite definir de mejor forma los procesos, y con ello, el PAC.
	Elaboración del PAC		X			
	Definición de procesos		X			

Tabla 60: impacto de BIM en las prácticas del Project Management asociadas a planificación  
Fuente: elaboración propia

Aspecto		Impacto de los cambios inducidos por BIM a las prácticas del PM			Comentarios	
		Nulo	Bajo	Medio		Alto
Alcance	Indicadores e informes de desempeño			X		Dos de los mayores usos de BIM son la visualización mediante el modelo y el intercambio de información. Gracias a estos es posible mejorar la forma en que se tratan los indicadores de desempeño, el cómo se comparten los informes y reportes, la forma en que las ordenes de cambio son evaluadas y la rapidez con la que se puede actualizar el plan. De igual forma, los cambios de alcance son más fácil de entender y comunicar mediante el modelo BIM.
	Herramientas de control			X		
	Gestión de cambios			X		
	Actualización del plan			X		
Tiempo	Indicadores e informes de desempeño			X		Las diversas herramientas que entrega BIM para controlar el cronograma, permite realizar actualizaciones automáticas, así como tomar decisiones e implementar acciones en forma más óptima, pues es posible compartir estatus del proyecto, y su desempeño, en tiempo real y con los demás participantes, para así tomar decisiones de manera más veloz.
	Estatus de actividades			X		
	Herramientas de control				X	
	Modificación del cronograma			X		
Costo	Indicadores e informes de desempeño			X		La implementación de los modelos 5D pueden proporcionar una estimación de costos más precisa y, por lo tanto, facilita el control y la gestión de presupuestos. El modelo permite el intercambio de información y la actualización automática, por lo que es más rápido reconocer y comunicar los cambios de los costos.
	Pronósticos		X			
	Herramientas de control		X			
	Gestión de cambios		X			
Calidad	Actualización del PAC		X			Aumenta la eficiencia precisión y mejora la evaluación del diseño y la comunicación. Reduce los errores debido a una mejor coordinación entre los documentos y todo el equipo, minimizando conflictos. La generación automática de documentos de ingeniería produce información precisa y consistente. La información obtenida directamente desde terreno, y en tiempo real, permite llevar un control de la
	Herramientas de control			X		
	Gestión de cambios			X		

Tabla 61: impacto de BIM en las prácticas del Project Management asociadas al control  
Fuente: elaboración propia

De tal forma, es posible realizar el siguiente análisis comparativo entre las metodologías utilizadas de planificación y control en proyectos con y sin BIM, e identificar ventajas, desventajas y recomendaciones, cumpliendo con el “objetivo específico c)” establecido.

Se verifica que existen prácticas del *Project Management* que aportan en el desarrollo de BIM, así como herramientas que BIM provee para mejorar las prácticas de la dirección de proyectos. Ejemplo de esto es el uso de WBS para la generación de un modelo BIM 4D, el cual permite planificar de forma más sencilla dada la vinculación entre los elementos estructurales y las actividades, además de permitir el seguimiento en un modelo de construcción virtual. Esto podría ser de ayuda para los proyectos de gran envergadura, ya que la gestión y corrección manual de las actividades se ve más enredada y compleja.

La industria de la construcción es fragmentada, debido a la diversidad de participantes en cada proyecto, las etapas involucradas, formas de trabajo y condiciones propias del proyecto. Esto, lleva a la generación de problemas de manejo de información y comunicación. El *Project Management* trata de subsanar estos inconvenientes, desde el punto de vista de la gestión y fondo, mediante las prácticas recomendadas.

Es aquí donde BIM juega un importante rol de herramienta para la dirección de proyectos, ya que las características de esta metodología de trabajo permiten mejorar los instrumentos usuales de la dirección de proyectos y así ayudar en el principal objetivo de un *Project Manager*: lograr el éxito del proyecto.

Las principales ventajas del uso de BIM en las prácticas del *Project Management* son:

- a) Mejora la comunicación y entendimiento de las metas y expectativas del cliente.
- b) La capitalización y manejo de la información.
- c) Uso de modelo para visualización en tiempo real y evaluación de alternativas.
- d) Interoperabilidad del modelo y actualizaciones automáticas
- e) Detección temprana de interferencias (previa construcción).
- f) Disminución en las notas u ordenes de cambio a lo largo del proyecto.
- g) Vincular actividades con elementos del modelo y planificar la ejecución (BIM 4D)
- h) Generar un modelo desde el inicio del proyecto permite tener control sobre su progreso, de forma detallada, permitiendo de estimaciones de programa y costos más precisas.
- i) Controlar el programa, costos y calidad mediante softwares especializados, compatibles y complementarios.
- j) Generar entregables fidedignos al trabajo efectivamente realizado. Importante para la calidad de ingeniería y construcción.
- k) Agregar valor al proyecto.

El usar BIM trae consigo muchos beneficios, pero también dificultades y limitaciones que deben considerarse antes de su adopción.

Las principales desventajas del uso de BIM en las prácticas del *Project Management* son:

- a) Es necesario establecer una red efectiva de comunicación entre los *stakeholders* y que estos se comprometan a cumplir su rol y responsabilidades, siendo que no todos tendrán el mismo nivel de conocimiento de BIM, lo cual puede generar una reconfiguración del sistema comunicativo actual del proyecto.

- b) Antes de implementar BIM es necesario preparar el escenario generando conocimiento de la metodología y de cómo se ejecutará. Estandarizar es crucial para un buen entendimiento, pero puede traer consigo una notable resistencia al cambio, generando desempeños más bajos al inicio, lo cual puede llevar a tomar la decisión de no implementar BIM. Esta necesidad de comunicación y la forma en que se entrega la información se explican con la figura del **Anexo H**, desarrollada por el BSI.
- c) Existen costos de educación e implementación (hardware, software, etc.) que podrían no ser aceptados por algunos participantes del proyecto.

Además, es importante recalcar que muchas prácticas del *Project Management* utilizan a BIM como una herramienta de mejora, y no necesariamente significa un cambio total en la forma de ejecutar las prácticas. BIM genera importantes cambios en la forma de trabajo, debido a la interacción entre las partes, pero igualmente tiene su génesis en prácticas necesarias para la construcción que la disciplina de la dirección de proyectos ya ha identificado. Es por ello que BIM y el *Project Management* son complementarios, y este último puede utilizar a BIM como una poderosa herramienta para mejorar las prácticas. BIM no es un sustituto.

De igual forma, la llamada “Industria 4.0” requiere generar cambios tecnológicos a los procesos de a industria de la construcción, los cuales son reconocidos por incluir prácticas antiguas y, muchas veces, “artesanales”. Dentro de estas mejoras que requiere la “cuarta revolución industrial” y la “transformación digital”, se encuentra adoptar BIM (junto con los softwares y hardwares relacionados) para así lograr subirse al carro del progreso.

## 6.2. Recomendaciones

Gracias al desarrollo de este trabajo de título, es posible generar recomendaciones en el uso de BIM en las prácticas del *Project Management*:

1. En primer lugar, el mayor potencial de BIM, y a la vez uno de los principales requisitos para su uso, es la colección y gestión de la información. La organización que quisiera hacerse con los beneficios de BIM, primero debiese apuntar a tener una interfaz de manejo de data lo suficientemente robusta para no necesariamente depender de un modelo, en primera instancia.
2. El mejor desempeño obtenible por el uso de BIM se da al trabajar en un “entorno BIM”, por lo que es deseable que todas las partes involucradas participen en la adopción de esta metodología de trabajo y colaboren en su desarrollo, de manera que todos obtengan los beneficios de su uso. Se hace vital establecer una línea base de conocimiento BIM para que exista un real entendimiento entre todos los *stakeholders*.
3. Es necesario identificar aquellos procesos donde se necesita y puede implementar BIM, ya sea ofreciendo nuevas herramientas o mejorando las prácticas actuales, para así comenzar a obtener beneficios específicos, evaluarlos y comprender cómo se desenvuelve la organización. Es una buena idea el realizar *Benchmarking* respecto a la performance de BIM en distintas firmas y organizaciones.

4. En particular, la planificación y control de proyectos son procesos que tienen un fuerte impacto interno (dentro de la organización) y externo (con el cliente y demás contratistas). BIM, como ya se ha mencionado, entrega herramientas que permiten agilizar, optimizar y mejorar la calidad de la comunicación (interna y externa) y de los entregables. Por lo anterior, los principales esfuerzos en la adopción de BIM debiesen focalizarse en mejorar dichos procesos.
5. El *Project Manager* debe desarrollar conocimiento y nuevas habilidades para trabajar con BIM, no necesariamente en un nivel muy alto, pero sí el suficiente para desenvolverse de forma óptima en el proyecto.

Las siguientes recomendaciones están enfocadas a cuándo se debería aplicar BIM en un proyecto, afectando los procesos de planificación y control.

- El implementar BIM en un proyecto de ingeniería y construcción depende de varios factores, entre los cuales se encuentran: cantidad de participantes, etapa en desarrollo del proyecto, tipo del proyecto y prácticas de la empresa o firma. Lo óptimo es que el uso de BIM sea requerido o sugerido desde el comienzo del proyecto, lo cual permite que todo *stakeholder* planifique sus procesos en bases a esta metodología.
- La principal motivación para la aplicación de BIM, en la planificación y control del proyecto, corresponde a la mejora de los procesos y los beneficios relacionados. Aun así, “Mientras el cliente no requiera el uso de BIM, las empresas de construcción a menudo tienen dificultades cuando intentan encontrar argumentos para la implementación de BIM” (Matějka, P. & Tomek, A., 2014).
- 
- Luego, la fuerza impositiva del uso de BIM guardará relación con quién sea su solicitante; en caso de que el dueño sea quien establezca BIM como un requisito de proyecto, las compañías participantes deberán adecuarse a su uso. Por otro lado, si es el contratista principal quien propone el uso de BIM, será a modo de sugerencia/solicitud para el dueño y tendrá un carácter más obligatorio para los demás contratistas y terceras partes.
- Cada parte puede utilizar BIM de manera interna (con aprobación del cliente respectivo, si procede) pero no obtendrá todos los beneficios que generaría el uso de esta metodología en un entorno BIM.
- El querer implementar BIM en un proyecto en marcha es posible, pero más complejo. Su éxito dependerá del cómo se implemente, en qué procesos ocurrirá y cómo se vea afectado el desempeño y la productividad actuales. Esto, pues en los procesos de génesis del proyecto se establecen procesos de planificación, control y ejecución, los cuales se verían modificados por la aplicación de BIM, lo que daría paso a potenciales desviaciones del plan original. Por lo anterior, una implementación de este tipo debe ser discutida entre las partes, considerando la resolución del cliente y la opinión de los contratistas.
- En los proyectos de edificación en desarrollo (habitationales, oficinas, centros comerciales, etc.), la implementación de BIM no es tan compleja, pues son más estandarizados, presentan un entorno más simple, menor cantidad de actividades y participantes. Para esto, se utilizan mucho los “proyectos piloto” y así para llevar las experiencias recabadas del uso de BIM en estos a los que están en actual desarrollo, pues es posible trabajar en paralelo.



Lo anterior se refuerza con lo siguiente “Los proyectos piloto son vitales para cambiar la opinión personal y traer el uso BIM. Para que los *stakeholders* acepten BIM, se debe proporcionar una circunstancia para experimentar sus beneficios” (Fazli, A., Fazli, M., Fathi, B., Fathi, S., & Hadi, M., 2014).

- Por otro lado, en un proyecto de minería o de energía, por ejemplo, la coordinación, actividades, cantidades y participantes son masivos, lo cual requiere una planificación inicial dedicada y que, si bien deja espacio para cambios, no predispone el proyecto para modificar en gran medida los procesos de planificación y control definidos y desarrollados por las empresas en sus experiencias anteriores, los cuales han sufrido revisiones y aprobaciones del cliente. Por lo tanto, generar grandes cambios en la marcha a los procesos de planificación y control no es conveniente.
- Una de las buenas prácticas que realizan empresas con rol de dueño o contratista principal, es la adopción de un “equipo BIM”, quienes son los encargados de “traducir” el proyecto a la plataforma BIM y generar conocimiento desde dentro de la compañía. De tal forma, la empresa comienza a familiarizarse con las herramientas que provee esta metodología y enfocándose en sus respectivas áreas.
- Los procesos de planificación, como ya se ha mencionado anteriormente, pueden obtener grandes beneficios mediante el uso de BIM, pero esto es en etapas tempranas del proyecto, ya que es ahí donde se definen los siguientes procesos, procedimientos y las distintas variables del proyecto. Aplicar BIM en medio de un proyecto en desarrollo generaría una fuerte modificación a la planificación efectuada, lo cual es de gran costo y podría resultar en atrasos, pérdidas de desempeño y desorganización.
- Los procesos de control muestran mayor flexibilidad al intervenir el proyecto con BIM, puesto que las herramientas que entrega esta plataforma permiten generar la reportabilidad y generación de documentación usual, pero con procesos más limpios. Además, se pueden adoptar como un cambio tecnológico, lo cual, si bien no brindará los mismos beneficios que trabajar como metodología entrelazada con los demás procesos del proyecto, puede mejorar de gran manera el uso de recursos.
- Resumiendo, se recomienda aplicar BIM desde el comienzo del proyecto, de forma de que todos los actores tengan conocimiento de su uso y haya una comunicación común. Para proyectos de gran envergadura, como la minería o energía, es esencial definir el alcance y uso de la metodología desde un principio, puesto que en plena ejecución del contrato de construcción es muy difícil modificar los procesos definidos en un comienzo. Es necesario recordar que cada proyecto es único, pero, en especial, este tipo de proyectos presentan muchas diferencias entre sí y, por lo tanto, no son muy comparables, aunque tienen procesos en común.
- Implementarlo en un proyecto en desarrollo también es posible, pero se recomienda para proyectos de edificación, modularizados, de estándar común y menor envergadura, debido a que las variables a controlar son menores, así como el riesgo.
- Los procesos de planificación del proyecto deben realizarse considerando BIM, mientras que los de control son más flexibles, pero aun así se recomienda definirlos desde un comienzo con el uso o no de esta metodología.
- Por lo tanto, como argumento adicional a los beneficios que entrega la implementación de BIM, es necesario identificar cuáles son las prácticas deficientes y aquellas mejorables en los procesos de planificación y control del proyecto, para distintos tipos de proyectos, y así

distinguir entre las distintas industrias y sus necesidades. Para esto, se requieren estudios de caso que identifiquen aquellas prácticas que presentan mayores problemas en la planificación y control de proyectos y, posteriormente, se comparen cualitativa y cuantitativamente con aquellas posibles con el uso de BIM.

Para finalizar, es necesario comprender que BIM está siendo adoptado por muchas organizaciones, firmas y empresas a lo largo del mundo, las cuales han sabido valorar sus beneficios y se han atrevido a generar los cambios necesarios para su implementación. Esta herramienta tarde o temprano, se convertirá en un requisito y necesidad para la industria de la construcción. Ejemplo de esto es el proyecto “Construye 2025”, el cual incluye el “Plan BIM”, que generará un estándar nacional y solicitará el uso de BIM para los proyectos públicos a partir del año 2020.

Hasta la fecha (noviembre 2018), en virtud del “Plan BIM”, se han llevado a cabo distintos eventos, charlas nacionales e internacionales, seminarios, ferias, workshops, congresos, formación de capital humano y, lo más importante, conocimiento para el desarrollo del Estándar Nacional BIM, por parte de la CDT, CORFO, PlanBIM, CChC, BIM Forum Chile y demás instituciones involucradas.

Dentro de este conocimiento en desarrollo, están las jornadas de trabajo para definir los alcances del Plan, sus campos de aplicación, tipos de información para usos de BIM (TDI), los estados de avance del proyecto, tipos y entidades de modelos a incluir en el estándar. También publicaciones como la Librería Nacional BIM, la Matriz de Roles BIM, el Manual de Entrega de Información Básica BIM (MEI), la Matriz de Niveles de Madurez BIM Para la Industria de la Construcción, entre otras, lo cual prepara el escenario para la estandarización a nivel nacional para los proyectos públicos. Por lo tanto, desde ya es necesario familiarizarse con BIM, sus conceptos, herramientas, barreras de adopción y beneficios.

Desde la realización del presente trabajo de título, se han encontrado temas de gran interés y que se sugieren para la consideración de futuros estudios e investigaciones:

- Realizar un estudio similar que considere las demás áreas del conocimiento del Project Management (riesgos, compras, recursos humanos, etc.).
- Estudios de caso que identifiquen aquellas prácticas que presentan mayores problemas, desviaciones y oportunidades de mejora en la planificación y control de proyectos y, posteriormente, se comparen cualitativa y cuantitativamente con aquellas posibles con el uso de BIM, reforzando los argumentos para su adopción y uso.
- Categorizar las prácticas y herramientas (softwares) que aporta BIM adecuadas para la programación del proyecto, diferenciando por tipo de proyecto (edificaciones, infraestructura, minería, entre otros).
- Impacto de los aspectos legislativos y normativa chilena en los proyectos de ingeniería y construcción debido al uso de BIM.
- Desarrollar una guía para implementar BIM en proyectos mineros en Chile.
- Las nuevas herramientas y conocimientos que un *Project Manager* debe adquirir frente a la llamada “Industria 4.0”, en el ámbito de la ingeniería y construcción.

## 7. CAPÍTULO VII: Bibliografía

1. Ahmad, A., Brahim, J. & Fathi, M. (2014). The Development of BIM Definition from 1975 to 2013 [Gráfico]. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/figure/The-Development-of-BIM-Definition-from-1975-to-2013\\_fig1\\_264993253](https://www.researchgate.net/figure/The-Development-of-BIM-Definition-from-1975-to-2013_fig1_264993253)
2. Aliaga, G. (2012). *Implementación y metodología para la elaboración de modelos BIM para su aplicación en proyectos industriales multidisciplinarios* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Santiago, Chile. Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112356>
3. Antoniadis, D. (2004). *Case Study: London Heathrow Terminal 3 – Pier 6 Project Control*. Recuperado de: [http://www.academia.edu/1131870/Case\\_Study\\_London\\_Heathrow\\_Terminal\\_3\\_Pier\\_6\\_Project\\_Control](http://www.academia.edu/1131870/Case_Study_London_Heathrow_Terminal_3_Pier_6_Project_Control)
4. BIM Community (2016). *BIM in the world*. Recuperado de: <https://www.bimcommunity.com/news/load/269/bim-en-el-mundo>
5. Burke, R. (2003). *Project Management. Planning and Control Techniques*. Londres: Wiley. Recuperado de: <http://213.55.83.214:8181/Project%20mgt%20bks1/Project%20Management%20planning%20and%20control%20techniques.pdf>
6. British Institute of Facilities Management (BIFM) (2015). BIM case studies for asset and facilities management. Recuperado de: <https://www.bifm.org.uk/bifm/filegrab/bifm-casestudy-bimx3-v11-final-25.9.pdf?type=documents&ref=5709>
7. Cárdenas, M. (2016). *Incorporación de Metodología BIM en la Gestión Integrada de Proyectos* (Tesis de maestría). Universidad Europea. Madrid, España. Recuperado de: [bimchannel.net/wp-content/uploads/2017/01/201701\\_TFM\\_Margarita-C%C3%A1rdenas.pdf](http://bimchannel.net/wp-content/uploads/2017/01/201701_TFM_Margarita-C%C3%A1rdenas.pdf)
8. Cleland, D. & Gareis, R. (2006). *Global Project Management Handbook*. Estados Unidos: The McGraw-Hill Companies, Inc. Recuperado de: <https://www.ims-web.com/blog/a-brief-history-of-project-management>
9. Collins, J. (2015). A Brief History of Project Management. Recuperado de: <https://www.ims-web.com/blog/a-brief-history-of-project-management>.
10. Construye 2025 (2016). *¿QUÉ ES CONSTRUYE 2025?*. Recuperado de: <http://www.construye2025.cl/que-es-construye-2025/>
11. Construye 2025 (2016). *PLAN BIM*. Recuperado de: [www.construye2025.cl/2016/05/16/plan-bim-modernizando-la-industria-de-la-construccion/](http://www.construye2025.cl/2016/05/16/plan-bim-modernizando-la-industria-de-la-construccion/)

12. Corporación de Desarrollo Tecnológico & BIM Forum. (2017). *Guía inicial para implementar BIM en las organizaciones*. Santiago de Chile: CDT. Recuperado de: [http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/bc90\\_6\\_guia\\_inicial\\_para\\_implementar\\_bim\\_en\\_las\\_organizaciones\\_-\\_version\\_imprensa.pdf](http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/bc90_6_guia_inicial_para_implementar_bim_en_las_organizaciones_-_version_imprensa.pdf)
13. Corporación de Desarrollo Tecnológico & BIM Forum. (2016). *Listado de Softwares BIM*. Santiago de Chile: CDT. Recuperado de: <http://www.bimforum.cl/wp-content/uploads/2017/04/LISTADO-SOFTWARE-BIM-2016-11-08.xlsx>
14. Fazli, A., Fazli, M., Fathi, B., Fathi, S., & Hadi, M. (2014). *Appraising Effectiveness of Building Information Management (BIM) in Project Management*. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017314003533#!>
15. Garay, M. & Olsina, C. (2013). Caso Estudio: HOTEL RESORT & SPA, Vines of Mendoza, Tunuyán, Mendoza. En PMI Nuevo Cuyo Argentina Chapter. *VI Jornadas Cuyanas de Project Management*. San Luis, Argentina. Recuperado de: [http://www.pminuevocuyo.org/userfiles/file/20130605\\_VOM-PMI-1.pdf](http://www.pminuevocuyo.org/userfiles/file/20130605_VOM-PMI-1.pdf)
16. Gallagher, D. (2013). *Denver International Airport Planning and Development Division. Performance Audit*. Recuperado de: [https://www.denvergov.org/content/dam/denvergov/Portals/741/documents/Audits\\_2013/DIA\\_Planning\\_and\\_Development\\_Division\\_Audit\\_Report\\_6-20-13.pdf](https://www.denvergov.org/content/dam/denvergov/Portals/741/documents/Audits_2013/DIA_Planning_and_Development_Division_Audit_Report_6-20-13.pdf)
17. González, F. (2014). *Beneficios de la coordinación de proyectos BIM en edificios habitacionales* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Santiago, Chile. Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/116294>
18. International Organization for Standardization (ISO). (2005). *UNE-ISO 10005: Sistemas de gestión de la calidad. Directrices para los planes de calidad*. Recuperado de: [http://www.informacionpublicapgr.gob.sv/descargables/sia/normativa-internacional-ISO\\_10005%20en%20espa%C3%B1ol%20.pdf](http://www.informacionpublicapgr.gob.sv/descargables/sia/normativa-internacional-ISO_10005%20en%20espa%C3%B1ol%20.pdf)
19. Kerzner, H. (2017). *Project Management: case studies*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
20. Liu, J. & Shi, G. (2017). Quality Control of a Complex Lean Construction Project Based on KanBIM Technology. *EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 13. Recuperado de: <http://www.ejmste.com/pdf-76615-12962?filename=Quality%20Control%20of%20a.pdf>
21. Matějka, P. & Tomek, A. (2014). *The Impact of BIM on Risk Management as an Argument for its Implementation in a Construction Company*. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814019432>

22. McPartland, R. (2014). *BIM Levels explained*. Recuperado de: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>.
23. Ministerio de Obras Públicas (MOP) (2017). Bases de licitación: concesión Ruta 5 tramo Los Vilos – La Serena.
24. Mondaca, J. (2017). *Análisis comparativo de las prácticas de dirección de proyectos del PMI en empresas públicas y privadas en Chile* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Santiago, Chile. Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/145357>
25. National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance (2015). *National BIM Standard – United States® Version 3 (sección 5.2)*. Recuperado de: <http://www.bimthinkspace.com/2009/09/episode-12-bim-performance-measurement.html>
26. Ogbamwen, J. (2016). *Gestión de proyectos de construcción mediante Building Information Modeling (BIM) e Integrated Project Delivery (IPD). Análisis y estudio de dos casos en EE.UU* (Tesis de maestría). Universitat Politècnica de València. Valencia, España. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73989/TFM%20JUNIOR%20OGBAMWEN.%20DEFINITIVO.pdf?sequence=1>
27. Pampliega, A. (2014). *BIM Project Management*. Recuperado de: <http://salineropampliega.com/2014/10/bim-project-management.html>.
28. Polanco, A. (2010). *Desafíos de la Dirección de Proyectos Mineros EPCM-EPC*. Anales del Instituto de Ingenieros de Chile.
29. Polanco, A. (2017). *Apuntes de clase CI5511 Curso Dirección de Proyectos*. Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
30. Project Management Institute (PMI). (2007). *Construction Extension to the PMBOK® Guide 3<sup>rd</sup> Edition*. Estados Unidos: PMI.
31. Project Management Institute (PMI). (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. PMBOK® 5ta edición*. Estados Unidos: PMI.
32. PMI. (2017). *About Us*. Recuperado de: <https://www.pmi.org/about>.
33. PMI. (2018). *Success in Disruptive Times. 10th Global Project Management Survey*. Recuperado de: <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/thought-leadership/pulse/pulse-of-the-profession-2018.pdf>

34. Ramírez, J. (2018). *Comparación entre metodologías Building Information Modeling (BIM) y metodologías tradicionales en el cálculo de cantidades de obra y elaboración de presupuestos Caso de estudio: edificación educativa en Colombia* (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7820/6/RamirezLeonJorgeAndres2018.pdf>
35. Román, R. (2014). Plan de Aseguramiento de la Calidad. Proyecto Óxidos Encuentro. Recuperado de: [http://dab.aminerals.cl/archivos/13.%20Control%20de%20Calidad/OXE-E-3000-W-DC-001\\_0\\_Requerimientos%20de%20calidad%20para%20proveedores\\_.pdf](http://dab.aminerals.cl/archivos/13.%20Control%20de%20Calidad/OXE-E-3000-W-DC-001_0_Requerimientos%20de%20calidad%20para%20proveedores_.pdf)
36. Saldías, R. (2010). *Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Santiago, Chile. Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103904>
37. The British Standards Institution (BSI) (2013). *Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling*. Recuperado de: [http://www.bimhealth.co.uk/uploads/pdfs/PAS\\_1192\\_2\\_2013.pdf](http://www.bimhealth.co.uk/uploads/pdfs/PAS_1192_2_2013.pdf)

# 8 CAPÍTULO VIII: Anexos

## 8.1 Anexo A: gráfico madurez CMM US

Maturity Level	A Data Richness	B Life-cycle Views	C Roles Or Disciplines	G Change Management	D Business process	F Timeliness/ Response	E Delivery Method	H Graphical Information	I Spatial Capability	J Information Accuracy	K Interoperability/ IFC Support
1	Basic Core Data	No Complete Project Phase	No Single Role Fully Supported	No CM Capability	Separate Processes Not Integrated	Most Response Info manually re-collected - Slow	Single Point Access No IA	Primarily Text - No Technical Graphics	Not Spatially Located	No Ground Truth	No Interoperability
2	Expanded Data Set	Planning & Design	Only One Role Supported	Aware of CM	Few Bus Processes Collect Info	Most Response Info manually re-collected	Single Point Access w/ Limited IA	2D Non-Intelligent As Designed	Basic Spatial Location	Initial Ground Truth	Forced Interoperability
3	Enhanced Data Set	Add Construction/ Supply	Two Roles Partially Supported	Aware of CM and Root Cause Analysis	Some Bus Process Collect Info	Data Calls Not In BIM But Most Other Data Is	Network Access w/ Basic IA	NCS 2D Non-Intelligent As Designed	Spatially Located	Limited Ground Truth - Int Spaces	Limited Interoperability
4	Data Plus Some Information	Includes Construction/ Supply	Two Roles Fully Supported	Aware CM, RCA and Feedback	Most Bus Processes Collect Info	Limited Response Info Available In BIM	Network Access w/ Full IA	NCS 2D Intelligent As Designed	Located w/ Limited Info Sharing	Full Ground Truth - Int Spaces	Limited Info Transfers Between COTS
5	Data Plus Expanded Information	Includes Constr/Supply & Fabrication	Partial Plan, Design&Constr Supported	Implementing CM	All Business Process(BP) Collect Info	Most Response Info Available In BIM	Limited Web Enabled Services	NCS 2D Intelligent As-Built	Spatially located w/Metadata	Limited Ground Truth - Int & Ext	Most Info Transfers Between COTS
6	Data w/Limited Authoritative Information	Add Limited Operations & Warranty	Plan, Design & Construction Supported	CM Capability	Few BP Collect & Maintain Info	All Response Info Available In BIM	Full Web Enabled Services w/IA	NCS 2D Intelligent And Current Graphics	Spatially located w/Full Info Share	Full Ground Truth - Int And Ext	Full Info Transfers Between COTS
7	Data w/ Mostly Authoritative Information	Includes Operations & Warranty	Partial Ops & Sustainment Supported	Implemented	Some BP Collect & Maintain Info	All Response Info From BIM & Timely	Full Web Enabled Services w/IA	3D - Intelligent Graphics	Part of a limited GIS	Limited Comp Areas & Ground Truth	Limited Info Uses IFC's For Interoperability
8	Completely Authoritative Information	Add Financial	Operations & Sustainment Supported	Implementing CM and Root Cause Analysis	All BP Collect & Maintain Info	Limited Real Time Access From BIM	Web Enabled Services - Secure	3D - Current And Intelligent	Part of a more complete GIS	Full Computed Areas & Ground Truth	Expanded Info Uses IFC's For Interoperability
9	Limited Knowledge Management	Full Facility Life-cycle Collection	All Facility Life-cycle Roles Supported	CM and RCA capability implemented	Some BP Collect&Maint In Real Time	Full Real Time Access From BIM	Netcentric SOA Based CAC Access	4D - Add Time	Integrated into a complete GIS	Comp GT w/Limited Metrics	Most Info Uses IFC's For Interoperability
10	Full Knowledge Management	Supports External Efforts	Internal and External Roles Supported	Implementing CM & RCA and feedback	All BP Collect&Maint In Real Time	Real Time Access w/ Live Feeds	Netcentric SOA Role Based CAC	nD - Time & Cost	Integrated into GIS w/ Full Info Flow	Computed Ground Truth w/Full Metrics	All Info Uses IFC's For Interoperability

© NIBS 2007

Figura 77: tabla madurez BIM US  
Fuente: NBIMS-US (2015)

## 8.2 Anexo B: gráfico madurez BSI UK

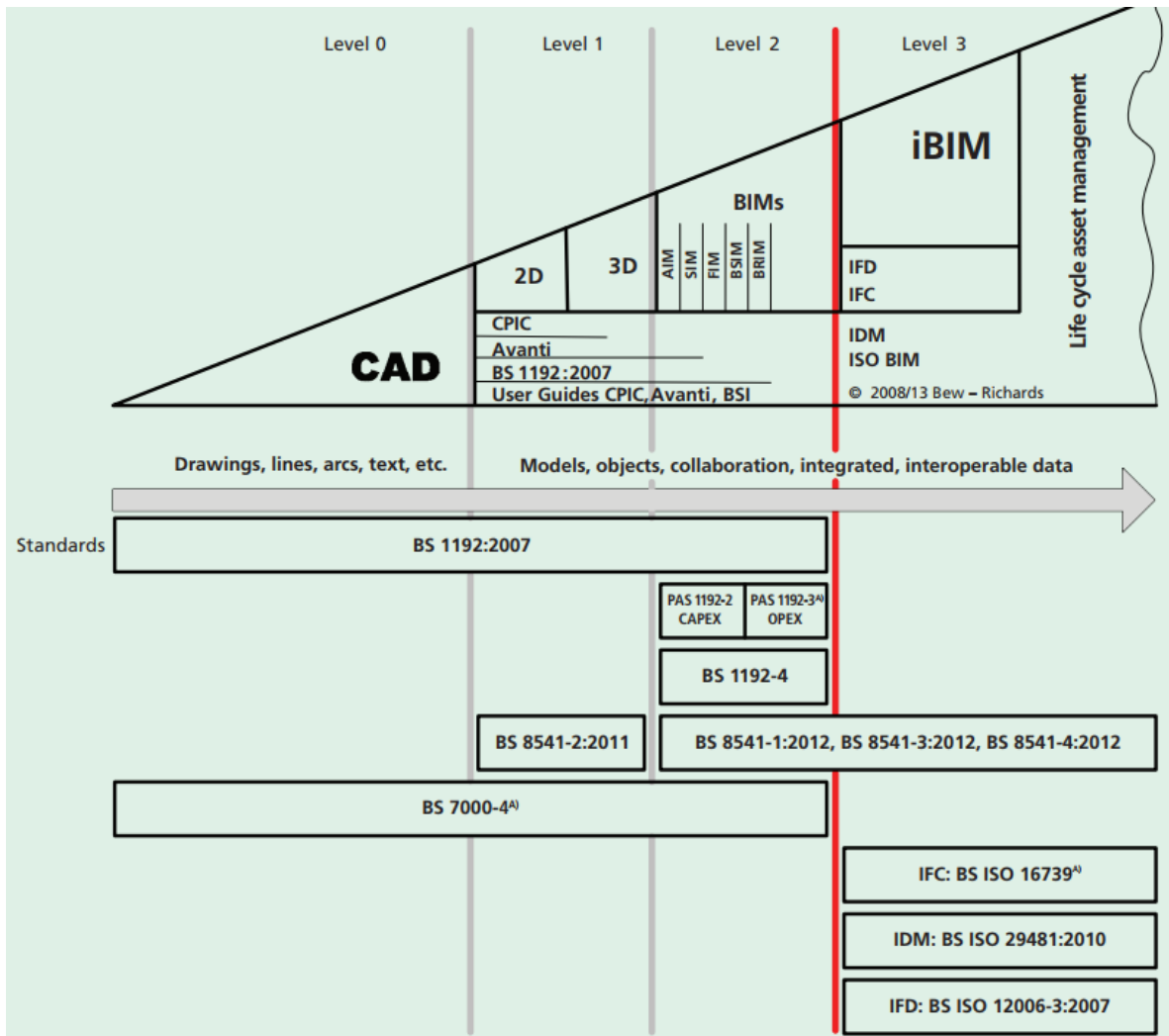


Figura 78: gráfico madurez UK  
Fuente: BSI (2013)



### 8.3 Anexo C: Ejemplo Cronograma

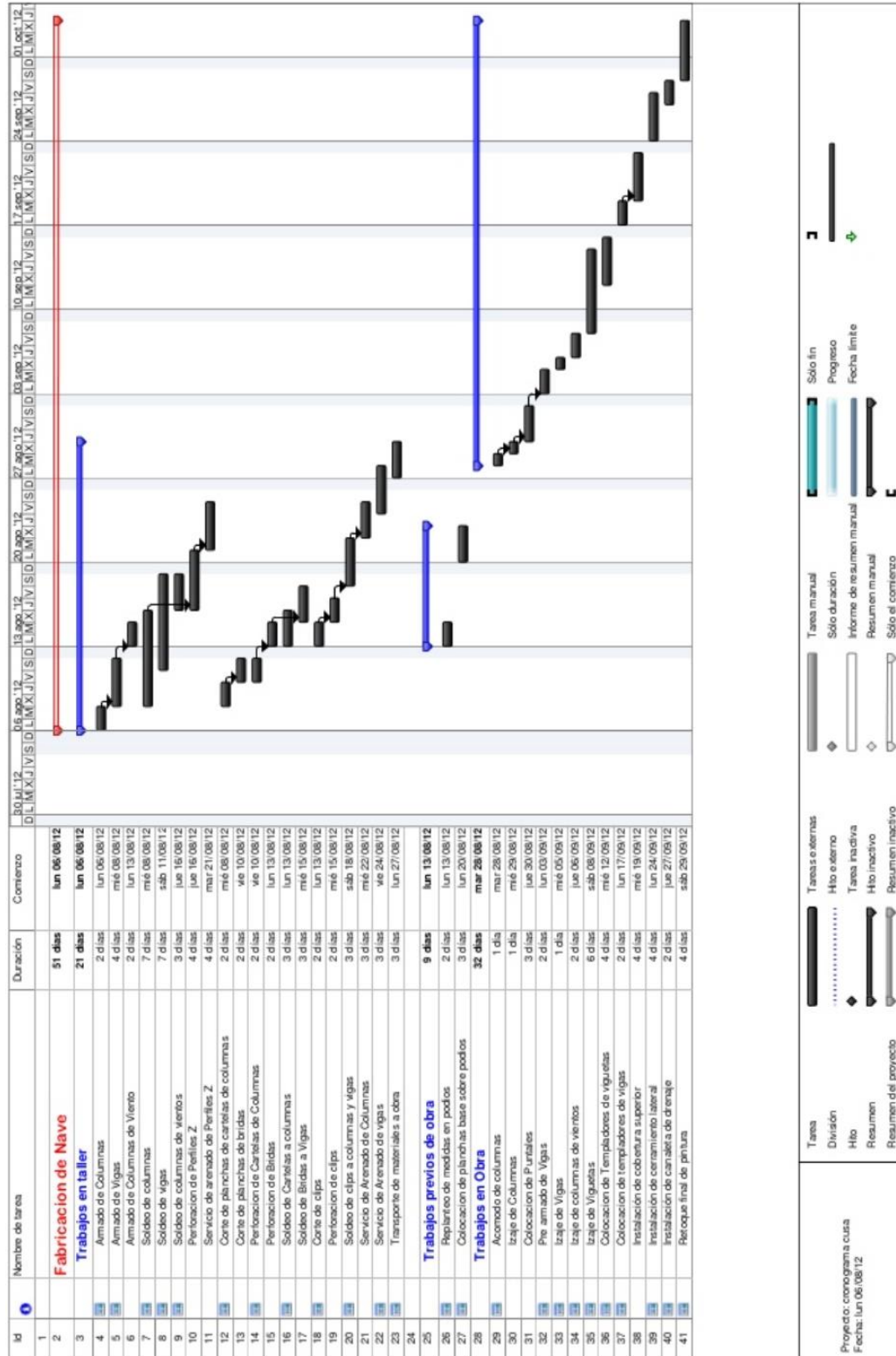


Figura 27: ejemplo cronograma fabricación nave industrial  
 Fuente: <https://www.slideshare.net/abel19871/cronograma-de-obra-cusa?ref=>

## 8.4 Anexo D: Ejemplo formatos Plan de la Calidad (PAC)

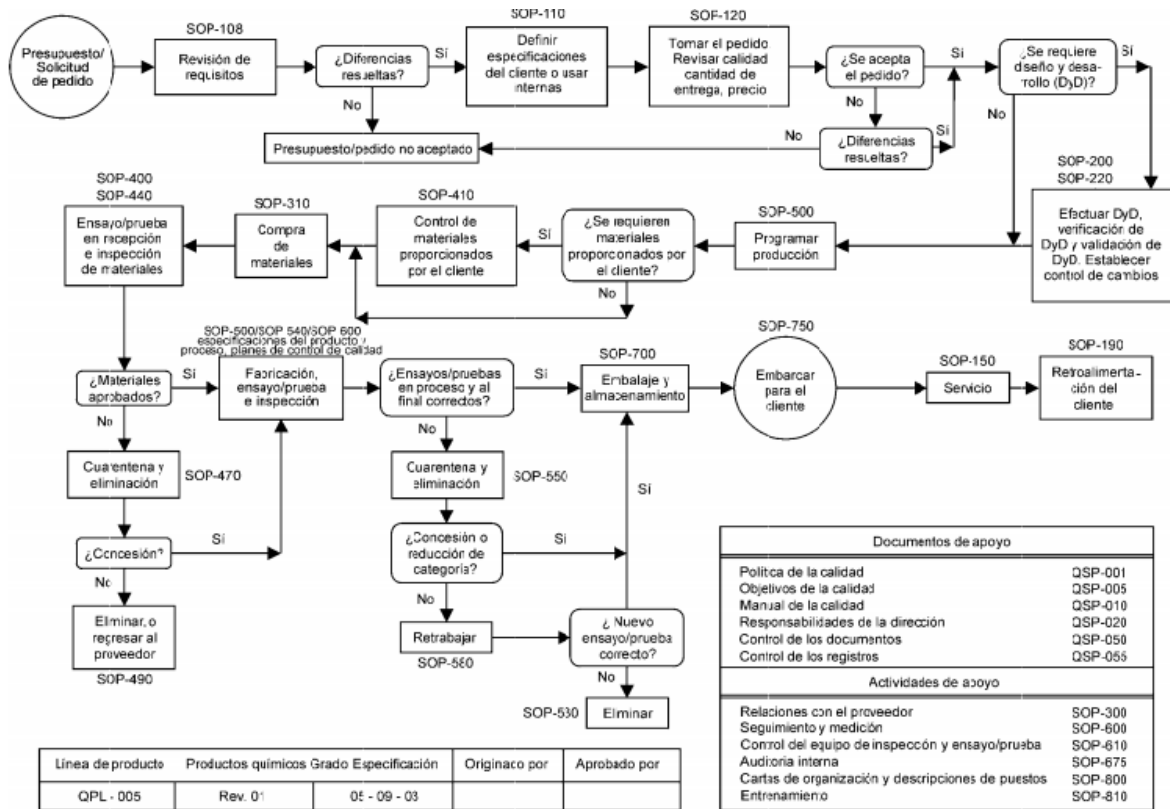


Figura 80: Plan de Calidad tipo Diagrama de Flujo  
Fuente: ISO 10005 (2005).

Nombre de la línea	Diagrama de flujo del proceso	Nombre del proceso	Instrucción de trabajo (Número)	Característica de calidad a ser controlada (condición de proceso) a ser verificada	Método de control de proceso				Artículo de inspección y ensayo/prueba	Método de inspección y ensayo/prueba	Observaciones
					Instrucción para el control de proceso (Número)	Carta u hoja para el control de proceso	Persona responsable del control de proceso	Método de muestreo y medición			
Línea A		Precalentamiento	WI-A1	(Temperatura)	IPC-A1	Hoja de verificación CSA-1	Operador A	2 veces al día	Longitud L	Todos los productos	
		Formado	WI-A2	Longitud L		Carta de control CC-A-1	Capataz A	5 muestras por lote con micrómetro			
						Hoja de verificación CSA-2	Operador B	1 vez al día			
Ensayo/prueba del producto	WI-A3	Fración defectuosa		Hoja de verificación CSA-3	Operador B	1 por día		Características eléctricas	10 muestras por lote		

NOTA: Manufactura Inspección y ensayo/prueba Almacenamiento

Figura 81: Plan de Calidad tipo Formato  
Fuente: ISO 10005 (2005).

## 8.5 Anexo E: Ejemplo método del valor ganado (EVM)

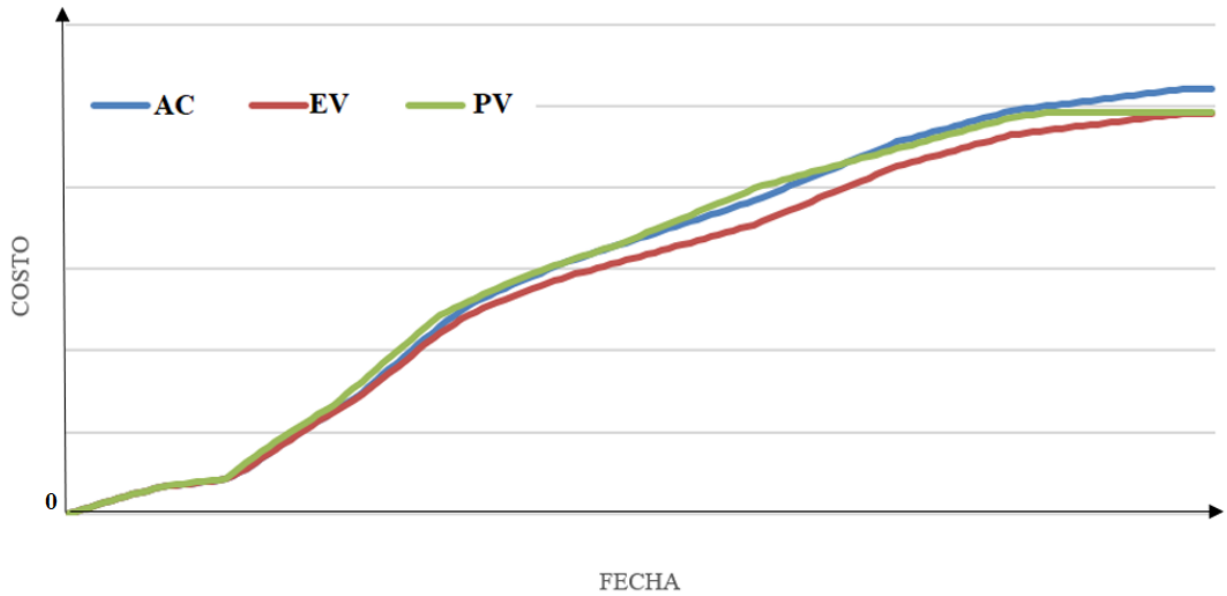


Figura 82: ejemplo EVM. AC = costo real, EV: valor ganado, PV: valor planificado  
Fuente: elaboración propia

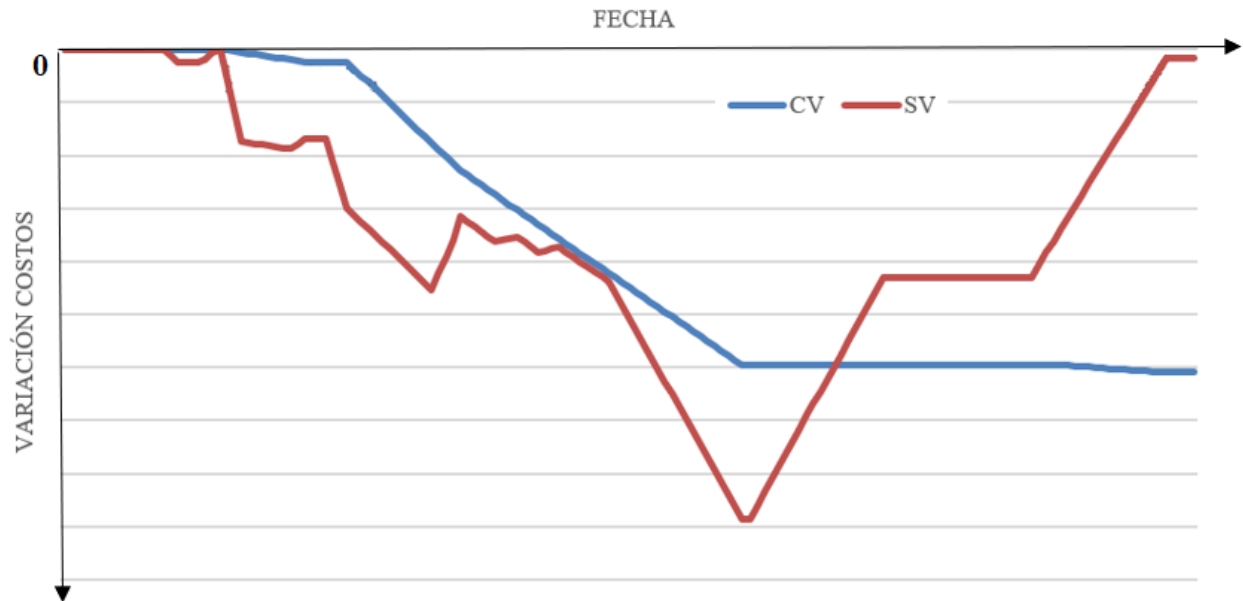


Figura 83: ejemplo EVM. CV (variación del costo) y SV (variación del cronograma).  
Fuente: elaboración propia.

## 8.6 Anexo F: Formato entrevista

Preguntas
<b>Alcance</b>
¿Cómo se utiliza BIM (o el Modelo) en la elaboración de la oferta contractual del Proyecto?
¿De qué forma se considera BIM (o el Modelo) para elaborar el WBS?
¿Qué herramientas entrega BIM para controlar el Alcance del Proyecto?
¿BIM (o el Modelo) incluyen los cambios en el Alcance del Proyecto? ¿Cómo?
<b>Tiempo</b>
¿Cómo considera BIM en la generación del cronograma?
¿Se incluyen los entregables de BIM en el cronograma? ¿Cómo?
¿Se utilizan Modelos que incorporen el cronograma (4D)?
BIM, ¿entrega herramientas para el control del cronograma? ¿Cuáles?
¿Se utiliza el Modelo para efectuar modificaciones al cronograma?
<b>Costo</b>
¿Se utiliza la metodología BIM (o el Modelo) para generar el Estimado de Costos?
¿La elaboración del CAPEX y/u OPEX toma en cuenta BIM (o el Modelo)?
¿Se incluyen los Costos en el Modelo (BIM 5D)?
¿Los cambios en el CAPEX y OPEX se reflejan en el Modelo (5D)?
<b>Calidad</b>
Para la elaboración del Plan de Calidad (PAC), ¿se considera BIM (Modelo) y sus requisitos?
¿El PAC considera a BIM y sus requisitos?
¿BIM (Modelo) entrega herramientas para comunicar los requisitos y objetivos de Calidad?
¿Entrega BIM herramientas para el control del Calidad de Ingeniería y/o Construcción?

*Figura 84: preguntas de la entrevista  
Fuente: elaboración propia*

## 8.7 Anexo G: Formato encuesta

### Trabajo de título: Planificación y Control de Proyectos integrados con el uso de BIM

Estimadas y estimados,

Por motivo del desarrollo de la Memoria de Título "Planificación y Control de Proyectos de Ingeniería y Construcción integrados con el uso de la metodología BIM", para optar al título de Ingeniero Civil de la Universidad de Chile, se le invita a participar de la siguiente encuesta. Este trabajo se realiza en conjunto con el profesor Alejandro Polanco.

La información recabada se utilizará para analizar la percepción y conocimiento de los encuestados sobre el uso de Building Information Modeling\* (BIM) en los procesos de planificación y control de proyectos (Project Management), respecto al alcance, tiempo, costo y calidad.

\*En algunas organizaciones, BIM se denomina "Modelo". Esto, para efectos de la presente encuesta, se acepta mientras esté integrado con la información de la construcción y proyecto, además de permitir una interoperatividad con las partes interesadas.

Al final de la encuesta será posible indicar un correo electrónico para recibir los resultados.

Desde ya, muchas gracias.

Nicolás Trejo C.  
Alumno memorista

**\*Obligatorio**

#### Información del encuestado

**1. 1. Seleccione su área de desempeño: \***

*Marca solo un óvalo.*

- Ingeniería
- Construcción

**2. 2. Años de experiencia profesional \***

*Marca solo un óvalo.*

- 0 a 5 años de experiencia
- 5 a 10 años de experiencia
- 10 a 15 años de experiencia
- más de 15 años de experiencia

Figura 85: formato encuesta  
Fuente: elaboración propia (mediante Google Forms)

**3. 3. A su juicio, ¿Qué nivel de conocimiento tiene del Project Management? \***

Marca solo un óvalo.

- Nulo (no ha oído hablar de la disciplina) *Después de la última pregunta de esta sección, pasa a la pregunta 6 .*
- Bajo (conoce algunos conceptos asociados)
- Medio (ha trabajado en proyectos con que usan Project Management)
- Alto (Experiencia en la dirección y gestión de proyectos)
- Certificado (PMP, CAPM, SCPM, etc)

**4. 4. Seleccione las casillas correspondientes a los tipos de proyectos en que ha participado (puede seleccionar más de una opción): \***

Selecciona todos los que correspondan.

- Industriales
- Minería
- Energía
- Edificaciones
- Infraestructura

**5. 5. Seleccione según su experiencia laboral y/o conocimiento de las siguientes áreas: \***

Marca solo un óvalo por fila.

	Planificación	Control	Ambas	Ninguna
Alcance	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tiempo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Costo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Calidad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Experiencia y conocimiento de Building Information Modeling (BIM)

**6. 6. A su juicio, ¿Qué nivel de conocimiento tiene de BIM? \***

Marca solo un óvalo.

- Nulo (no ha oído del término BIM) *Después de la última pregunta de esta sección, pasa a la pregunta 11 .*
- Bajo (conoce algunos conceptos asociados)
- Medio (ha trabajado en proyectos con que usan BIM)
- Alto (modelador, proyectista, coordinador BIM, etc.)

**7. 7. Para usted, ¿Cuál de las siguientes opciones representa mejor a BIM? \***

Marca solo un óvalo.

- Una metodología de trabajo
- Un Modelo computacional
- Un conjunto de softwares

Figura 86: formato encuesta  
Fuente: elaboración propia (mediante Google Forms)

**8. 8. A continuación, indique su experiencia con los siguientes softwares: \***

*Marca solo un óvalo por fila.*

	No lo ha utilizado	Usuario indirecto	Usuario ocasional	Usuario regular
Revit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ArchiCAD	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Navisworks	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tekla Structures	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SmartPlant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inroads	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Intergraph Smart 3D	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
AutoCAD	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
PDMS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Planificación del Alcance, Tiempo, Costo y Calidad con el uso de BIM**

Para las siguientes preguntas relacionadas con su experiencia profesional, BIM se considera como la metodología y el Modelo de información de la construcción.

**9. 9. Según su experiencia profesional: \***

*Marca solo un óvalo por fila.*

	Casi siempre	Frecuentemente	Ocasionalmente	Nunca
1. ¿Se genera un Modelo específico para la elaboración de propuestas?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. ¿Se utiliza BIM para la evaluación de alternativas?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. ¿Se utiliza BIM para la elaboración del WBS (estructura de desglose del trabajo)?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. ¿Se utiliza BIM para elaborar el cronograma y definir las actividades?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. En el cronograma, ¿se incluyen los entregables del Modelo (BIM)?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. El Modelo (BIM), ¿integra el cronograma (BIM 4D)?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. ¿Se utiliza el Modelo para elaborar el Estimado de Costos?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. ¿Se utiliza BIM para la elaboración del CAPEX (gastos de capital) y/u OPEX?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Los costos y presupuestos del proyecto, ¿son incluidos en el Modelo (BIM 5D)?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. ¿Está incluido BIM en el Plan de Calidad (PAC)?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11. ¿Se utiliza BIM para comunicar los requisitos y objetivos de Calidad?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Control del Alcance, Tiempo, Costo y Calidad con el uso de BIM**

Para las siguientes preguntas relacionadas con su experiencia profesional, BIM se considera como la metodología y el Modelo de información de la construcción.

*Figura 87: formato encuesta  
Fuente: elaboración propia (mediante Google Forms)*

**10. 10. Según su experiencia profesional: \***

Marca solo un óvalo por fila.

	Casi siempre	Frecuentemente	Ocasionalmente	Nunca
1. BIM, ¿aporta herramientas para controlar el Alcance?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. ¿Se utiliza el Modelo (BIM) para gestionar los cambios del Alcance?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. ¿Se actualiza el Modelo (BIM) con los cambios en el Alcance?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. BIM, ¿aporta herramientas para controlar el cronograma?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. ¿Se utiliza el Modelo para gestionar cambios en el cronograma?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Los cambios del CAPEX, ¿se incluyen en el Modelo (BIM 5D)?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Los cambios del OPEX, ¿se incluyen en el Modelo (BIM 5D)?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. BIM, ¿entrega herramientas para el control de la Calidad de Ingeniería?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. BIM, ¿entrega herramientas para el control de la Calidad de Construcción?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**BIM en la planificación y Control de Proyectos**

Building Information Modeling es la metodología para el desarrollo y uso de modelos BIM para "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" (BIM Forum Chile, 2017).

Algunos beneficios de implementar de BIM son:

- Análisis de las distintas situaciones para evaluar viabilidad, diseño y concepto
- Disminución de costos y ahorro en el tiempo de desarrollo de proyectos
- Visualización del diseño en cualquier etapa del proceso
- Entrega 2D exactos y consistentes por obtención directa del modelo 3D
- Estimaciones de costos
- Eficiencia energética y sustentabilidad (análisis)
- Planificación de la construcción (BIM 4D)
- Detección de interferencias
- Mejor administración y operación de las instalaciones
- Control de sistemas y comissioning
- Análisis y monitoreo de los procesos y trabajos de cierre

**11. 11. BIM genera un importante cambio a la forma tradicional de trabajo, ya que esta metodología necesita la colaboración y simultaneidad de las partes interesadas en el desarrollo del proyecto, además de otros requisitos técnicos. ¿En qué arista del proyecto cree que BIM resulta beneficioso? \***

Marca solo un óvalo por fila.

	Planificación	Control	Ambas	Ninguna
Alcance	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tiempo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Costo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Calidad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 88: formato encuesta  
Fuente: elaboración propia (mediante Google Forms)



**12. 12. ¿Qué percepción tiene respecto a la implementación de BIM en un proyecto, en el ámbito de la ingeniería y construcción? (puede seleccionar más de una opción) \***

*Selecciona todos los que correspondan.*

- Es una gran oportunidad para mejorar el desarrollo de los proyectos
- Es un riesgo a evaluar (positivo o negativo)
- Una amenaza para la organización (dificultad de implementación, costos a incurrir, etc.)
- Parece difícil de implementar

## **Contacto**

**13. Si desea recibir los resultados de la presente encuesta, una vez finalizada, indique un correo electrónico de contacto**

---

Con la tecnología de  
 **Google Forms**

*Figura 89: formato encuesta  
Fuente: elaboración propia (mediante Google Forms)*

## 8.8 Anexo H: Ciclo de la entrega de información

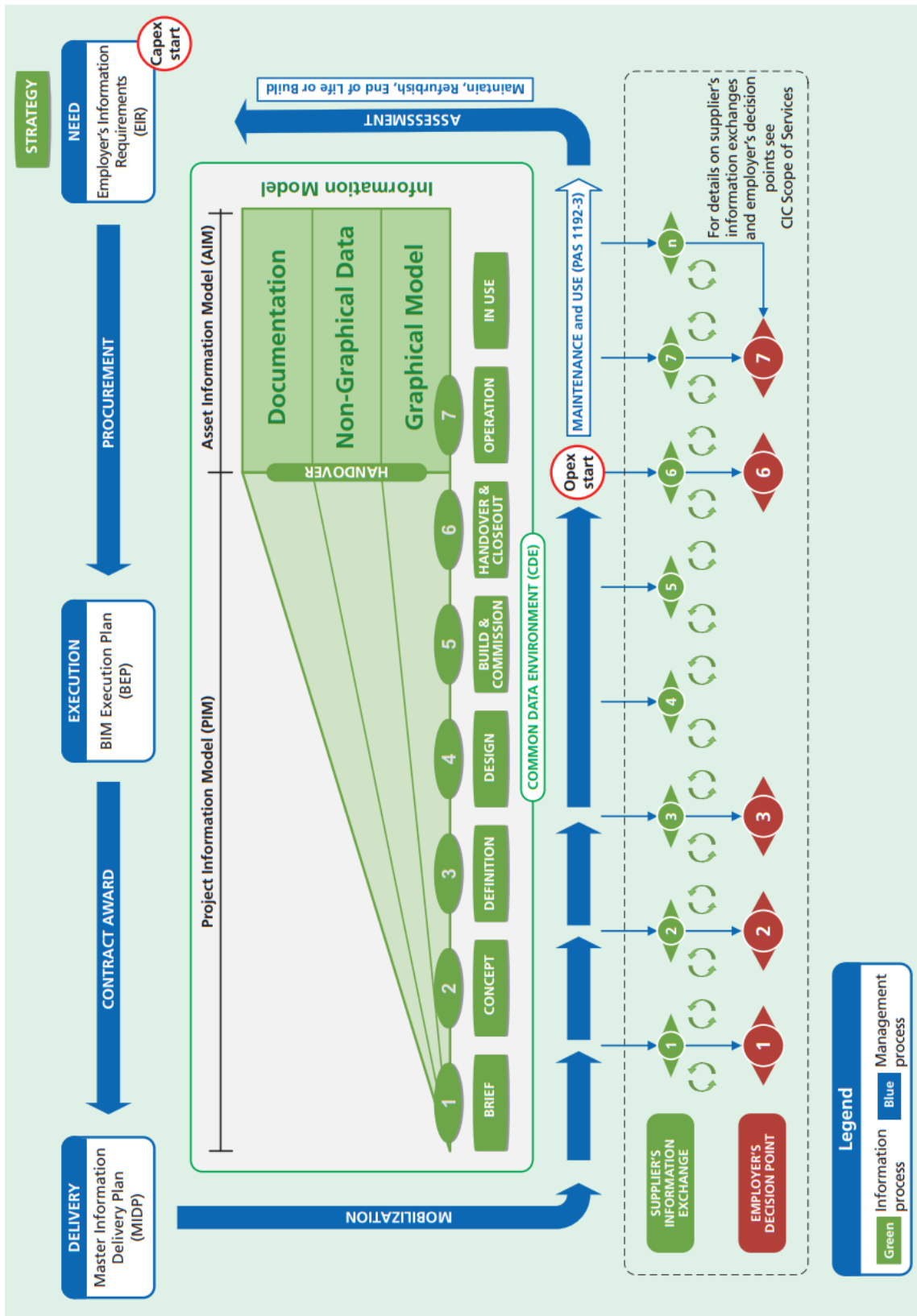


Figura 90: ciclo de la entrega de información  
Fuente: BSI (2013)