



DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA COMERCIAL
UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Departamento de Ingeniería Comercial
MBA, Magister es Gestión Empresarial

OPTIMIZACIÓN DE LA GOBERNANZA EN EL PROCESO DE ESTIMACIÓN DE COSTOS PARA PROYECTOS DE INVERSIÓN MINERA.

Tesina de Grado presentada por

Víctor Gabriel Ortega Escárte

Como requisito para optar al grado de

MBA, Magister en Gestión Empresarial

Guía de Tesina Dr. Lionel Valenzuela Oyaneder

Septiembre de 2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☐ Memoria o trabajo de título; ☒ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Optimización de la Gobernanza en el Proceso de Estimación de Costos para Inversión Minera.

Nombre del candidato(a): Victor Gabriel Ortega Escárate

Carrera / Grado: Magister en Gestión Empresarial

Campus: Santiago Vitacura ; **Departamento:** Ingeniería Comercial

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Lionel Valenzuela Oyaneder, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 16/09/2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 16/09/2026

Firma:

Victor Ortega
Escárate

Firmado digitalmente por Victor
Ortega Escárate
Fecha: 2026.09.16 11:21:48Z+0100

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

TITULO DE TESINA: “OPTIMIZACIÓN DE LA GOBERNANZA EN EL PROCESO DE ESTIMACIÓN DE COSTOS PARA PROYECTOS DE INVERSIÓN MINERA”

AUTOR: Víctor Gabriel Ortega Escárate

TRABAJO DE TESINA, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de MBA, Magister en Gestión Empresarial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

OBSERVACIONES: _____

COMISIÓN DE TESINA: Dr. Lionel Valenzuela
Mg. Lorena Paredes
Mg. Macarena Gatica

Santiago, Septiembre 2026.

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: VICTOR GABRIEL ORTEGA ESCARATE.

Fecha: Septiembre de 2026.

Resumen Ejecutivo

La estimación de costos de capital constituye uno de los procesos más relevantes dentro del desarrollo de proyectos de inversión minera, ya que sus resultados sustentan decisiones que comprometen importantes recursos y afectan directamente la rentabilidad esperada de las iniciativas. En este contexto, la presente tesina aborda la gobernanza del proceso de estimación de costos de capital (CAPEX) en proyectos desarrollados por la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco. El estudio se justifica en que, si bien la Corporación dispone de una base normativa robusta mediante el Sistema de Inversión de Capital (SIC) y el Sistema de Gestión de Proyectos (SGP), se identifican brechas relacionadas con la coordinación entre stakeholders, oportunidad y madurez de la información, definición de responsabilidades y trazabilidad de las decisiones, condiciones que pueden generar observaciones tardías, retrabajos y afectar la confiabilidad de las estimaciones.

El objetivo principal del trabajo es diseñar un modelo optimizado de gobernanza para el proceso de estimación de costos, orientado a fortalecer la coordinación organizacional, la responsabilidad, la trazabilidad técnica y la eficiencia en las instancias de revisión, validación y aprobación. Para ello, el estudio considera tres líneas de desarrollo: analizar la situación actual y sus principales brechas; revisar modelos y mejores prácticas nacionales e internacionales en gobernanza, gestión de stakeholders y estimación de costos y desarrollar una propuesta aplicable al contexto de los proyectos mineros de Codelco.

El modelo propuesto se estructura en dos capas complementarias. La primera, denominada capa de definición, establece la arquitectura de gobernanza, las entradas críticas y su madurez, los roles y responsabilidades y la planificación del proceso. La segunda, denominada capa de operación, articula estos elementos mediante nueve Gates Iterativos (H0-H8), que permiten realizar cierres progresivos y validar la información antes de avanzar. De esta forma, la confiabilidad del CAPEX se construye durante todo el proceso y no únicamente en su revisión final.

La propuesta será validada mediante un piloto y KPI asociados al cumplimiento oportuno y madurez de las entradas, supuestos pendientes, hallazgos, retrabajos y cambios posteriores al congelamiento del CAPEX. Adicionalmente, se propone el Índice de Madurez y Confiabilidad del CAPEX (IMC-CAPEX), basado en los atributos de integralidad, documentación, precisión y credibilidad. Estos indicadores permitirán evaluar si el modelo contribuye a mejorar la confiabilidad, completitud y robustez de las estimaciones y a facilitar sus procesos de revisión y aprobación.

Índice

1.	Introducción	9
2.	Definición y Justificación del Tema	11
3.	Objetivos	13
3.1.	Objetivo General	13
3.2.	Objetivos Específicos	13
4.	Alcance del Estudio	15
5.	Metodología de Trabajo de la Tesina	17
	Etapa 1: Diagnóstico de la situación actual del proceso de estimación de CAPEX	17
	Etapa 2: Revisión de literatura y mejores prácticas internacionales	18
	Etapa 3: Diseño de la propuesta de modelo de gobernanza	19
6.	Estado del Arte	20
6.1.	Antecedentes	20
6.1.1.	Rol de Codelco	20
6.1.2.	Rol de la Vicepresidencia de Proyectos	23
6.1.3.	Portafolio de la Vicepresidencia de Proyectos	25
6.1.4.	Ciclo Inversional	27
6.1.5.	Cuerpo Normativo Sistema de Inversión de Capital (SIC) y Sistema de Gestión de Proyectos (SGP)	30
6.1.6.	Normativa Actual Asociada al Proceso de Elaboración de CAPEX	34
6.1.7.	Análisis de Hallazgos del Proceso Actual	44
	Marco Teórico	47
6.1.8.	Gobernanza de proyectos y gestión de stakeholders (PMI)	48
6.1.9.	Atributos de una estimación confiable y el proceso para construirla (GAO) 49	
6.1.10.	Disciplina y madurez de la estimación de costos (AACE International) ...	51
6.1.11.	Planificación temprana y prácticas de excelencia (CII)	53
6.1.12.	Síntesis del marco teórico y orientación de la propuesta	55
7.	Desarrollo de la Propuesta	58
7.1.	Arquitectura de gobernanza	58
7.1.1.	Nivel de dirección y decisión	59
7.1.2.	Nivel de integración del proceso	59
7.1.3.	Nivel de generación y validación técnica	60
7.1.4.	Nivel de aseguramiento externo	60
7.2.	Mapa general del proceso y diagrama SIPOC	61
7.3.	Modelo de entradas críticas y madurez requerida	62

7.2.1.	Entradas de costos directos.....	66
7.2.2.	Entradas de costos indirectos	66
7.2.3.	Entradas de costos del dueño	67
7.4.	Roles, responsabilidades y tomas de decisión	67
7.5.	Plan de Estimación y planificación tipo.....	68
7.6.	Modelo de Gates Iterativos y cierres progresivos	69
7.5.1.	Gate H0: Inicio y Planificación.....	72
7.5.2.	Gate H1: Validación del Alcance, WBS y CBS	73
7.5.3.	Gate H2: Ingeniería, MTO, Precios y Costos Directos	74
7.5.4.	Gate H3: Estrategia, Costos Indirectos y Costos del Dueño	75
7.5.5.	Gate H4: Aprobación del CAPEX Determinístico y VEB.....	75
7.5.6.	Gate H5: Validación de Curva de Compromisos y Escalamiento.....	76
7.5.7.	Gate H6: Riesgos, Sensibilidad y Contingencia.....	77
7.5.8.	Gate H7: Revisión Independiente, Cierre y Aprobación	77
7.5.9.	Gate H8: Retroalimentación y Capitalización de Buenas Prácticas	78
7.7.	Sistema documental y formularios de cierre	79
7.8.	Evaluación de calidad e Índice de Madurez y Confiabilidad	80
7.9.	Indicadores de desempeño del modelo	82
7.10.	Estrategia de implementación y piloto	83
8.	Conclusiones.....	84
9.	Bibliografía	88
10.	Anexos	90
10.1.	Formularios operativos propuestos	90

Índice de Figuras

Figura 5-1	Carta Gantt de la Metodología de Trabajo.....	19
Figura 6-1	Organigrama de Codelco	21
Figura 6-2	Ciclo Inversional	27
Figura 6-3	Cuerpo Normativo del Ciclo Inversional.....	30
Figura 6-4	Estructura Sistema de Gestión de Proyectos	32
Figura 6-5	Relación SIC / SGP	33
Figura 6-6	Aporte de Metodologías a Modelo de Gobernanza.....	47
Figura 6-7	Gobernanza por niveles e involucramiento según PMI.....	49
Figura 6-8	Características de una Estimación Confiable (GAO)	50
Figura 6-9	Proceso de 12 Pasos	50
Figura 6-10	Clases de Estimación AACE	52

Figura 6-11 Influencia Sobre el Costo a lo Largo del Ciclo (CII)	54
Figura 6-12 Arquitectura Metodológica del Modelo de Gobernanza	57
Figura 7-1 Arquitectura de Gobernanza par Elaboración del CAPEX.....	59
Figura 7-2 Modelo SIPOC Modelo de Gobernanza	61
Figura 7-3 Tabla de Hitos/Gates y Entradas Críticas	64
Figura 7-4 Representación de Hitos/Gates y Entradas Críticas	65
Figura 7-5 Matriz RACI.....	67
Figura 7-6 Planificación del Desarrollo de la Estimación.....	69
Figura 7-7 Modelo de Gobernanza Basado en Hitos /Gates Iterativos	71
Figura 7-8 Lógica de Revisión e Iteración en Cada Hito/Gate.....	72
Figura 7-9 Criterios de Calidad de la Estimación	80

Índice de Tablas

Tabla 6-1 Documentos Normativos para Elaboración de CAPEX.....	36
Tabla 6-2 Observaciones a CAPEX Últimos 18 Meses	45
Tabla 6-3 Elementos Conceptuales para el Modelo de Gobernanza.....	55
Tabla 7-1 Tabla de Componentes, Entradas y Evidencias	65
Tabla 7-2 Catálogo de Documentos y Formularios Propuestos	79
Tabla 7-3 Preguntas de Control para Evaluar la Calidad de la Estimación.	81
Tabla 7-4 Indicadores de Desempeño	82
Tabla 7-5 Etapas Propuestas para Implementación.....	83

1. Introducción

La industria minera constituye uno de los pilares estructurales del desarrollo económico de Chile y del mundo. La magnitud de las inversiones requeridas para el desarrollo de nuevos yacimientos, ampliaciones de capacidad, reposición de activos estratégicos y proyectos de sostenibilidad operativa implica la movilización de recursos financieros de alta cuantía, con horizontes de recuperación de largo plazo y exposición significativa a riesgos técnicos, económicos, regulatorios y sociales. En este contexto, la formulación de proyectos de inversión exige no solo excelencia técnica en el diseño de soluciones, sino también rigurosidad metodológica en la estimación de sus costos y en la evaluación integral de su viabilidad.

La estimación de costos en proyectos mineros representa un proceso crítico dentro del ciclo inversional. De ella dependen decisiones estratégicas que comprometen recursos corporativos, capacidad productiva futura y la sostenibilidad financiera de la organización. Una estimación insuficientemente desarrollada puede conducir a desviaciones relevantes durante la ejecución, afectar la credibilidad institucional frente a instancias internas y externas de revisión, y generar impactos en la rentabilidad esperada del proyecto. Por el contrario, una estimación robusta, técnicamente sustentada y adecuadamente validada permite reducir la incertidumbre, fortalecer la toma de decisiones y mejorar la asignación eficiente del capital.

En los últimos años, la complejidad creciente de los proyectos mineros ha incrementado la exigencia sobre los procesos de planificación y control. Factores como la variabilidad en los precios de los commodities, mayores estándares ambientales, requerimientos de eficiencia energética, incorporación de tecnologías emergentes, exigencias comunitarias y presión por disciplina de capital han elevado el nivel de escrutinio sobre las propuestas de inversión. Este entorno obliga a las organizaciones a fortalecer no solo sus capacidades técnicas, sino también sus mecanismos de coordinación, validación y supervisión.

En este escenario, la gobernanza de los proyectos adquiere una relevancia estratégica. Más allá de la existencia de metodologías formales, estándares corporativos y procedimientos técnicos, la efectividad del proceso de estimación depende en gran medida de la articulación adecuada entre los distintos actores involucrados, tales como las áreas técnicas, tanto mineras como de infraestructura, servicios de apoyo a la construcción, necesidades y exigencias del cliente, restricciones y mandatos ambientales, necesidad de campamento, así como las medidas de control deben interactuar bajo criterios comunes, roles definidos y responsabilidades claras. La calidad del resultado no es únicamente consecuencia de la aplicación de fórmulas o herramientas de modelación, sino del grado de integración y coherencia alcanzado durante el desarrollo del estudio. De esta forma se deben establecer, en el momento adecuado del desarrollo, instancias de revisión, mecanismos de aseguramiento de calidad, validaciones entre pares y espacios de toma de decisiones que fortalezcan el caso de negocio. Cuando estos elementos operan de manera coordinada y estructurada, contribuyen a fortalecer la confiabilidad de la información presentada y a disminuir asimetrías entre quienes elaboran las estimaciones y quienes deben evaluarlas y/o aprobarlas. En definitiva, la existencia de estándares formales no garantiza por sí sola la percepción de robustez o completitud de la estimación si los mecanismos de validación no logran integrar adecuadamente las miradas de los distintos interesados.

En un entorno cada vez más exigente y donde los proyectos están sujetos a revisiones técnicas, financieras y estratégicas rigurosas, resulta indispensable reflexionar sobre cómo se están gestionando los procesos de estimación y validación. La integración efectiva de los distintos interesados, la claridad en los roles y la formalización de instancias de revisión constituyen elementos que impactarán directamente en la confiabilidad, robustez y completitud de una estimación de costos de inversión.

2. Definición y Justificación del Tema

La estimación de costos de capital constituye una de las variables más sensibles dentro del análisis económico de proyectos mineros. Desde la perspectiva financiera, el CAPEX corresponde a la principal variable endógena que impacta el Valor Actual Neto (VAN) de las iniciativas de inversión, tal como lo demuestran sistemáticamente los análisis de sensibilidad aplicados a los diferentes casos de negocio. Una variación significativa en el CAPEX puede alterar sustancialmente la rentabilidad proyectada y, en consecuencia, la decisión de invertir.

En organizaciones donde los montos de inversión alcanzan miles de millones de dólares, la confiabilidad de la estimación no es solo un requisito técnico, sino una condición esencial para la legitimidad de la decisión estratégica. Sin embargo, aun cuando existan estándares normativos claros y metodologías formalizadas, persisten brechas asociadas a la forma en que se articulan las áreas involucradas en el proceso. La falta de una integración estructurada puede derivar en validaciones tardías, reinterpretación de supuestos, conflictos jerárquicos y cuestionamientos que debilitan la consistencia del estudio. Dado lo anterior, estas brechas se traducen en retrabajos, demoras en aprobaciones, hallazgos por parte de revisores internos o externos y pérdida de eficiencia en el proceso de inversión. Más aún, afectan la confianza organizacional en las cifras presentadas y en la disciplina de estimación. Bajo este contexto el problema de investigación se formula de la siguiente manera:

¿Cómo, un modelo de gobernanza para el proceso de estimación de costos en proyectos mineros permite aumentar la confiabilidad, robustez y completitud técnica de las estimaciones, mediante la incorporación a tiempo y estructurada de stakeholders clave, minimizando así los hallazgos en instancias de revisión interna y externa?

El desarrollo de la tesina adoptará un enfoque mixto. Desde la perspectiva cualitativa, se analizará el modelo actual de gobernanza, identificando brechas en la integración de stakeholders, definición de roles y procesos de revisión. Desde la perspectiva cuantitativa, se evaluará el impacto de dichas brechas en variables observables tales como hallazgos de revisión, retrabajos, así como tiempos de aprobación.

La combinación de ambos enfoques permitirá estructurar una propuesta formal y fundamentada, orientada a mejorar la robustez del proceso y maximizar las probabilidades de éxito en la aprobación de los CAPEX determinísticos asociados a proyectos mineros.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Diseñar un modelo optimizado de gobernanza para el proceso de estimación de costos (CAPEX) en proyectos de inversión minera, sustentado en el análisis de la situación actual y en la evaluación de mejores prácticas nacionales e internacionales, con el propósito de fortalecer la coordinación organizacional, la responsabilidad, la trazabilidad técnica y la eficiencia en las instancias de revisión, validación y aprobación, conforme la normativa del sistema de inversión y gestión de proyectos.

3.2. Objetivos Específicos

- Analizar la situación actual del modelo de gobernanza aplicado al proceso de estimación de costos (CAPEX) en proyectos de inversión minera de la gran minería estatal chilena, desarrollando un diagnóstico integral de la problemática asociada a la coordinación organizacional, definición de responsabilidades, trazabilidad técnica y fluidez en revisiones y aprobaciones. Este análisis incorporará una dimensión cualitativa, orientada a evaluar la interacción entre stakeholders, criterios de revisión y procesos decisionales así como una dimensión cuantitativa, basada en indicadores tales como hallazgos en revisiones internas y externas, tiempos de aprobación, retrabajos generados.
- Evaluar modelos, enfoques y mejores prácticas internacionales en materia de gobernanza de proyectos, gestión de stakeholders y estimación de costos incluyendo estándares de AACE International y del Project Management Institute (PMI), así como literatura académica y casos comparados en industrias intensivas en capital, con el propósito de identificar y seleccionar el modelo conceptual y las herramientas más pertinentes para abordar las brechas diagnosticadas en el objetivo anteriormente declarado.

- Realizar una propuesta de modelo optimizado de gobernanza para el proceso de estimación de costos en proyectos mineros, incorporando estructuradamente a los stakeholders clave y estableciendo mecanismos formales de coordinación, responsabilidad, trazabilidad técnica y validación transversal. Este modelo será aplicado a la problemática diagnosticada, permitiendo evaluar su impacto en indicadores críticos tales como reducción de hallazgos en revisiones, disminución de retrabajos, mejora en tiempos de aprobación y aumento en la confiabilidad, completitud y robustez del CAPEX.

4. Alcance del Estudio

La presente tesina se circunscribe al análisis y optimización del modelo de gobernanza aplicado al proceso de estimación del CAPEX inversional de los proyectos que conforman la cartera de la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco. El estudio se desarrolla específicamente sobre iniciativas de inversión minera gestionadas bajo el Sistema de Inversión de Capital y el Sistema de Gestión de Proyectos vigentes en la Corporación, considerando su aplicación práctica en etapas preinversionales.

El rango de acción del trabajo se enmarca en el proceso completo de elaboración y validación del CAPEX inversional, iniciando desde la definición del alcance del caso de negocio seleccionado y extendiéndose hasta la aprobación formal del presupuesto por las instancias revisoras correspondientes. En este sentido, el estudio aborda la fase de desarrollo de la ingeniería, ya sea en etapa de prefactibilidad o ingeniería básica, incluyendo la definición de la estrategia de ejecución, la estructuración del proyecto mediante la WBS (Work Breakdown Structure), la identificación de tipos de trabajo y la determinación de cantidades de obra.

El alcance considera específicamente la estimación de costos directos e indirectos asociados al CAPEX, incorporando el análisis de partidas tales como minería, obras civiles, montajes, suministros principales, servicios de apoyo a la construcción, costos del cliente y costos del dueño requeridos para la adecuada materialización del proyecto. Asimismo, incluye el cálculo del escalamiento asociado al desajuste temporal entre la fecha base de estimación y la fecha proyectada de adjudicación de contratos, elemento relevante para asegurar la consistencia de la inversión estimada. Desde el punto de vista del proceso, el estudio evaluará la gobernanza aplicada en las distintas instancias críticas: validación del alcance técnico, definición de la estrategia de ejecución, revisión de la estructura de quiebre del proyecto, compras de equipos principales, consolidación de costos indirectos y determinación de contingencias asociadas. El análisis considerará la interacción entre las áreas técnicas, de

planificación, control de proyectos, finanzas, sustentabilidad y demás stakeholders involucrados, así como las instancias formales de revisión y aprobación.

El ámbito organizacional del estudio se encuentra delimitado a la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco, como unidad responsable del desarrollo de los proyectos estructurales y relevantes para la Corporación. Desde una perspectiva sectorial, la investigación se inserta en el sector de la gran minería del cobre en Chile, caracterizado por inversiones de alta intensidad de capital y elevada exposición a riesgos técnicos y de mercado.

No forman parte del alcance la redefinición de metodologías técnicas de cálculo de estimaciones, sino el análisis y fortalecimiento del modelo de gobernanza que articula la coordinación organizacional, la responsabilidad y la trazabilidad del proceso de estimación. En consecuencia, la tesina se posiciona en el ámbito de la gestión empresarial aplicada a proyectos de inversión minera, con foco en la disciplina de estimación de capital.

5. Metodología de Trabajo de la Tesina

La presente investigación adopta un enfoque metodológico de carácter mixto, combinando herramientas de análisis cualitativo y cuantitativo con el propósito de comprender, diagnosticar y mejorar el modelo de gobernanza aplicado al proceso de estimación de costos de capital (CAPEX) en proyectos de inversión minera. Esta metodología permite abordar el fenómeno desde una perspectiva organizacional y técnica, identificando brechas en la coordinación entre actores, en la trazabilidad de las decisiones y en los procesos de revisión y validación asociados al desarrollo de las estimaciones.

El desarrollo metodológico de la tesina se estructura en tres etapas principales, las cuales se encuentran alineadas con los objetivos específicos definidos para la investigación. Cada etapa contempla un conjunto de actividades y herramientas que permiten obtener la información necesaria para sustentar el análisis, construir el diagnóstico y finalmente diseñar la propuesta de mejora en el modelo de gobernanza del proceso de estimación.

Etapas 1: Diagnóstico de la situación actual del proceso de estimación de CAPEX

Esta etapa tiene como propósito analizar la situación actual del modelo de gobernanza aplicado al proceso de estimación de costos en los proyectos de inversión minera desarrollados por la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco. Para ello se realizará un diagnóstico integral que permita identificar las principales brechas existentes en la coordinación organizacional, definición de responsabilidades, trazabilidad técnica y fluidez de los procesos de revisión y aprobación del CAPEX.

Desde una perspectiva cualitativa, se analizarán los procedimientos, normativas y prácticas organizacionales que regulan el desarrollo de las estimaciones, particularmente aquellas asociadas al Sistema de Inversión de Capital y al Sistema de Gestión de Proyectos vigentes en la Corporación. Asimismo, se evaluará la interacción entre las distintas áreas involucradas en el proceso, tales como ingeniería, adquisiciones, construcción, puesta en marcha, sustentabilidad, control de proyectos, gerencias funcionales y gerencias corporativas, entre otras, con el fin de comprender cómo se articulan las instancias de validación del alcance, definición de supuestos y revisión de las estimaciones.

Complementariamente, se incorporará un análisis cuantitativo orientado a identificar indicadores relevantes del desempeño del proceso. Entre estos indicadores se considerarán variables tales como la cantidad de observaciones o hallazgos generados en instancias de revisión interna y externa, los retrabajos derivados de ajustes en las estimaciones, así como los tiempos requeridos para la aprobación de los presupuestos de inversión. Este análisis permitirá dimensionar el impacto de las brechas identificadas y establecer una línea base de indicadores (KPI) que servirá como referencia para evaluar posteriormente los beneficios del modelo propuesto.

Como resultado de esta etapa se obtendrá una caracterización clara del modelo de gobernanza actual, identificando las principales oportunidades de mejora en la integración de stakeholders, en la claridad de los roles y en la estructuración de las instancias de revisión del CAPEX.

Etapas 2: Revisión de literatura y mejores prácticas internacionales

La segunda etapa tiene como objetivo evaluar modelos, enfoques y mejores prácticas nacionales e internacionales relacionadas con la gobernanza de proyectos, la estimación de costos y la gestión de stakeholders en organizaciones intensivas en capital. Esta revisión permitirá identificar herramientas conceptuales y metodológicas que puedan ser adaptadas al contexto de los proyectos mineros analizados. Para ello se realizará una revisión sistemática de literatura académica y técnica, considerando publicaciones especializadas, papers académicos y estándares desarrollados por organismos internacionales tales como la Association for the Advancement of Cost Engineering International (AACE International), el Project Management Institute (PMI) y la Government Accountability Office (GAO). Asimismo, se analizarán casos comparados de compañías que presentan características similares en términos de complejidad técnica y magnitud de inversión.

El objetivo de esta etapa es identificar modelos de gobernanza, mecanismos de integración de stakeholders, prácticas de aseguramiento de calidad de estimaciones y estructuras de toma de decisiones que contribuyan a fortalecer la robustez del proceso de estimación.

Etapa 3: Diseño de la propuesta de modelo de gobernanza

La tercera etapa consiste en el diseño de un modelo optimizado de gobernanza para el proceso de estimación de costos de capital en proyectos mineros. Este modelo buscará fortalecer la coordinación organizacional, la responsabilidad de los actores involucrados, la trazabilidad de las decisiones técnicas y la eficiencia en las instancias de revisión, validación y aprobación del CAPEX. La propuesta se construirá a partir de los resultados obtenidos en las etapas anteriores, integrando el diagnóstico del modelo actual con las mejores prácticas identificadas en la revisión de literatura. El modelo considerará la definición de instancias formales de revisión, mecanismos de participación estructurada de stakeholders, criterios claros de validación de supuestos técnicos y procedimientos que permitan mejorar la trazabilidad del proceso de estimación. Asimismo, el modelo propuesto permitirá evaluar su impacto potencial mediante la comparación entre los indicadores identificados en el diagnóstico inicial y los indicadores esperados bajo el nuevo esquema de gobernanza. Entre los beneficios esperados se consideran la reducción de hallazgos en revisiones, disminución de retrabajos en estimaciones, mayor claridad en la toma de decisiones y una mejora en la confiabilidad y robustez de los CAPEX presentados para aprobación.

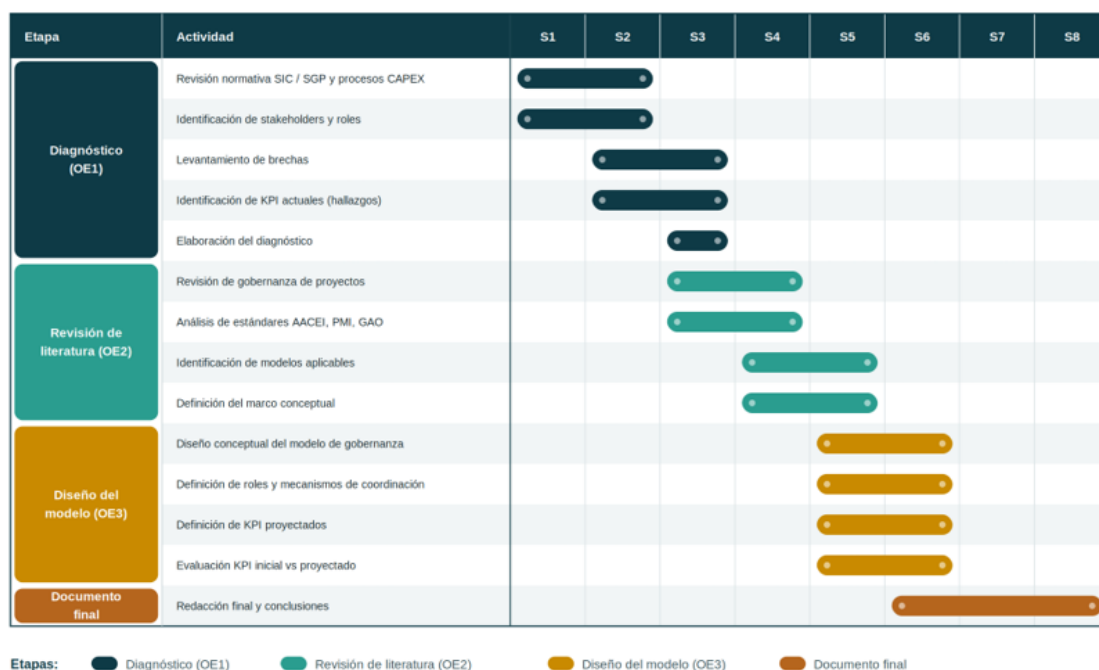


Figura 5-1 Carta Gantt de la Metodología de Trabajo

6. Estado del Arte

6.1. Antecedentes

6.1.1. Rol de Codelco

Codelco fue creada en el año 1976, tras la nacionalización del cobre, consolidándose desde entonces como la principal empresa minera del país. Codelco es una empresa del Estado de Chile, siendo actor relevante en la producción mundial de cobre y por consecuencia impulsando el desarrollo del país. Sus reservas representan aproximadamente un 6% de las reservas globales de cobre, lo que le otorga una posición estratégica tanto a nivel nacional como internacional.

Desde su origen, la Corporación ha tenido un rol que va más allá de la producción minera, su propósito está estrechamente vinculado al desarrollo de Chile, aportando de manera significativa a los ingresos fiscales y, en consecuencia, al financiamiento de políticas públicas. En este sentido, Codelco no solo compete en una industria global altamente exigente, sino que también debe responder a estándares propios de una empresa estatal, donde la generación de valor se evalúa no solo en términos económicos, sino también sociales y ambientales.

En línea con lo señalado en la Memoria 2025, la misión de Codelco se orienta a generar valor para el Estado de Chile a través de la explotación responsable y sostenible de sus recursos mineros, desarrollando operaciones seguras, eficientes y respetuosas con el entorno. Esto implica avanzar hacia una minería que no solo sea competitiva, sino también capaz de responder a los desafíos actuales en materia de sostenibilidad, cambio climático y relacionamiento con las comunidades.

Por su parte, la visión de la compañía apunta a consolidarse como un referente mundial en minería responsable, destacando por su excelencia operacional, su capacidad de innovación y su contribución al desarrollo sustentable del país. Esta visión refleja una aspiración de largo plazo, en la cual la Corporación busca no solo mantener su liderazgo en producción de cobre, sino también posicionarse como un actor relevante en la transición energética global.

En este contexto, la creciente complejidad de la industria minera ha impuesto nuevas exigencias sobre la gestión de la empresa. Factores como la disminución de leyes de mineral, el envejecimiento de los yacimientos, la necesidad de desarrollar proyectos estructurales de gran escala y la presión por una mayor disciplina de capital han obligado a Codelco a fortalecer sus procesos internos, particularmente en lo relacionado con la planificación, ejecución y control de sus inversiones.

Para enfrentar estos desafíos, la Corporación ha avanzado en el fortalecimiento de su modelo de gobierno corporativo, incorporando prácticas alineadas con estándares internacionales. Esto se traduce en una mayor claridad en la toma de decisiones, una separación adecuada entre funciones estratégicas y ejecutivas, y un mayor énfasis en la transparencia y la rendición de cuentas.

El directorio de Codelco cumple un rol central dentro de esta estructura, siendo responsable de definir los lineamientos estratégicos de la organización y supervisar la gestión de la administración. Su composición busca asegurar un adecuado equilibrio entre independencia, experiencia técnica y visión estratégica, lo cual resulta fundamental considerando la magnitud de las inversiones que la empresa gestiona.

Bajo el directorio, la administración ejecutiva —liderada por la Presidencia Ejecutiva— tiene la responsabilidad de implementar la estrategia y coordinar las distintas funciones corporativas. A partir de esta estructura, la organización se articula en torno a diversas vicepresidencias, cada una con responsabilidades específicas que permiten abordar de manera integral las distintas dimensiones del negocio.

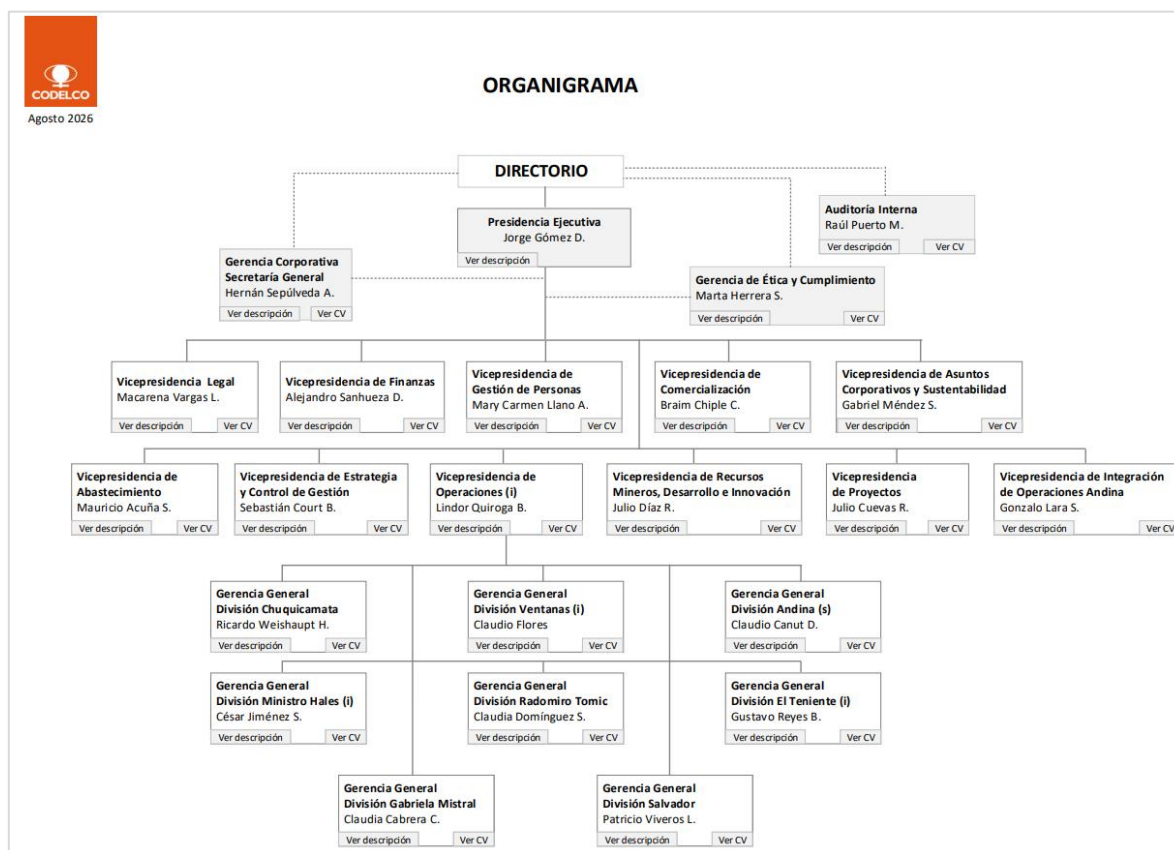


Figura 6-1 Organigrama de Codelco

Dentro de esta estructura, cada vicepresidencia cumple un rol específico que permite a la Corporación operar de manera integrada y alineada con sus objetivos estratégicos.

En este contexto, la Vicepresidencia de Proyectos adquiere una relevancia particularmente estratégica, ya que es la encargada de desarrollar y materializar las iniciativas de inversión que permiten sostener y proyectar el futuro de la compañía. A través de esta función, Codelco no solo asegura la continuidad de sus operaciones actuales, sino que también habilita la ejecución de sus proyectos estructurales, los cuales son fundamentales para mantener su liderazgo en la industria del cobre y responder a los desafíos de largo plazo del negocio. Dada su importancia, esta vicepresidencia será abordada en mayor profundidad en el siguiente apartado.

Adicionalmente, la estructura organizacional de Codelco se complementa con sus divisiones operativas, las cuales constituyen la base productiva de la compañía. Estas unidades, distribuidas a lo largo del territorio nacional, son responsables de la ejecución de las operaciones en terreno y aportan una visión operativa esencial para la toma de decisiones. Su presencia en distintas regiones del país también refuerza el rol de Codelco como actor relevante en el desarrollo territorial y en la generación de empleo y encadenamientos productivos.

Esta combinación de una estructura corporativa centralizada, orientada a la definición estratégica, junto con unidades operativas enfocadas en la ejecución, permite a Codelco lograr un equilibrio entre visión de largo plazo y desempeño operacional. Al mismo tiempo, esta configuración exige altos niveles de coordinación y alineamiento entre las distintas áreas, lo que refuerza la importancia de contar con una organización clara, estructurada y capaz de integrar múltiples miradas en la toma de decisiones.

En definitiva, la estructura organizacional de Codelco refleja la complejidad propia de una empresa estatal de clase mundial, que opera en una industria altamente exigente y que cumple un rol clave para el país. Su capacidad de articular de manera efectiva sus distintas funciones no solo es relevante desde una perspectiva interna, sino también en términos de su aporte al desarrollo económico y social de Chile, consolidándose como una institución estratégica para el presente y futuro del país.

6.1.2. Rol de la Vicepresidencia de Proyectos

Tal como se ha descrito anteriormente, la estructura organizacional de Codelco responde a la necesidad de gestionar una operación compleja, de alto impacto estratégico para el país. Dentro de esta estructura, la Vicepresidencia de Proyectos (VP) cumple un rol central, al ser la encargada de materializar las iniciativas de inversión que permiten sostener la producción de cobre y sus subproductos en el largo plazo, contribuyendo directamente al desarrollo económico de Chile.

En términos generales, la Vicepresidencia de Proyectos es responsable de administrar la cartera de proyectos estructurales, lo que incluye proyectos mayores de MUS\$ 50,0 abarcando todo el ciclo de vida de los mismos, desde las etapas tempranas de ingeniería conceptual (prefactibilidad) y básica (factibilidad), pasando por la ingeniería de detalle, hasta la construcción y puesta en marcha de los activos. Esto la posiciona como un actor clave dentro de la organización, ya que a través de su gestión se concretan las decisiones estratégicas que permiten dar continuidad operativa a Codelco y enfrentar los desafíos propios de la industria minera, tales como el agotamiento de los yacimientos, la disminución de leyes de mineral y la necesidad de desarrollar proyectos estructurales de gran escala.

En las etapas preinversionales, particularmente en los estudios de prefactibilidad y factibilidad, la Vicepresidencia de Proyectos orienta su gestión a maximizar la rentabilidad de las iniciativas, agregando valor en cada una de las fases de desarrollo. Esto implica no solo avanzar en la definición técnica de los proyectos, sino también asegurar que las distintas variables que los componen se encuentren debidamente integradas, con el objetivo de ofrecer a la Corporación el mejor negocio posible. En este contexto, la VP actúa como un articulador entre las distintas áreas de la organización, promoviendo una mirada integral que permita fortalecer la calidad de las definiciones que sustentan los proyectos.

Posteriormente, en la etapa de ejecución inversional, el foco de la Vicepresidencia se orienta a capturar la promesa definida en las fases anteriores, privilegiando aspectos como el cumplimiento de costos y plazos, la calidad de las obras, la seguridad y la sustentabilidad. Para ello, la VP aplica estándares de gestión de proyectos de alto nivel, alineados con las mejores prácticas de la industria, con el objetivo de maximizar el valor económico generado para Codelco y, en consecuencia, para el país.

El principio fundamental que guía a la Vicepresidencia de Proyectos es la impecabilidad en la gestión, este concepto implica velar por la integralidad de los desarrollos, considerando tanto los aspectos técnicos como organizacionales de los proyectos. En la práctica, esto se traduce en la necesidad de coordinar múltiples disciplinas, actores y etapas del ciclo de vida de las iniciativas, asegurando que cada componente del proyecto contribuya de manera coherente al resultado final.

Desde el punto de vista organizacional, la Vicepresidencia de Proyectos presenta una estructura robusta y especializada, que le permite abordar la complejidad de los proyectos estructurales de Codelco. Bajo su dependencia se encuentran diversas gerencias, tales como Proyectos de Minería, Infraestructura, Concentradoras y Lixiviación, Aguas, Relaves, Ingeniería y Construcción, Puesta en Marcha, así como funciones de Planificación y Control, Adquisiciones y Contratos, y Seguridad y Salud Ocupacional. Esta estructura refleja la necesidad de contar con capacidades técnicas y de gestión altamente especializadas, capaces de cubrir todas las dimensiones del desarrollo de proyectos de gran escala.

Adicionalmente, la Vicepresidencia cumple un rol activo en la aplicación de las políticas y normas del sistema inversional de la Corporación, asegurando que los proyectos se desarrollen bajo estándares definidos y consistentes a lo largo de sus distintas etapas. Asimismo, participa en instancias de gobierno corporativo relevantes, como el Comité Ejecutivo y los comités directivos de los proyectos, lo que refuerza su rol estratégico dentro de la organización y su contribución en la toma de decisiones de alto nivel.

Otro aspecto relevante del rol de la Vicepresidencia de Proyectos es su capacidad de articulación con otros actores del proceso inversional. Si bien la VP lidera el desarrollo de los proyectos, su éxito depende de la interacción efectiva con áreas como operaciones, recursos mineros, planificación, finanzas y sustentabilidad, entre otras. En este sentido, la VP no solo ejecuta proyectos, sino que también coordina y alinea a la organización en torno a objetivos comunes, asegurando que los distintos aportes se integren de manera coherente.

En definitiva, la Vicepresidencia de Proyectos constituye un pilar fundamental dentro de la estructura de Codelco, al ser la unidad encargada de transformar las definiciones estratégicas en activos concretos que permiten sostener la producción de cobre en el tiempo. Su rol no solo es clave para la continuidad operacional de la empresa, sino también para el cumplimiento de su misión como empresa estatal, contribuyendo de manera directa al desarrollo económico y social de Chile.

6.1.3. Portafolio de la Vicepresidencia de Proyectos

El Plan de Inversiones 2025 de Codelco refleja la magnitud y complejidad del desafío que enfrenta la Corporación en términos de desarrollo de proyectos, alcanzando un nivel de inversión cercano a los US\$ 5.200 millones, el más alto en su historia. Este esfuerzo inversionista se distribuye principalmente entre la Cartera de Aprobación para Inversión (API) y otras líneas asociadas al desarrollo de minas y continuidad operacional, evidenciando una gestión intensiva de capital en múltiples frentes simultáneos.

La cartera de inversiones se estructura en distintas categorías que responden a objetivos específicos. Por una parte se encuentran los proyectos estructurales, que constituyen el eje central para sostener la producción futura de la Corporación, por otra, existen iniciativas orientadas a asegurar la continuidad operacional como relaves, botaderos y reposición de equipos, junto con proyectos de exploración y nuevas líneas de desarrollo, incluyendo el negocio del litio.

Dentro de este contexto, los proyectos estructurales adquieren un rol particularmente crítico, no solo por el volumen de inversión que representan, sino por su impacto directo en la capacidad productiva futura de Codelco. Estos proyectos concentran una parte relevante del gasto de la cartera y requieren altos niveles de coordinación técnica, organizacional y estratégica para su correcta ejecución.

Los principales proyectos estructurales actualmente en desarrollo son los siguientes:

- **Chuquicamata Subterránea (MUS\$ 1.577):** Proyecto orientado a dar continuidad operacional a la División Chuquicamata mediante la explotación subterránea de los recursos remanentes del yacimiento. Actualmente en fase de operación y expansión, contempla el desarrollo progresivo de nuevos niveles productivos, lo que implica desafíos relevantes en términos de ingeniería, ventilación, infraestructura y secuencia de explotación.
- **Rajo Inca – División Salvador (MUS\$ 2.704):** Iniciativa que constituye el principal eje de desarrollo de la División Salvador, permitiendo su continuidad operacional a través de una nueva explotación a rajo abierto. El proyecto ha alcanzado altos niveles de avance constructivo y se encuentra en etapas avanzadas de puesta en marcha, consolidando su rol estratégico dentro del portafolio.
- **Cartera de Proyectos División El Teniente (MUS\$ 6.253):** Conjunto de proyectos constituidos por Andes Norte, Nuevo Nivel Mina, Andesita y Diamante, los cuales buscan extender significativamente la vida útil de la

división, mediante el desarrollo de nuevas áreas de explotación en zonas profundas del yacimiento. Estas iniciativas consideran infraestructura subterránea de alta complejidad, sistemas de manejo de mineral y soluciones de transporte, lo que exige una coordinación técnica y constructiva de alto nivel.

- **Traspaso Andina (MUS\$ 1.646):** Proyecto orientado a asegurar la continuidad operacional de la División Andina mediante la transformación de su modelo de explotación, incorporando infraestructura clave como sistemas de chancado y transporte de mineral. Durante 2025 alcanzó el término de su etapa constructiva, marcando un hito relevante dentro del portafolio de inversiones de la Corporación.

Junto con los proyectos en ejecución, Codelco mantiene una cartera activa de estudios en desarrollo, los cuales constituyen la base para la futura materialización de nuevas iniciativas de inversión. Esta cartera está compuesta por estudios en distintas disciplinas como infraestructura, minería, relaves, aguas, concentradoras, lixiviación y fundiciones los cuales que se encuentran en etapas de prefactibilidad y factibilidad requiriendo procesos rigurosos de definición técnica y evaluación económica.

Dentro de los principales estudios en desarrollo destacan:

- Relaves Espesados (Factibilidad)
- Continuidad Nivel 1 Chuquicamata Subterránea (Factibilidad)
- TOVE 5 (Factibilidad)
- Desarrollo Carén (Factibilidad)
- SAR Recirculación Andina (Factibilidad)
- RT Sulfuros (Factibilidad.)
- Cierre Faenas Fundición Ventanas (Prefactibilidad)
- Nivel 2 Chuquicamata Subterránea (Factibilidad)
- Mejoras en captación y sistemas DS32 en Chuquicamata, Salvador y El Teniente (Prefactibilidad)

A diferencia de los proyectos en ejecución, estas iniciativas presentan un mayor nivel de incertidumbre, dado que sus definiciones aún se encuentran en proceso de consolidación. En este contexto, la estimación de CAPEX se transforma en un elemento clave para dimensionar las inversiones requeridas y sustentar las decisiones futuras. En este sentido, la cartera de estudios en desarrollo representa un espacio donde la gobernanza adquiere una relevancia crítica, ya que es en estas etapas donde se construyen las bases que sustentarán las decisiones de inversión futuras. La capacidad de integrar adecuadamente a los stakeholders, validar oportunamente los supuestos y asegurar la coherencia entre las distintas definiciones permitirá no solo

mejorar la calidad de las estimaciones, sino también maximizar las probabilidades de cumplimiento de los proyectos y su aporte de valor para el negocio.

6.1.4. Ciclo Inversional

El desarrollo de proyectos de inversión en Codelco se estructura a través de un ciclo inversional formal, el cual se encuentra regulado principalmente por el Sistema de Inversión de Capital (SIC) y complementado por el Sistema de Gestión de Proyectos (SGP) de la Vicepresidencia de Proyectos. Ambos sistemas buscan asegurar que las decisiones de inversión se desarrollen de manera ordenada, progresiva y alineada con los objetivos estratégicos de la Corporación, estableciendo etapas claramente definidas, responsables específicos y distintos mecanismos de revisión y aprobación.

El ciclo se estructura en dos grandes fases: la fase preinversional, compuesta por los estudios de Perfil (FEL 1), Prefactibilidad (FEL 2A y FEL 2B) y Factibilidad (FEL 3); y la fase inversional, compuesta por la Ejecución y la Puesta en Marcha (PEM), que culmina con la entrega del activo al cliente que corresponderá a una de las Divisiones de Codelco responsables de su operación continua.

Desde el punto de vista metodológico, el modelo FEL corresponde a la base sobre la cual se desarrolla el proceso inversional. Este enfoque permite aumentar gradualmente el nivel de definición del proyecto, disminuir incertidumbres y fortalecer la calidad de las decisiones antes de comprometer inversiones de gran magnitud.

Gráficamente el proceso se puede visualizar de la siguiente manera:

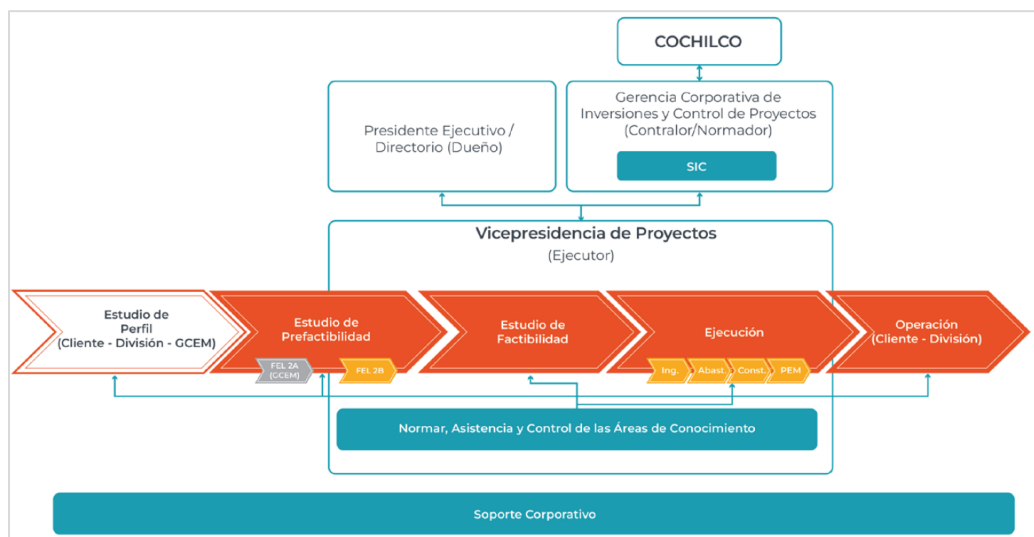


Figura 6-2 Ciclo Inversional

La primera etapa correspondiente al Perfil o FEL 1, es donde se identifican las oportunidades de negocio y se desarrollan las primeras definiciones estratégicas del proyecto. En esta fase se busca alinear las necesidades operacionales con las futuras soluciones de ingeniería, estableciendo elementos fundamentales que condicionarán el desarrollo posterior de la iniciativa. Para proyectos mayores, el rol ejecutor en esta etapa es asumido principalmente por la Gerencia Corporativa de Estudios Mineros (GCEM).

Dentro de FEL 1 se destaca el proceso denominado BEAM (Business and Engineering Alignment Meeting), cuyo objetivo es alinear tempranamente el negocio con la ingeniería que posteriormente será desarrollada. En esta instancia se definen aspectos estratégicos tales como vida útil, capacidad de planta, tecnologías, automatización, mantenibilidad y constructibilidad, entre otros factores que impactarán directamente en las futuras definiciones del proyecto.

Posteriormente y luego de las revisiones que dan luces sobre la viabilidad del negocio, el proyecto avanza hacia la etapa de Prefactibilidad o FEL 2. Durante esta fase se analizan distintas alternativas de desarrollo, buscando seleccionar aquella que represente el mejor negocio para la Corporación. Esta etapa se divide en FEL 2A y FEL 2B, siendo este último el momento en que la Vicepresidencia de Proyectos asume formalmente el liderazgo del estudio como ejecutor principal.

En FEL 2B comienzan a consolidarse elementos clave para el desarrollo futuro del proyecto. Entre ellos destacan la definición de la estrategia de ejecución, la definición de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT o WBS), la elaboración del programa maestro, la definición de áreas constructivas y el desarrollo del Plan de Ejecución del Proyecto (PEP).

En esta etapa también se incorporan metodologías como AWP (Advanced Work Packaging) y BIM (Building Information Modeling), las cuales permiten integrar tempranamente disciplinas como ingeniería, construcción, abastecimiento, control de proyectos y puesta en marcha bajo una lógica común de planificación y trazabilidad. El objetivo de estas herramientas es mejorar la coordinación entre las distintas áreas y facilitar una ejecución más eficiente y predecible del proyecto.

Una vez seleccionada la alternativa y avanzadas las definiciones principales, el proyecto ingresa a la etapa de Factibilidad o FEL 3. En esta fase se profundiza el desarrollo de la ingeniería y se consolida el nivel de madurez requerido para sustentar la decisión final de inversión. Aquí se refinan las estimaciones de CAPEX, se robustecen los análisis de riesgos y se consolidan los antecedentes técnicos y económicos que conforman el expediente de inversión. Esta etapa posee un alto nivel de exigencia en términos de completitud y coherencia técnica. Dado lo anterior, el Sistema de Gestión de Proyectos se hace cargo de esta exigencia estableciendo distintos mecanismos de revisión y aseguramiento de calidad. La Gerencia de

Ingeniería y Construcción (GIC) lidera un acompañamiento funcional permanente durante el desarrollo del estudio, mediante talleres de alineamiento, revisiones interdisciplinarias y validaciones técnicas orientadas a asegurar la consistencia entre las distintas disciplinas que conforman el proyecto.

Una vez aprobada la Factibilidad y autorizados los fondos correspondientes, el proyecto ingresa a la etapa de Ejecución. En esta fase, la Vicepresidencia de Proyectos tiene la responsabilidad de materializar el activo comprometido, gestionando de manera integrada variables como alcance, plazo, costo, calidad, seguridad y sustentabilidad.

Durante la ejecución se desarrollan las actividades de ingeniería de detalle, adquisiciones, construcción, integración de sistemas y preparación operacional. Paralelamente, se mantienen procesos permanentes de seguimiento y control mediante revisiones independientes y mecanismos corporativos de monitoreo de inversiones.

Finalizada la construcción, el proyecto avanza hacia la etapa de Puesta en Marcha y Entrega al Cliente. En esta instancia se verifica que las instalaciones cumplan las condiciones de diseño y desempeño comprometidas, ejecutándose pruebas operacionales, entrenamiento de operadores y transferencia documental. Asimismo, se formalizan los criterios de recepción y entrega entre el ejecutor y el cliente operacional, permitiendo el traspaso gradual de los activos hacia la operación.

Finalmente, el ciclo inversional concluye con la entrega formal de los activos a las divisiones operativas de Codelco, quienes asumen la responsabilidad de operar las instalaciones desarrolladas. Posteriormente, se ejecuta el proceso de post evaluación de la inversión, cuyo propósito es verificar el cumplimiento de los beneficios comprometidos y capturar lecciones aprendidas que permitan fortalecer el desarrollo de futuros proyectos.

6.1.5. Cuerpo Normativo Sistema de Inversión de Capital (SIC) y Sistema de Gestión de Proyectos (SGP)

Como ya se había mencionado en el título anterior, el desarrollo de proyectos en Codelco se encuentra sustentado sobre un marco normativo amplio y estructurado, el cual busca asegurar que las inversiones se desarrollen de manera ordenada, consistente y alineada con los objetivos estratégicos de la Corporación. En este contexto, los dos principales sistemas que regulan el desarrollo de las iniciativas de inversión son el Sistema de Inversión de Capital (SIC) y el Sistema de Gestión de Proyectos (SGP), ambos complementarios y fundamentales para el funcionamiento del modelo inversional de la empresa.

En términos generales, el SIC corresponde al sistema corporativo mediante el cual Codelco administra y controla el desarrollo de sus inversiones. Su propósito principal es asegurar que los proyectos efectivamente generen valor para la Corporación y que las decisiones de inversión se adopten sobre la base de antecedentes técnicos y económicos suficientemente maduros. Para ello, el sistema establece las distintas etapas del ciclo inversional, los niveles de aprobación requeridos, los criterios de madurez de cada fase y las instancias de revisión que deben cumplirse antes de avanzar en el desarrollo de una iniciativa.

La estructura del SIC es la que se representa a continuación:

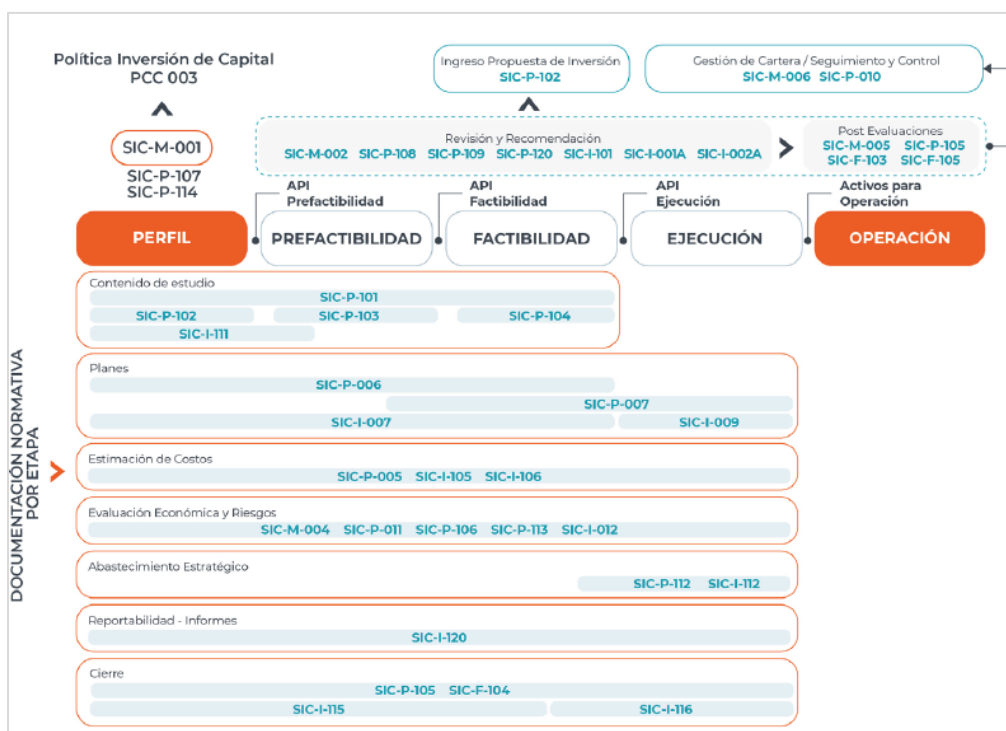


Figura 6-3 Cuerpo Normativo del Ciclo Inversional

Esta representación muestra cómo se estructura la documentación normativa del Sistema de Inversión de Capital (SIC) a lo largo del ciclo inversional de Codelco. En términos simples, permite visualizar que el desarrollo de una inversión no avanza de manera informal ni menos aleatoria, sino siguiendo una secuencia ordenada de etapas: Perfil, Prefactibilidad, Factibilidad, Ejecución y Operación. Cada una de estas fases cuenta con documentos, procedimientos e instructivos específicos que regulan qué información debe desarrollarse, qué revisiones deben realizarse y qué condiciones deben cumplirse antes de avanzar a la siguiente etapa.

En la parte superior se observa que la Política de Inversión de Capital actúa como marco rector del sistema, mientras que documentos como el SIC-M-001, SIC-P-107 y SIC-P-114 establecen lineamientos generales sobre el modelo de inversión, roles y responsabilidades.

Adicionalmente se evidencia que existen procesos transversales que acompañan todo el ciclo inversional, tales como la gestión de cartera, seguimiento y control, revisiones independientes, recomendaciones, post evaluaciones y cierre. Esto es relevante porque muestra que el SIC no solo regula el inicio de los proyectos, sino también su seguimiento, evaluación posterior y transferencia hacia operación.

Por último, en la parte inferior de la imagen se agrupan los documentos normativos por ámbitos de gestión: contenido de estudio, planes, estimación de costos, evaluación económica y riesgos, abastecimiento estratégico, reportabilidad e informes, y cierre. Esta organización permite entender y reforzar que la estimación de CAPEX no se construye de manera aislada, sino que interactúa ya sea obteniendo datos de entrada o generando datos para habilitar otros procesos ya sea desde el alcance técnico, la planificación, la estrategia de ejecución, los riesgos, la evaluación económica, el abastecimiento y los procesos de cierre. Por lo tanto, acá es donde se marca el punto que aunque el SIC define claramente los documentos y requisitos que deben cumplirse, el desafío está en asegurar que estos elementos se integren oportunamente entre los distintos stakeholders, evitando que las brechas aparezcan recién al final de las revisiones formales.

Por su parte, el SGP corresponde al sistema utilizado por la Vicepresidencia de Proyectos para gestionar y ejecutar los proyectos durante todas sus etapas de desarrollo. A diferencia del SIC, que tiene un enfoque más corporativo y estratégico, el SGP posee una orientación mucho más operacional y metodológica. En la práctica, entrega lineamientos, procedimientos y herramientas para desarrollar ingeniería, planificación, construcción, abastecimiento, contratos, gestión de riesgos, seguridad, sustentabilidad y puesta en marcha, entre muchas otras disciplinas que forman parte del desarrollo de un proyecto minero.

Su estructura conceptual se puede representar de la siguiente manera:

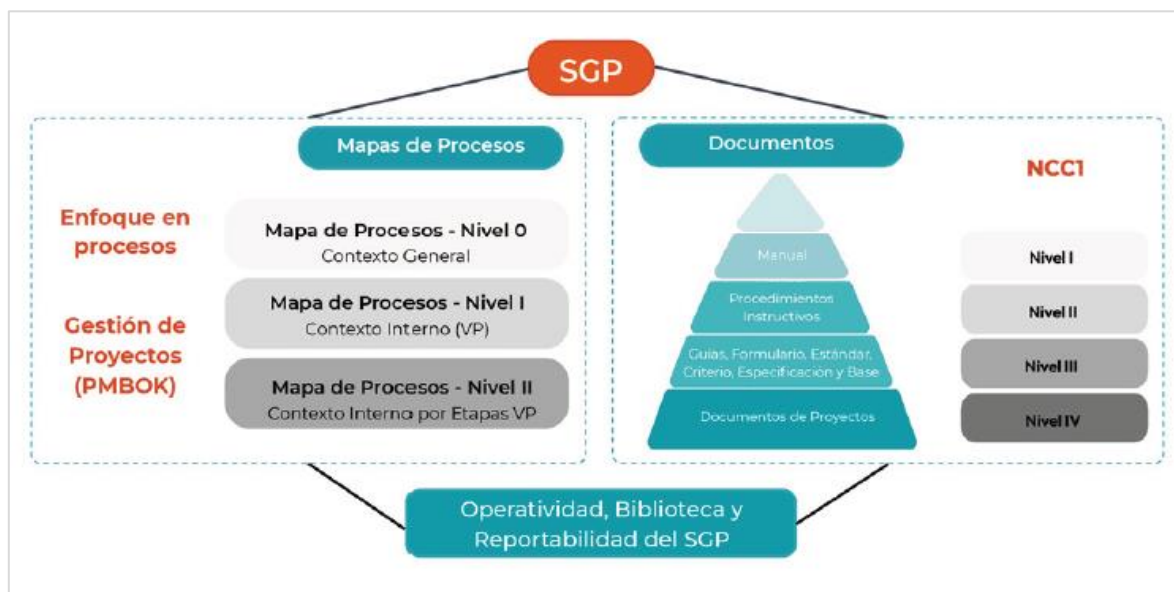


Figura 6-4 Estructura Sistema de Gestión de Proyectos

Esta figura permite entender cómo se encuentra estructurado el Sistema de Gestión de Proyectos (SGP) de la Vicepresidencia de Proyectos y cómo este busca ordenar la gestión de las iniciativas de inversión dentro de Codelco. En términos simples, el SGP corresponde al marco metodológico utilizado para desarrollar y ejecutar los proyectos, estableciendo una forma común de trabajo entre las distintas áreas y disciplinas que participan durante el ciclo de vida de una iniciativa.

Por una parte, el esquema muestra que el sistema se encuentra construido bajo un enfoque de gestión por procesos y alineado a conceptos asociados al Project Management Body of Knowledge (PMBOK). Para ello, el SGP organiza sus procesos en distintos niveles. El Nivel 0 entrega una visión general del contexto del sistema; el Nivel 1 muestra los principales procesos internos de la Vicepresidencia de Proyectos; y el Nivel 2 profundiza en los procesos específicos que se desarrollan en cada etapa del proyecto. Esta estructura permite ir desde una mirada estratégica y general hacia un nivel mucho más operativo y detallado.

Adicionalmente, el sistema organiza la documentación mediante una estructura jerárquica. En la parte superior se encuentra el manual, el cual establece los lineamientos generales del modelo de gestión. Luego aparecen procedimientos e instructivos, que regulan la forma en que deben ejecutarse distintas actividades. Más abajo se ubican guías, estándares, criterios, formularios y especificaciones técnicas, mientras que en la base se encuentran los documentos propios de cada proyecto. En la práctica, esta estructura busca asegurar que todos los equipos trabajen bajo criterios comunes y con trazabilidad sobre las decisiones adoptadas.

En términos generales, Codelco posee un sistema metodológico robusto para gestionar sus proyectos de inversión. Sin embargo, también permite visualizar uno de los desafíos que actualmente enfrenta la organización: lograr que toda esta estructura normativa y documental efectivamente permita integrar de manera oportuna a los distintos stakeholders que participan en el desarrollo de los proyectos y en la construcción del CAPEX. En otras palabras, el desafío ya no parece estar únicamente en disponer de procedimientos y estándares, sino en cómo se articulan las distintas disciplinas y áreas para transformar esa estructura metodológica en un proceso realmente integrado y sistémico.

Ambos sistemas se relacionan de manera permanente y funcionan como partes de una misma estructura de gobernanza. Dado lo anterior, el SIC regula la toma de decisiones de inversión y el SGP entrega la metodología para construir los antecedentes que sustentan esas decisiones.

La relación de ambos sistemas se presenta en la siguiente figura:



Figura 6-5 Relación SIC / SGP

Esta relación se vuelve especialmente importante en una organización como Codelco, donde los proyectos poseen altos niveles de complejidad técnica, organizacional y financiera. Iniciativas como Chuquicamata Subterránea, Rajo Inca o los proyectos de la cartera Teniente, involucran inversiones de gran magnitud, múltiples disciplinas técnicas y plazos de desarrollo extensos, por lo que requieren una coordinación permanente entre distintas áreas de la Corporación.

Como ya se comentó anteriormente es aquí en donde comienza a aparecer uno de los principales desafíos asociados al modelo actual. Tanto el SIC como el SGP poseen un alto nivel de desarrollo desde el punto de vista normativo y metodológico. Existen procedimientos, estándares, revisiones, entregables y múltiples mecanismos de control. Sin embargo, la forma en que interactúan las distintas áreas y stakeholders durante el desarrollo de la estimación de costos de inversión es un elemento que no

ha logrado el desarrollo que a la fecha se hace necesario. En términos generales, el sistema define bastante bien qué debe hacerse y cuáles son los antecedentes requeridos para avanzar entre etapas. No obstante, existe un menor nivel de definición respecto al “cómo” deben integrarse oportunamente las distintas disciplinas y actores para construir una estimación sistémica y de acuerdo con los planes del proyecto.

En la práctica, esto genera que muchas validaciones relevantes ocurran de manera tardía, normalmente al cierre de una etapa o durante procesos formales de revisión corporativa. Como consecuencia, los proyectos enfrentan retrabajos, ajustes en las estimaciones de forma tardía y extensiones en los tiempos de aprobación. Más aún, estas dinámicas terminan afectando la percepción de robustez y confiabilidad de los antecedentes presentados, especialmente cuando las observaciones aparecen en etapas avanzadas del proceso inversional. Lo anterior será respaldado con la estadística que se dispondrá en el punto 6.1.7 “Análisis de Hallazgos del Proceso Actual”.

Por lo mismo, el principal desafío ya no pasa únicamente por contar con procedimientos o estándares técnicos adecuados, sino por la capacidad de articular de manera efectiva a todos los actores que participan en la construcción del proyecto y de sus estimaciones de inversión.

Desde esta perspectiva, el problema comienza a desplazarse desde el ámbito puramente normativo hacia un desafío más organizacional y de coordinación transversal. Es decir, el desafío no necesariamente está en la falta de procedimientos, sino en cómo dichos procedimientos logran facilitar una interacción sistémica entre los distintos stakeholders involucrados en el desarrollo del CAPEX.

6.1.6. Normativa Actual Asociada al Proceso de Elaboración de CAPEX

La elaboración del CAPEX en los proyectos de inversión minera de la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco se desarrolla sobre una base normativa establecida y conocida por los profesionales de la Corporación, donde el Sistema de Inversión de Capital (SIC) y el Sistema de Gestión de Proyectos (SGP) cumplen roles complementarios. En términos simples, el SIC establece el estándar que debe cumplir la estimación, es decir, define el “qué” debe lograrse en cada etapa del ciclo inversional. En cambio, el SGP entrega los instructivos y procedimientos que permiten llevar ese estándar a la práctica, indicando el “cómo” debe organizarse, desarrollarse, documentarse y validarse la estimación.

Esta relación SIC–SGP es relevante porque permite ordenar el proceso de estimación bajo una lógica común. No se trata solo de llegar a un número final de inversión, sino de construir una estimación que sea trazable, consistente con el alcance del proyecto, coherente con la ingeniería disponible, respaldada por criterios de precios y rendimientos, y alineada con los requerimientos de revisión y aprobación de la

Corporación. En ese sentido, el CAPEX no debe entenderse como una planilla de costos, sino como el resultado de un proceso técnico y organizacional que integra información de múltiples áreas y que da cuenta de cómo el alcance, la estrategia y los planes del proyecto decantan en un monto de inversión.

Dentro del desarrollo del CAPEX, los costos se van estructurando principalmente en Costos Directos, Costos Indirectos y otros componentes asociados, tales como Costos del Dueño, Escalamiento y Contingencia. Sus principales definiciones son las que se presentan a continuación:

1. Los Costos Directos corresponden a aquellos elementos asociados de manera directa con la materialización física del proyecto, tales como equipos principales, materiales, obras civiles, montaje, instalaciones, obras mineras, cañerías, electricidad, instrumentación y otros componentes que forman parte del activo que se construirá. Su estimación depende de cantidades establecidas en el documento conocido como Material Take Off (MTO), así como de precios, rendimientos, productividades y crecimientos tanto de cantidades como de precios, dependiendo del nivel de desarrollo de la ingeniería.
2. Los Costos Indirectos, en cambio, corresponden a costos necesarios para ejecutar el proyecto, pero que no se asocian directamente a una partida física específica. Pueden incluir instalaciones de faena, administración de construcción, supervisión, servicios de apoyo, logística, campamentos, movilización, gestión de permisos, apoyo a puesta en marcha, costos corporativos y otros conceptos que permiten que el proyecto se desarrolle adecuadamente. En etapas tempranas pueden estimarse como porcentaje de costos directos o mediante factores, mientras que en etapas más maduras son calculados con mayor nivel de detalle, considerando la estrategia de ejecución y la duración del programa maestro.
3. Los Costos del Dueño corresponden a los costos asociados al equipo de Codelco, o a personal que, aun no perteneciendo directamente a la organización, ejecuta labores propias del Dueño dentro del estudio o proyecto. Incluyen actividades tales como contraparte técnica de estudios, ingeniería de detalle, adquisiciones, programación, control de proyecto, supervisión, QA/QC, control documental y otras funciones de apoyo del mandante.
4. El Escalamiento es una provisión de costos que reconoce el efecto de variaciones esperadas de precios durante el período de ejecución del proyecto. Para su cálculo, el instructivo SGP establece una secuencia basada en la agrupación del CAPEX, definición del flujo por año, asignación de escaladores por agrupación, consideración de efectos IPC/IPM cuando corresponda, y cálculo del escalamiento anual. Los costos indicados entre el punto 1 al 5 darán origen al Valor Estimado Base (VEB).

5. La Contingencia es un monto agregado al Valor Estimado Base para cubrir imprecisiones y variaciones propias del desarrollo del estudio o proyecto. No debe utilizarse para incorporar costos ajenos al alcance definido, sino para reflejar el nivel de incertidumbre remanente de la estimación.

Con la completitud de estos 5 tipos de costos, se tendrá la inversión total estimada que corresponderá a uno de los datos de entrada para la evaluación económica de los proyectos.

Explicados los principales tipos de costos, los cuales en su conjunto constituirán la Inversión Total Estimada (ITE), se procede a listar los documentos normativos que rigen el proceso de estimaciones de costos:

Código de Documento	Descripción
SIC-P-005	Bases de Estimación de Costos
SGP-03CDP-INSGS-00004	Instructivo Estructura de Quiebre de Trabajo (WBS)
SGP-03EYC-INSGS-00005	Instructivo Plan de Estimación
SGP-03EYC-PROGS-00002	Procedimiento de Estimación de Costos
SIC-I-105	Instructivo Determinación de Costos del Dueño
SGP-03EYC-INSGS-00002	Instructivo Cálculo del Escalamiento
SIC-I-106	Instructivo Determinación de la Contingencia
SGP-03EYC-PROGS-00001	Procedimiento de Estimación de Contingencia
SGP-03EYC-INSGS-00007	Instructivo Elaboración de Bases de Estimación

Tabla 6-1 Documentos Normativos para Elaboración de CAPEX

A continuación, se detallará el alcance de cada documento normativo

Bases de Estimación de Costos

En este contexto, el documento que marca el punto de partida y que corresponde a la referencia para cualquier tipo de revisión es el SIC-P-005, Bases de Estimación de Costos, ya que establece los requerimientos de calidad y precisión que deben cumplir las estimaciones de costos de capital en las etapas de Perfil, Prefactibilidad, Factibilidad y Ejecución. Este procedimiento define la calidad de estimación que debe alcanzarse durante los estudios y también las condiciones para estimaciones definitivas que puedan requerirse durante la etapa de ejecución. Además, señala que la preparación de la estimación debe estar asociada a la calidad de los entregables disponibles para documentar el nivel de precisión declarado. Su principal aporte es establecer que cada etapa del ciclo inversional debe contar con una clase de estimación acorde con el nivel de madurez del proyecto, entendido como el nivel de desarrollo con el cual cuenta la ingeniería. De esta forma, no se exige el mismo nivel de detalle a un proyecto en Perfil que a uno en Factibilidad, porque la ingeniería, los estudios, los antecedentes de mercado y las definiciones de ejecución no tienen el mismo grado de desarrollo.

En el caso de la etapa de Perfil (FEL1), la estimación corresponde normalmente a una Clase 5. Esta clase se asocia cuando el proyecto aún se encuentra en una fase temprana de definición, por lo que la información disponible es principalmente conceptual. En esta etapa, la estimación permite dimensionar preliminarmente la oportunidad de negocio, comparar alternativas de forma muy general y evaluar si corresponde avanzar hacia estudios más detallados. En general, esta fase se sustenta en experiencias anteriores, factores globales, información de benchmarking o valores conceptuales, dado que aún no existe un nivel de ingeniería suficiente para dimensionar con precisión.

En la etapa de Prefactibilidad (FEL2), la estimación avanza hacia una Clase 4. Aquí ya existe mayor definición del alcance y se comienzan a evaluar alternativas con un nivel superior de ingeniería. No obstante lo anterior, la estimación sigue teniendo incertidumbre, pero ya permite comparar opciones de desarrollo de manera más objetiva y con mayores antecedentes. En esta fase se utiliza, información preliminar de ingeniería, criterios de planificación y estructuras de costos que permitan distinguir con mayor claridad los principales componentes del CAPEX, así como factorizaciones de precios y/o cantidades.

Luego, en la etapa de Factibilidad (FEL3), la estimación debe alcanzar una Clase 3, dado que corresponderá al sustento para la toma de decisión de inversión (avanzar hacia la construcción del proyecto). Esta clase exige un nivel de madurez mayor, ya que el CAPEX deja de ser solo una referencia para análisis preliminares y se transforma en un elemento central para solicitar autorización de fondos. En esta etapa ya se cuenta con ingeniería básica desarrollada, criterios de diseño firmes, cantidades confiables, bases de precios robustas, definición de estrategia de ejecución, análisis

de riesgos, planificación integrada y respaldo suficiente para sustentar la inversión presentada.

Por último, durante la etapa de Ejecución, se requieren estimaciones definitivas Clase 2, las cuales se construyen con información a firme en donde la gran mayoría proviene de contratos adjudicados con precios a firme, con ingeniería de detalle en gran parte desarrollada.

La lógica de clases de estimación es clave en este proceso, porque relaciona la precisión esperada con el nivel de información disponible en función del desarrollo de la ingeniería. Esta distinción es muy relevante porque una estimación no es robusta únicamente porque tenga muchas partidas o un alto nivel de desglose. Su robustez depende de la calidad de los antecedentes que la respaldan, por ejemplo, una cantidad proveniente de un plano de ingeniería básica no tiene el mismo nivel de certeza que una cantidad estimada por factor. De igual forma, un precio obtenido mediante cotización formal no tiene el mismo nivel de respaldo que un precio referencial tomado de un proyecto similar. En consecuencia, la clase de estimación debe ser coherente con la madurez real de la ingeniería y con la calidad de los documentos disponibles.

Estructura de Quiebre de Trabajo (WBS)

Luego de explicado el concepto de las clases de estimación y su relación con el nivel de desarrollo de la ingeniería, la normativa actual de la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco, se enfoca fuertemente en la forma de ordenar y caracterizar el alcance del proyecto en el CAPEX. Dado lo anterior, un elemento relevante corresponde a la estructura de descomposición del trabajo, principalmente mediante la WBS o Estructura de Quiebre de Trabajo, regulada por el SGP-03CDP-INSGS-00004. Este instructivo busca establecer una codificación que facilite la identificación de áreas físicas en donde se construirán los activos del proyecto, suministros para la construcción, desarrollo de la ingeniería y los costos indirectos tales como servicios de apoyo a la construcción, costos del cliente, costos de administración y servicios que permitan dar el soporte para el correcto desarrollo del proyecto. Esto permitirá una adecuada elaboración de la estimación de capital la cual contenga todos los elementos requeridos para el desarrollo de la iniciativa de inversión.

En este sentido, la WBS cumple un rol clave dentro del proceso, porque permite asegurar que el alcance completo del proyecto quede organizado y contenido dentro de la estimación. En simple, evita que el CAPEX se construya como una suma desestructurada de partidas, sin una relación clara con el alcance técnico, verificando que todo lo diseñado, planificado y requerido para ejecutar el proyecto esté considerado en la estimación.

Plan de Estimación

El Plan de Estimación, regulado por el SGP-03EYC-INSGS-00005, es un documento normativo relevante dado que permite ordenar el proceso antes de comenzar la elaboración del CAPEX. En él se debe definir el alcance de la estimación, la clasificación y tipo de estimación, las tasas de cambio asumidas, los hitos del proceso, la matriz de responsabilidades, la estrategia de ejecución de la estimación, la metodología para contingencia, el cronograma de actividades y la lista de verificación del estimador.

Este documento tiene como objetivo principal alinear al equipo respecto de cómo se construirá el CAPEX, dejando claro qué se va a estimar, con qué información, quiénes participarán, qué entregables se usarán, qué fechas deben cumplirse y bajo qué criterios se evaluará la calidad del resultado. Es importante destacar que este plan es aprobado por la Dirección de Control de Proyecto y posteriormente es comunicado al equipo de proyecto mediante una reunión de inicio del proceso.

Procedimiento de Estimación de Costos

Este procedimiento describe la secuencia apropiada para desarrollar una estimación, asegurando que los costos de capital puedan alcanzar niveles apropiados y demostrables, y que posteriormente puedan convertirse en presupuestos de control.

Este documento destaca la importancia de comprender quién prepara, consolida, revisa, valida y aprueba la estimación, así como qué se está estimando y por qué. También señala que, una vez formado el equipo de trabajo, el Gerente de Proyecto debe gestionar la estimación del presupuesto y que el área de Control de Proyectos, a través de su líder, debe presentar y difundir el alcance del proyecto a los líderes de las distintas áreas del proyecto para asegurar entendimiento y compromisos. No obstante lo anterior, este procedimiento no considera de forma explícita y detallada la forma en la cual las disciplinas técnicas de la Vicepresidencia de Proyectos, deben ser involucrados de forma temprana en el proceso de estimación, ya sea para detectar potenciales brechas en definición de precios y/o rendimientos (horas hombre necesarias por unidad de medida a construir o montar), así como potenciales nuevas definiciones en proceso de emisión o realizadas recientemente que deban ser capturadas por la estimación. Un ejemplo de lo anterior podría corresponder a nuevas normas de seguridad que potencialmente implicarían un nuevo contrato de servicios que deba ser financiado por el CAPEX del Proyecto.

Determinación de Costos del Dueño

Este documento tiene como objetivo definir el concepto y alcance de este ítem de costo indirecto. Los Costos del Dueño consideran los recursos asociados a la organización mandante o contraparte que participa en el desarrollo del estudio o proyecto. El instructivo incluye elementos como remuneraciones, materiales, informática, comunicaciones, movilización, alimentación, servicios básicos, campamento, capacitación, protección industrial, personal de apoyo, control de riesgos, medio ambiente y otros gastos necesarios para la gestión del dueño.

Este punto es importante porque en proyectos de gran magnitud los Costos del Dueño pueden ser significativos y, si no se definen correctamente, pueden generar diferencias relevantes en el CAPEX. Además, su estimación requiere coordinación entre el equipo de proyecto, gestión de personas, control de proyectos, seguridad, medio ambiente, operaciones y otras áreas de apoyo. Por lo mismo, no debería ser una partida estimada al final del proceso, sino un componente desarrollado de manera coherente con la estrategia y el programa del proyecto.

Determinación del Escalamiento

Este documento desarrolla una metodología para calcular los montos a provisionar por variaciones de costo que pueden presentarse entre la fecha base de la estimación y el momento en que se comprometerán los costos. El escalamiento es especialmente relevante en proyectos mineros, donde los plazos de desarrollo y ejecución generalmente son mayores a 5 años. Una estimación elaborada con precios de una fecha base puede perder vigencia si no reconoce adecuadamente los efectos del valor del dinero en el tiempo sobre materiales, equipos, mano de obra, servicios, tipo de cambio u otros componentes. Por eso, el escalamiento es un elemento necesario para mantener la consistencia financiera de la inversión estimada.

Determinación y Estimación de la Contingencia

La contingencia se encuentra regulada corporativamente por el SIC-I-106 (Determinación de la Contingencia) y operativamente por el SGP-03EYC-PROGS-00001 (Estimación de la Contingencia). El SIC-I-106 define el concepto, alcance y metodología general para determinar la contingencia, tanto en etapas de estudio como en proyectos de ejecución.

La contingencia tiene como propósito cubrir variaciones por incertidumbres propias del desarrollo del proyecto. No está pensada para cubrir cambios de alcance, modificaciones de capacidad, mejoras u optimizaciones no autorizadas, efectos de tipo de cambio, pérdidas por escalamiento, fuerza mayor ni costos financieros del

dueño. Este punto es relevante porque delimita claramente qué debe y qué no debe ser absorbido por la contingencia.

En las etapas tempranas, la contingencia puede determinarse mediante criterios porcentuales, sin embargo, para etapas más maduras, especialmente cuando se presenta una inversión para decisión, la contingencia debe sustentarse mediante la elaboración de un modelo probabilístico basado en simulación de Montecarlo. Posteriormente, luego de obtenida la contingencia expresada como un monto de la inversión, se incorpora al valor estimado base del CAPEX.

Bases de Estimación

Durante el proceso de desarrollo de los costos directos e indirectos, se debe realizar una documentación rigurosa del proceso e estimación mediante el documento Bases de Estimación. Este documento es uno de los entregables más relevantes, porque permite explicar cómo se construyó el CAPEX, cuáles fueron sus supuestos, qué información se utilizó, qué metodología se aplicó, qué exclusiones existen y qué riesgos u oportunidades fueron considerados.

Las Bases de Estimación describen, entre otros elementos, el propósito de la estimación, la descripción del alcance del proyecto, la metodología utilizada, la base de diseño, la base de planificación CAPEX, las bases de costos, las provisiones, crecimientos de cantidades, los supuestos, exclusiones, excepciones, riesgos y oportunidades, contingencia, sensibilizaciones, benchmarking, aseguramiento de calidad. Adicionalmente deben describir la estrategia para asegurar que la información final del diseño y las ofertas de proveedores queden incorporadas en el estimado. También deben considerar especificaciones técnicas de equipos, listas de componentes de equipos mayores, unidades de medida, listas de planos y documentos, con número de revisión y fecha de emisión. Además, debe incorporar los principales volúmenes de obra como por ejemplo: excavaciones, hormigones, estructuras metálicas, cañerías, cables eléctricos, equipos mayores y otros elementos propios del alcance.

En definitiva, las Bases de Estimación permiten que un revisor entienda no solo cuánto cuesta el proyecto, sino por qué cuesta ese monto, con qué información se calculó y qué tan confiable es la cifra presentada. Si las Bases de Estimación son incompletas o poco claras, la estimación puede perder fuerza en sus atributos claves, los cuales corresponden a credibilidad, trazabilidad, completitud y robustez.

Análisis de la Normativa Actual de Codelco

Con lo indicado en los títulos anteriores se evidencia que la normativa existente es robusta y entrega una secuencia lógica bastante completa. Existen documentos para definir el estándar, ordenar el alcance, codificar costos, planificar el proceso, desarrollar la estimación, calcular escalamiento, determinar contingencia y documentar sus bases.

Sin embargo, al analizar el proceso desde una perspectiva de gobernanza, comienzan a aparecer oportunidades de mejora. La primera es que la normativa está muy bien desarrollada en términos de documentos, entregables y controles, pero no necesariamente explicita con la misma fuerza cómo deben interactuar los distintos stakeholders durante toda la construcción de la estimación. Esto se sustenta en que se indica quién debe aportar información, pero sin un mecanismo integrado, secuencial y obligatorio de validación progresiva entre áreas que habilite una detección oportuna de brechas.

Una segunda oportunidad de mejora se detecta debido a que varias instancias de revisión se concentran en momentos específicos del proceso, especialmente al cierre de entregables o durante revisiones funcionales. Esto puede generar que observaciones relevantes aparezcan tarde, cuando el CAPEX ya está bastante avanzado. Si una brecha de alcance, un supuesto de construcción, un criterio de abastecimiento o una restricción operacional se detecta al final, el impacto sobre plazo, retrabajo y credibilidad puede ser mayor. Un ejemplo de lo anterior se fundamenta en la revisión de dos proyectos relevantes, los cuales en su conjunto obtuvieron 45 hallazgos categorizados como medios/altos, durante el proceso de revisión final, lo cual es claramente un resultado no deseado debido a los mayores tiempos requeridos para modificaciones y nuevos procesos de revisión hasta llegar a la aprobación final.

La tercera oportunidad de mejora se relaciona con la integración sistémica entre alcance, ingeniería, programa, estrategia de ejecución, costos y riesgos. La normativa aborda cada componente, pero el desafío está en asegurar que estos elementos se desarrollen de forma integrada y no como entregables paralelos. Un CAPEX robusto requiere que la WBS converse con el programa, que el programa converse con la estrategia constructiva y que la estrategia constructiva converse con los costos indirectos. Lo anterior se sustenta con la inexistencia de un modelo explícito que asegure esta integración y que al mismo tiempo permita validar que las actividades del programa se encuentran en la secuencia correcta para el logro del objetivo.

Una cuarta oportunidad de mejora se relaciona con la definición explícita de las entradas requeridas para iniciar, desarrollar y consolidar la estimación de CAPEX. Si bien la normativa identifica antecedentes relevantes como alcance, ingeniería, MTO, WBS, programa, estrategia de ejecución, precios, rendimientos y riesgos, no siempre

queda claramente establecido el momento en que dichos insumos deben estar disponibles, el responsable de su emisión y la instancia formal de validación. Lo anterior, se vuelve especialmente relevante en la estimación de costos indirectos, donde partidas como campamento, alimentación, transporte, servicios de agua y energía, instalaciones temporales, logística, administración de terreno y soporte del dueño dependen de definiciones transversales que deben ser entregadas oportunamente por distintas áreas. Lo mismo ocurre con la determinación de la dotación del personal de Codelco requerido para dar soporte técnico, administrativo, contractual, operacional y de control al proyecto, la cual debiera desprenderse de la estrategia de ejecución, modelo contractual, duración del proyecto, número de frentes, régimen de turnos y nivel de involucramiento del mandante. Por lo tanto, más que contar solo con una MTO y con el Plan de Ejecución, se requiere una matriz integrada de entradas del CAPEX que precise qué información debe estar disponible, cuándo debe estarlo, quién debe emitirla, quién debe validarla y qué impacto genera su falta de madurez en la confiabilidad de la estimación. Lo anterior se sustenta en la ausencia de una matriz de entradas, proveedores, procesos y salidas que explicita de forma precisa los entregables y la temporalidad en la cual deben estar disponibles para asegurar el correcto desarrollo del encargo.

La quinta oportunidad está asociada a la trazabilidad de decisiones. La gobernanza debe asegurar que las decisiones críticas queden validadas oportunamente por los responsables correspondientes y futuros revisores. No basta con registrar al final que se usó un supuesto; lo importante es que ese supuesto haya sido discutido, validado y aceptado por las áreas que deben hacerse responsables de sus consecuencias. Lo expuesto se sustenta en la inexistencia de una matriz RACI de por cada uno de los procesos en la cual se evidencie y se formalicen las aprobaciones en la elaboración de cada uno de los procesos que compondrán el CAPEX.

En ese sentido, se visualiza que la oportunidad de mejora no está en reemplazar la normativa existente, sino en complementarla con un modelo de gobernanza que permita conectar estos documentos a través de instancias formales de coordinación, revisión temprana y validación progresiva. Dicho modelo debería definir qué stakeholders deben participar en cada etapa del desarrollo del CAPEX, qué información deben aportar, en qué momento dicha información debe estar disponible, cuál es su nivel de madurez esperado, quién debe validarla y qué decisiones o criterios deben quedar cerrados antes de avanzar. De esta forma, el proceso no solo permitiría ordenar la interacción entre áreas, sino también asegurar que las entradas críticas para la estimación, tanto de costos directos como indirectos, sean desarrolladas y validadas oportunamente, reduciendo el riesgo de brechas tardías, retrabajos y pérdida de confiabilidad en la estimación.

Una gobernanza de este tipo permitiría transformar el proceso de estimación desde una lógica principalmente documental hacia una lógica más sistémica. Es decir, pasar desde “cumplir con entregar documentos” hacia “construir una estimación integrada,

validada y trazable”. Esto es fundamental para aumentar la confiabilidad del CAPEX, reducir retrabajos, disminuir hallazgos en revisiones internas y externas, y fortalecer la credibilidad de la estimación frente a las instancias aprobadoras.

6.1.7. Análisis de Hallazgos del Proceso Actual

A continuación, se presenta el diagnóstico del proceso actual para lo cual se realizó un análisis de los hallazgos identificados en instancias de revisión de estimaciones CAPEX desarrolladas durante los últimos 18 meses. La información base correspondió al registro de observaciones emitidas por revisores internos y/o funcionales, las cuales fueron revisadas una a una y posteriormente clasificadas según dos criterios: primero, el tipo de observación técnica o de gestión al que hacía referencia cada hallazgo; y segundo, el nivel de criticidad asignado a la observación, distinguiendo entre hallazgos altos, medios y bajos.

La construcción y consolidación de la información se efectuó mediante una agrupación temática de los hallazgos originales, con el propósito de transformar un listado extenso de observaciones individuales en categorías que permitieran identificar patrones recurrentes del proceso. De esta manera, observaciones relacionadas con dotación, horas hombre, campamento, alimentación, transporte, instalaciones temporales o administración de terreno fueron agrupadas bajo la categoría “Costos indirectos, HH, dotación y servicios de apoyo”. Del mismo modo, comentarios asociados a cubicaciones, cantidades, factores de crecimiento o rendimientos fueron agrupados en la categoría “MTO, cantidades, factores de crecimiento y rendimientos”. Esta lógica permitió ordenar los hallazgos no solo por su redacción original, sino por la brecha de fondo que representan dentro del proceso de estimación.

Los valores presentados en la tabla corresponden al número de hallazgos identificados en cada categoría, desagregados por nivel de criticidad. Por ejemplo, el valor 31 asociado a “Costos indirectos, HH, dotación y servicios de apoyo” representa la cantidad total de observaciones clasificadas en esa temática, distribuidas en 4 hallazgos altos, 24 medios y 3 bajos. En términos generales, la tabla resume un total de 87 hallazgos, de los cuales 19 fueron clasificados como altos, 47 como medios y 21 como bajos. Esta distribución permite observar que la mayor concentración de observaciones se encuentra en hallazgos de criticidad media, lo que evidencia brechas relevantes que, si bien no necesariamente impiden por sí solas el avance de una estimación, sí generan retrabajo, solicitudes de aclaración, pérdida de trazabilidad y riesgo de observaciones tardías en instancias superiores de revisión.

Considerando el contexto anteriormente expuesto, se presenta la tabla con las principales observaciones agrupadas, así como sus niveles de criticidad:

Tipo de observación agrupada	Alta	Media	Baja	Total
 Costos indirectos, HH, dotación y servicios de apoyo	4	24	3	31
 MTO, cantidades, factores de crecimiento y rendimientos	6	1	6	13
 Precios, cotizaciones, suministros y condiciones de mercado	1	3	7	11
 Bases de estimación, anexos y consistencia documental	1	5	3	9
 Escalamiento y flujo de caja	0	6	1	7
 Alcance, WBS/CBS, codificación y trazabilidad	2	4	1	7
 Contingencia, riesgos, CRA y reserva de plazo	1	4	0	5
 Puesta en marcha y transferencia operacional	3	0	0	3
 Seguridad, SSO y riesgos críticos	1	0	0	1
 Total general	19	47	21	87

Tabla 6-2 Observaciones a CAPEX Últimos 18 Meses

De los hallazgos revisados, una parte importante se concentra en costos indirectos, horas hombre, dotación, servicios de apoyo, costos del dueño y partidas transversales del proyecto. Este tipo de observaciones es especialmente relevante, porque dichas partidas no dependen solo de la ingeniería o de cantidades físicas, sino de definiciones que requieren coordinación entre múltiples actores: construcción, contratos, operaciones, mantenimiento, seguridad, sustentabilidad, control de proyectos y administración del proyecto. Elementos como campamento, alimentación, transporte, servicios de agua y energía, administración de terreno o dotación de personal Codelco requieren antecedentes claros sobre estrategia de ejecución, duración del proyecto, régimen de turnos, modelo contractual y nivel de soporte requerido por el dueño. Cuando estos insumos no están disponibles, maduros o validados oportunamente, la estimación corre el riesgo de perder robustez y se expone a observaciones durante las revisiones.

También se observan hallazgos asociados a MTO, cantidades, factores de crecimiento, rendimientos, precios, cotizaciones, escalamiento, contingencia, WBS, CBS y trazabilidad documental. Estos aspectos confirman que el CAPEX no puede construirse como una simple consolidación de partidas, sino como un proceso sistémico donde alcance, ingeniería, programa, estrategia constructiva, costos,

riesgos y abastecimiento deben desarrollarse de manera integrada. Cuando estos elementos avanzan en paralelo, sin suficientes puntos de validación entre áreas, aumentan las probabilidades de inconsistencias, omisiones, duplicidades o diferencias entre documentos.

En este sentido, los hallazgos refuerzan un foco central: el problema no está únicamente en cumplir con los entregables exigidos por la normativa, sino en asegurar que dichos entregables sean contruidos con información oportuna, trazable y validada por los stakeholders correspondientes. La revisión final no debiera ser el momento en que se descubren brechas relevantes de alcance, costos indirectos, estrategia de ejecución, precios o contingencia. Por el contrario, esas brechas deberían detectarse y resolverse durante el desarrollo evolutivo de la estimación.

Por lo tanto, se observa la relevancia de contar con un modelo de gobernanza que complemente la normativa existente, estableciendo con mayor claridad quién participa en cada etapa, qué información debe aportar, cuándo debe estar disponible, qué nivel de madurez debe tener, quién debe validarla y qué decisiones deben quedar cerradas antes de avanzar. Este modelo permitiría pasar desde una lógica principalmente documental y de revisión al cierre, hacia una lógica preventiva, integrada y trazable.

En definitiva, los hallazgos analizados evidencian la oportunidad de mejora. La normativa actual permite construir estimaciones técnicamente defendibles, pero la recurrencia de observaciones evidencia la necesidad de fortalecer la coordinación entre stakeholders y la gestión temprana de información crítica para el desarrollo de la estimación.

Marco Teórico

El diagnóstico desarrollado en los títulos anteriores permitió establecer que la principal oportunidad de mejora del proceso de estimación del CAPEX no radica en la ausencia de procedimientos ni en debilidades de las metodologías de cálculo, sino en la forma en que las distintas áreas y stakeholders se integran y validan la información a lo largo del desarrollo de la estimación. Bajo esa premisa, el presente marco teórico no busca revisar técnicas de costeo, sino analizar qué es lo que actualmente las metodologías más reconocidas indican sobre los procesos de estimaciones y su gobernanza.

Para este efecto se consideran cuatro cuerpos de conocimiento ampliamente reconocidos en industrias intensivas en capital, los cuales abordan dimensiones complementarias del problema. El Project Management Institute (PMI) aporta el lenguaje y los principios de gobernanza de proyectos y de gestión de stakeholders. La Government Accountability Office (GAO) define qué se entiende por una estimación de costos confiable y cuál es el proceso recomendado para construirla. La Association for the Advancement of Cost Engineering International (AACE International) provee la disciplina técnica de la estimación y su sistema de clases de madurez. Finalmente, el Construction Industry Institute (CII) entrega la evidencia empírica y las prácticas de planificación temprana que vinculan la definición oportuna del alcance con el desempeño del proyecto.

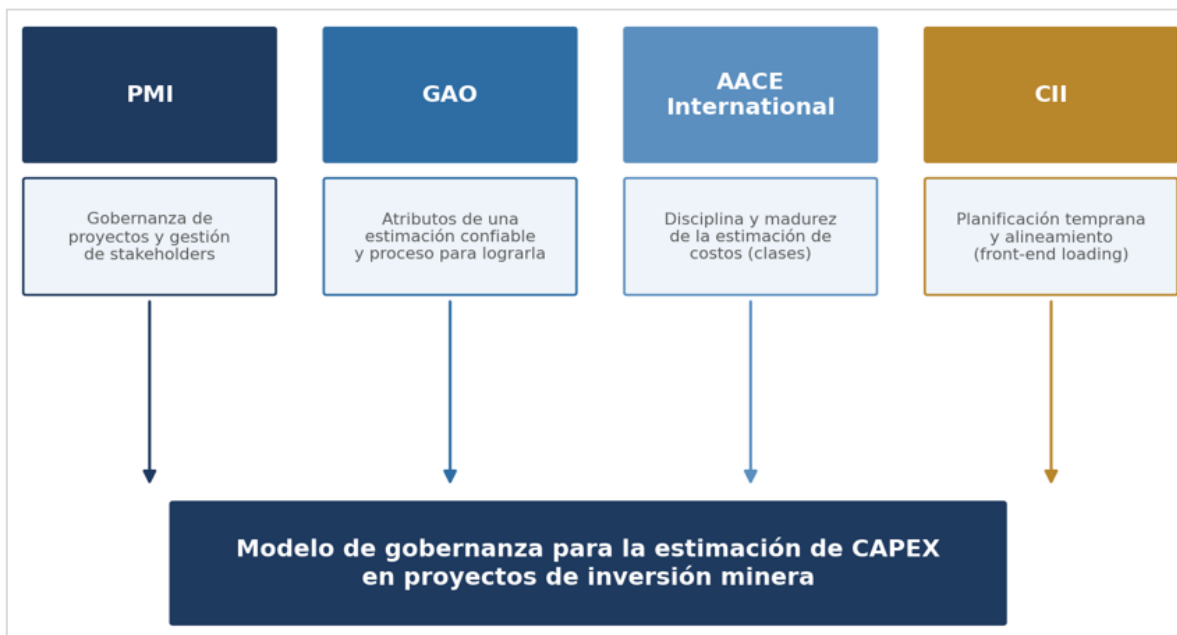


Figura 6-6 Aporte de Metodologías a Modelo de Gobernanza

La articulación de estos cuatro referentes permite tener un marco coherente con los atributos que la propia investigación persigue la cual mediante la correcta articulación de interesados permitirá contar con estimaciones confiables, robustas, completas y trazables. En este contexto, también se podrá referenciar con la realidad normativa de

Codelco, donde el Sistema de Inversión de Capital (SIC) y el Sistema de Gestión de Proyectos (SGP) ya proveen una base documental y metodológica robusta sobre la cual operar.

6.1.8. Gobernanza de proyectos y gestión de stakeholders (PMI)

El PMI constituye una de las referencias globales en gestión de proyectos. Para los fines de esta investigación resultan especialmente atingentes dos de sus publicaciones. La primera es la *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK)*, en su séptima edición, que introdujo un cambio relevante respecto de versiones previas al transitar desde un enfoque basado en procesos hacia uno basado en principios. La segunda es la guía práctica *Governance of Portfolios, Programs, and Projects: A Practice Guide*, que aborda de manera específica la gobernanza como sistema de decisiones, funciones y responsabilidades.

En estas ediciones el PMI organiza la disciplina en torno a doce principios y ocho dominios de desempeño. Dos de ellos son directamente aplicables al problema estudiado. Por una parte, el principio de involucrar eficazmente a los interesados, que reconoce que la generación de valor depende de la participación activa y oportuna de los stakeholders durante todo el ciclo. Por otra, el principio de reconocer y responder a las interacciones del sistema, que invita a comprender el proyecto como un conjunto de partes interdependientes y no como una suma de entregables aislados. De esta forma queda en una alta relevancia la necesidad de que el alcance, la ingeniería, el programa, la estrategia de ejecución, los costos y los riesgos se deben desarrollar de forma integrada.

La gestión de stakeholders, presente en el PMBOK tanto como principio como en su condición de dominio de desempeño, se entiende como un proceso continuo y no como una actividad puntual. Comprende la identificación de los interesados, la comprensión de sus expectativas e influencia, su análisis y priorización, su involucramiento efectivo y el monitoreo permanente de esa relación.

Conectando estos aspectos con el proceso de estimación, el proceso continuo antes descrito implica que las disciplinas técnicas, las áreas de operaciones, abastecimiento, construcción, sustentabilidad y planificación estratégica deben participar de manera estructurada desde la definición y gestión de los datos de entradas requeridos para la generación del CAPEX, evitando así potenciales omisiones relevantes detectadas en los procesos de revisión.

La guía de gobernanza complementa lo anterior al describirla como el marco de funciones, procesos y reglas de decisión que conecta los niveles corporativos, de portafolio, de programa y de proyecto. En primer lugar, ofrece un esquema para definir con claridad quién decide, quién valida y ante quién se rinde cuenta en cada instancia, vinculando de esta manera la trazabilidad de las decisiones críticas. En segundo lugar, refuerza la idea de que una buena gobernanza no reemplaza la normativa existente, sino que la articula. La siguiente figura ilustra ambos elementos: la gobernanza por niveles y el ciclo de involucramiento de stakeholders.

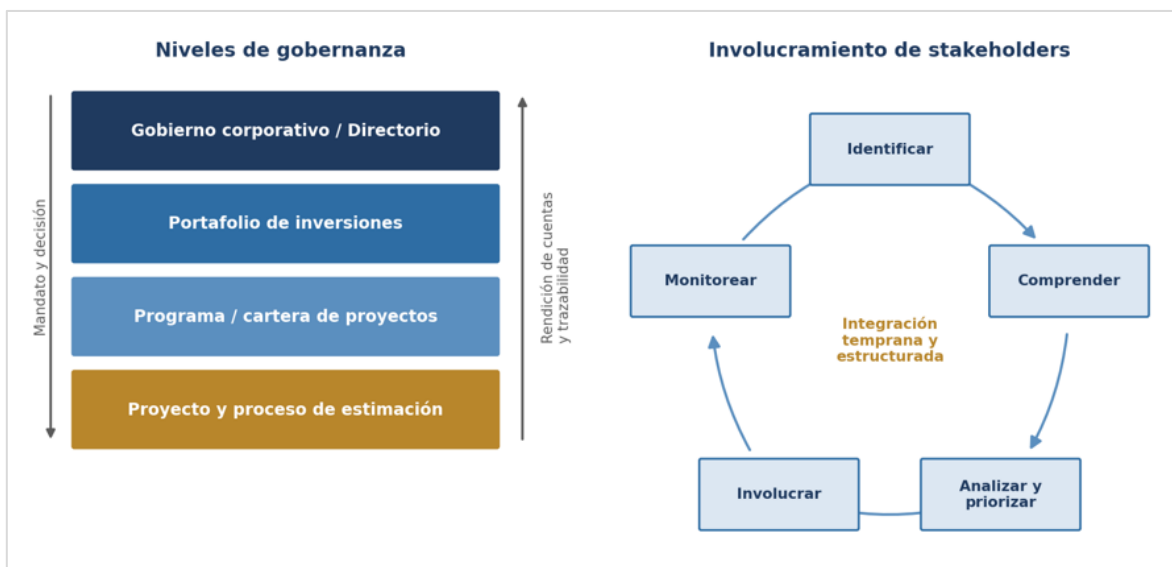


Figura 6-7 Gobernanza por niveles e involucramiento según PMI

6.1.9. Atributos de una estimación confiable y el proceso para construirla (GAO)

La GAO publicó el *Cost Estimating and Assessment Guide (GAO-20-195G)*, que constituye una referencia consolidada para organizaciones que gestionan inversiones de alto valor monetario y que se encuentran sujetas a escrutinio público. Su pertinencia para el caso de Codelco es directa, dado su carácter de empresa estatal cuya disciplina de capital es evaluada por instancias internas y externas.

El aporte central de esta guía es la definición de cuatro características que distinguen a una estimación de costos confiable. Una estimación debe ser:

- **Completa:** Debe incluir todos los costos del ciclo de vida, sin omitir ni duplicar partidas.
- **Bien documentada:** Cualquier revisor debe poder comprender cómo y con qué información se construyó.
- **Precisa:** Basada en datos y métodos que minimicen sesgos.
- **Creíble:** Poder someterla a análisis de sensibilidad, de riesgo y a contrastes independientes.

Estas cuatro características ofrecen una correspondencia con los atributos que persigue la presente investigación: la completitud, la trazabilidad, la robustez y la confiabilidad del CAPEX. La Figura 3 presenta esa correspondencia.

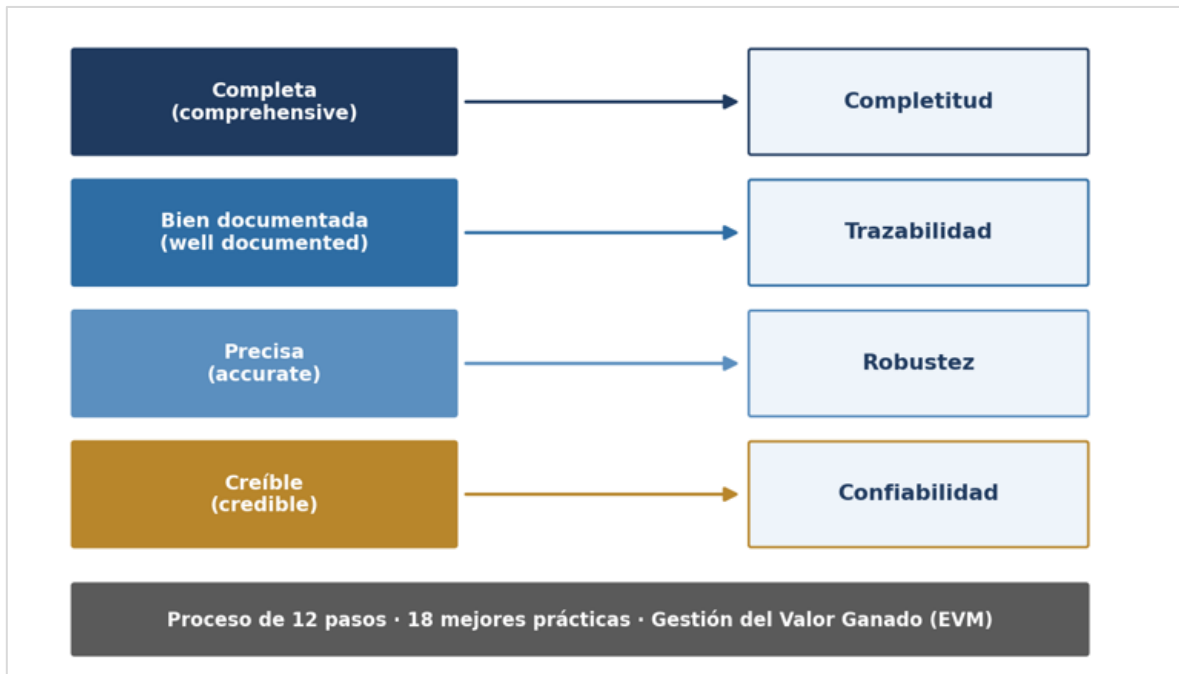


Figura 6-8 Características de una Estimación Confiable (GAO)

La relevancia de esta guía radica en que no se limita a definir el resultado esperado, sino que describe un proceso estructurado de doce pasos, asociado a un conjunto de dieciocho mejores prácticas, para alcanzarlo.

El proceso de los 12 pasos es el que se describe a continuación:

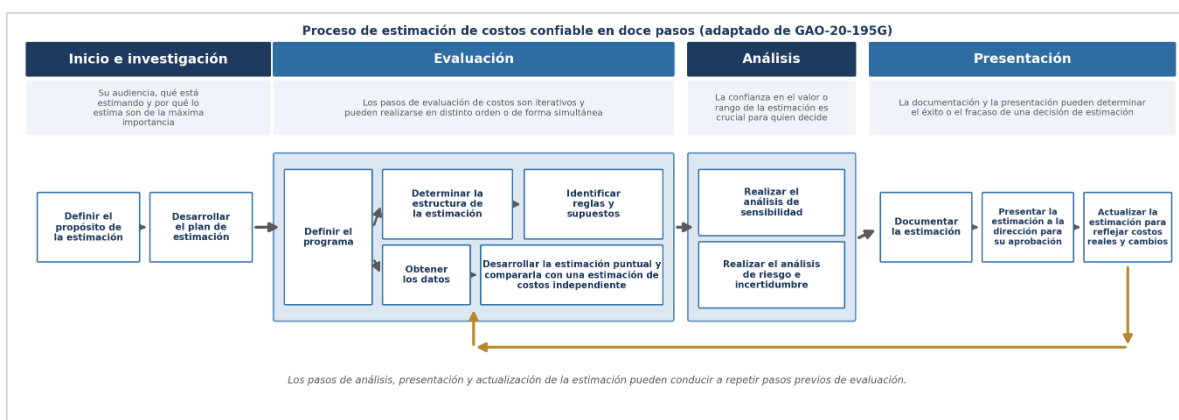


Figura 6-9 Proceso de 12 Pasos

Este proceso abarca la definición del propósito y el alcance de la estimación, la elaboración de un plan, la descripción de la línea base técnica, la construcción de la estructura de descomposición del trabajo, el establecimiento de reglas y supuestos, la recolección de datos, la selección de metodologías, el análisis de sensibilidad y de

riesgo, y la documentación y actualización de la estimación. Varios de estos pasos conectan de forma natural con la normativa de Codelco: la línea base técnica y la WBS se relacionan con los instructivos de estructura de quiebre del proyecto, la documentación con las Bases de Estimación, y el análisis de riesgo con la determinación de la contingencia.

En síntesis, la GAO entrega el criterio que permite evaluar si una estimación es confiable y, sobre todo, evidencia que esa confiabilidad no proviene del documento final, sino de un proceso ordenado en el que la información se obtiene, valida y documenta de manera oportuna. Ello refuerza la oportunidad de mejora relativa a la detección temprana de observaciones, evitando que las brechas se descubran recién en las revisiones de cierre.

6.1.10. Disciplina y madurez de la estimación de costos (AACE International)

La Association for the Advancement of Cost Engineering International (AACE) no entiende la estimación como un ejercicio de llenar planillas, ni un ejercicio de multiplicar cantidades por precios. La entiende, más bien, como una disciplina con reglas propias, y esa diferencia de partida termina condicionando todo lo que viene aguas abajo. Su marco *Total Cost Management (TCM)*, junto con el conjunto de prácticas recomendadas que lo desarrollan, se sustenta sobre una premisa que parece sencilla pero que en definitiva es exigente y robusta: una buena estimación debe poder explicarse, revisarse y defenderse por sí mismo, sin que el estimador tenga que estar al lado aclarando las dudas que puedan surgir por parte de los revisores. Para sostener esto, AACE normaliza desde el propio lenguaje hasta la forma en que se clasifica, documenta y controla cada estimación. Lo que se obtiene al final es un cuerpo técnico que describe, con bastante detalle, cómo debería verse un estimado sólido en cada etapa del proyecto.

El punto central de esa propuesta está en la clasificación por madurez. Mediante las prácticas 17R-97 y 18R-97, y para este caso la 47R-11 referida a la minería, AACE insiste en una idea que conviene tener siempre a mano: la precisión que se le puede exigir a un estimado no se mide por la cantidad de partidas que contiene, sino por el nivel de definición del proyecto que hay detrás. Una estimación Clase 3, entonces, recién tiene sentido cuando la ingeniería básica está de verdad desarrollada; pretenderla antes es, en el mejor de los casos, solo voluntarismo, lo cual añade sesgos y riesgos en la decisión de inversión.

	Clase (AACE)	Etapas del ciclo	Madurez de la definición	Propósito principal
Mayor madurez y exactitud ↓	Clase 5	Perfil (FEL 1)	Conceptual; factores y benchmarking	Dimensionar la oportunidad y comparar alternativas
	Clase 4	Prefactibilidad (FEL 2)	Ingeniería preliminar; factorizaciones	Seleccionar la alternativa de mayor valor
	Clase 3	Factibilidad (FEL 3)	Ingeniería básica; cantidades confiables	Sustentar la decisión y solicitud de fondos
	Clase 2	Ejecución	Ingeniería de detalle; precios a firme	Presupuesto de control de la inversión

Figura 6-10 Clases de Estimación AACE

A partir de esto, las demás prácticas se encargan de ordenar el trabajo: la 36R-08 aborda cómo planificar la estimación antes de empezarla, la 34R-05 define las Bases de Estimación como el documento que fija el alcance y deja constancia de los supuestos, y las prácticas 40R-08, 42R-08 y 44R-08 aportan los criterios para dimensionar la contingencia, incluyendo la vía probabilística sobre la que se apoyan los análisis tipo Montecarlo en las etapas más maduras. En este contexto AACE, a través de TCM, es una metodología preocupada en gran medida, por la calidad del cálculo y por dejar rastro de cómo se llegó a él.

Es en la revisión del estimado donde AACE se aproxima a abordar aspectos de gobernanza. La práctica 31R-03 está dedicada justamente a revisar, validar y documentar la estimación, y enumera mecanismos que cualquiera reconocería como buen aseguramiento de calidad: la revisión por pares, la comparación contra una estimación independiente, la verificación de que la base, los métodos y el alcance resulten razonables, y el recurso al *benchmarking* para pesquisar cifras que se salen de rango. Habría que agregar, además, el papel que la 34R-05 le otorga a las Bases de Estimación, que no solo dejan documentado el estimado, sino que terminan operando como referencia para la gestión de cambios.

No obstante lo anterior, cuando AACE habla de validar un estimado se refiere, antes que nada, a comprobar la calidad de un producto técnico que ya está hecho: que las cantidades sean consistentes, que los precios tengan respaldo, que la contingencia guarde alguna proporción con la incertidumbre que se declaró. Es, en el fondo, una mirada que da por existentes las entradas y se concentra en juzgar el resultado. Lo que las prácticas no alcanzan a resolver es cómo tienen que interactuar las distintas áreas mientras el estimado todavía se está construyendo: quién aporta cada definición, en qué momento, con qué grado de madurez y bajo la coordinación de quién. AACE explica con mucha solvencia cómo se revisa un estimado, pero da por resuelto el

problema de orquestar a los actores que lo alimentan, que es precisamente donde suelen originarse las brechas.

De esta manera se puede indicar que el foco de la metodología de AACE, se inclina más hacia la lógica del cálculo y de la disciplina técnica, y no tanto hacia la de la gobernanza. Sus prácticas de revisión incorporan, sin duda, una dimensión de control; pero la ejercen sobre el estimado entendido como artefacto, y no sobre la trama de stakeholders que lo produce. Para una organización como Codelco, donde conviven los roles de Dueño, Normador, Ejecutor y Cliente, esto es fundamental.

En resumen, AACE entrega el estándar de calidad y el método para auditarlo, pero no define el modelo de coordinación que garantice que las entradas críticas lleguen a tiempo, maduras y validadas. Por eso su contribución desde los aspectos netamente técnicos pueden ser más robustos al incorporar una capa de orquestación de procesos mediante una gobernanza correctamente articulada.

6.1.11. Planificación temprana y prácticas de excelencia (CII)

El Construction Industry Institute (CII) es un consorcio de investigación integrado por empresas mandantes, contratistas y entidades académicas, orientado a mejorar el desempeño de los proyectos de capital. Su contribución a este marco es relevante por dos razones. En primer lugar, es el origen del concepto de planificación temprana o *front-end planning*, que constituye la base conceptual del modelo FEL utilizado por Codelco. En segundo lugar, aporta evidencia empírica que vincula la calidad de esa planificación con el desempeño posterior en costo, plazo y cambios.

Entre sus prácticas de excelencia, el CII destaca la planificación temprana, el alineamiento del negocio y la ingeniería, la constructibilidad, el *benchmarking* y el *Advanced Work Packaging (AWP)*.

Una herramienta particularmente útil es el *Project Definition Rating Index (PDRI)*, desarrollado por el CII para medir el grado de completitud de la definición del alcance antes de avanzar al diseño de detalle. El PDRI ofrece una manera estructurada de verificar que los elementos críticos del alcance estén suficientemente definidos, lo que se relaciona directamente con el rol que la WBS y el *Material Take Off (MTO)* cumplen en la construcción del CAPEX. La práctica de alineamiento durante la planificación previa, por su parte, define el alineamiento como la condición en que los participantes trabajan en torno a un conjunto de objetivos comprendido de manera uniforme, lo que conecta de lleno con la oportunidad de mejora referida a la integración temprana de los stakeholders.

EL CII aporta, un fundamento decisivo: la capacidad de influir sobre el costo final de un proyecto es máxima en las etapas tempranas y decrece a medida que este avanza,

mientras que el costo de incorporar cambios aumenta en sentido inverso. De ello se desprende que las observaciones detectadas de manera tardía resultan considerablemente más costosas, en términos de retrabajo y plazo, que aquellas resueltas durante el desarrollo del estudio. Esta relación, mostrada en la siguiente figura, explica desde la evidencia por qué la concentración de las validaciones en instancias de cierre constituye una debilidad y por qué un modelo de gobernanza con validación progresiva resulta beneficioso.

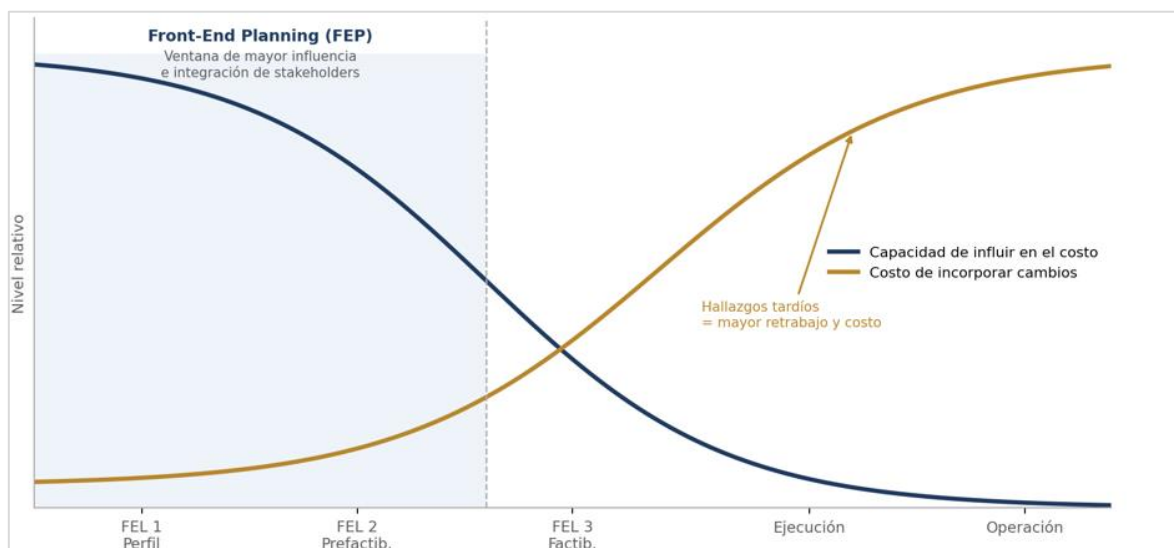


Figura 6-11 Influencia Sobre el Costo a lo Largo del Ciclo (CII)

6.1.12. Síntesis del marco teórico y orientación de la propuesta

La revisión anteriormente expuesta permite integrar los cuatro referentes en una misma línea a desarrollar para la propuesta de mejora de la Gobernanza del proceso de estimaciones. Un CAPEX confiable, en los términos definidos por la GAO, requiere de la disciplina de estimación y de la madurez de las entradas que sistematiza AACE International; esa madurez, a su vez, solo se alcanza cuando la definición del alcance se desarrolla de manera temprana y alineada, tal como demuestra el CII; y dicha integración temprana únicamente es posible bajo una gobernanza que defina roles, responsabilidades e instancias de validación articuladas de forma temprana, conforme a los principios del PMI. Los cuatro cuerpos de conocimiento convergen, por tanto, en un mismo punto: la confiabilidad de la estimación se construye durante el proceso, mediante la integración estructurada de los stakeholders, y no se verifica únicamente en su revisión final.

Con lo anteriormente expuesto se puede realizar la relación entre las metodologías referentes y las oportunidades de mejora del proceso de estimación para la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco.

En consecuencia, la optimización de la gobernanza para el proceso de estimación adoptará elementos conceptuales de las cuatro metodologías antes descritas la cuales se resumen en la siguiente tabla:

Referente	Aporte conceptual	Aplicación en el modelo	Instrumento propuesto
PMI	Gestión integrada, WBS, stakeholders y claridad de roles	Estructura común para alcance, costos, programa y decisiones	SIPOC, RACI, registro de stakeholders y matriz WBS-CBS-MTO
GAO	Estimaciones integrales, documentadas, precisas y creíbles	Criterios de calidad y revisión.	Matriz de calidad, sensibilidad, revisiones e índice de confianza
AACEI	Clases de estimación, Plan de Estimación, BoE, validación.	Criterios técnicos y documentales del proceso	Plan tipo, formularios de cierre, BoE viva y validación del VEB/ITE
CII	Front End Planning, PDRI, alineamiento y madurez	Control de definición antes de avanzar	Matriz de madurez, etapas de control y sesiones de alineamiento

Tabla 6-3 Elementos Conceptuales para el Modelo de Gobernanza

Con estas definiciones la propuesta metodológica se estructura en dos capas complementarias. Una primera capa de definición establece los procesos que definen las actividades clave y los insumos de gobernanza del proceso de estimación. Una segunda capa de operación corresponde al modelo de gates, que toma esos insumos y los utiliza para ejecutar los cierres progresivos que hacen madurar la estimación. Estos procesos de definición no constituyen, por tanto, descripciones aisladas, sino actividades que alimentan directamente el modelo de gates.

Capa de definición: Procesos que definen las actividades clave

Cada una de estas secciones aporta un componente específico de gobernanza que luego es consumido por los gates:

- **Arquitectura del modelo de gobernanza.** Define la estructura de decisión en cuatro niveles: dirección y decisión, integración del proceso, generación y validación técnica, y aseguramiento externo, estableciendo quién valida y quién aprueba en cada instancia del proceso.
- **Mapa del proceso y diagrama SIPOC.** Define el proceso como un sistema transversal, identificando proveedores, entradas, actividades, salidas y clientes; es el mapa que muestra qué se revisa y quién interviene en cada tramo.
- **Modelo de entradas críticas y madurez.** Define qué información se exige, cuándo debe estar disponible y con qué nivel de madurez (M0–M4); constituye el criterio de suficiencia que permite decidir si un gate puede cerrarse.
- **Roles, responsabilidades y decisión (RACI).** Define quién emite, quién valida y quién aprueba cada entregable, con un único responsable de aprobación (A) por actividad, evitando decisiones ambiguas o responsabilidades difusas.
- **Plan de Estimación y planificación tipo.** Integra los instrumentos anteriores en el documento que gobierna el proceso, SIPOC, matriz de entradas, RACI, carta Gantt, criterios de madurez y gates. Este documento define la secuencia temporal en que ocurren los cierres.

Capa de operación: El modelo de gates

El modelo de gates es el mecanismo que operativiza la gobernanza. La estimación se organiza como una línea de nueve hitos de control secuenciales (H0 a H8), sobre la cual convergen los insumos definidos por los procesos anteriores. En cada gate se ejecutan tres pasos: se verifica que las entradas requeridas estén disponibles con la madurez definida en el modelo de entradas y madurez; se validan por los responsables asignados en la matriz RACI, siguiendo la estructura de decisión y el mapa del proceso; y se decide el cierre, emitiendo el acta o ficha del sistema documental. La decisión adopta una de tres formas: aprobado, aprobado con observaciones menores, o no aprobado, caso en el cual el antecedente retorna a su emisor. De esta manera, el avance no queda determinado por el cumplimiento de una fecha, sino por la madurez validada de la información, y las brechas se resuelven mientras los antecedentes aún se encuentran en desarrollo.

En definitiva, los procesos de definición construyen las reglas, los insumos, los responsables y la planificación; el modelo de gates los pone en operación para producir cierres progresivos y trazables. Esta separación en dos capas es la que permite que la confiabilidad de la estimación integral, bien documentada, precisa y creíble se construya durante el proceso y no se verifique únicamente en la revisión final.

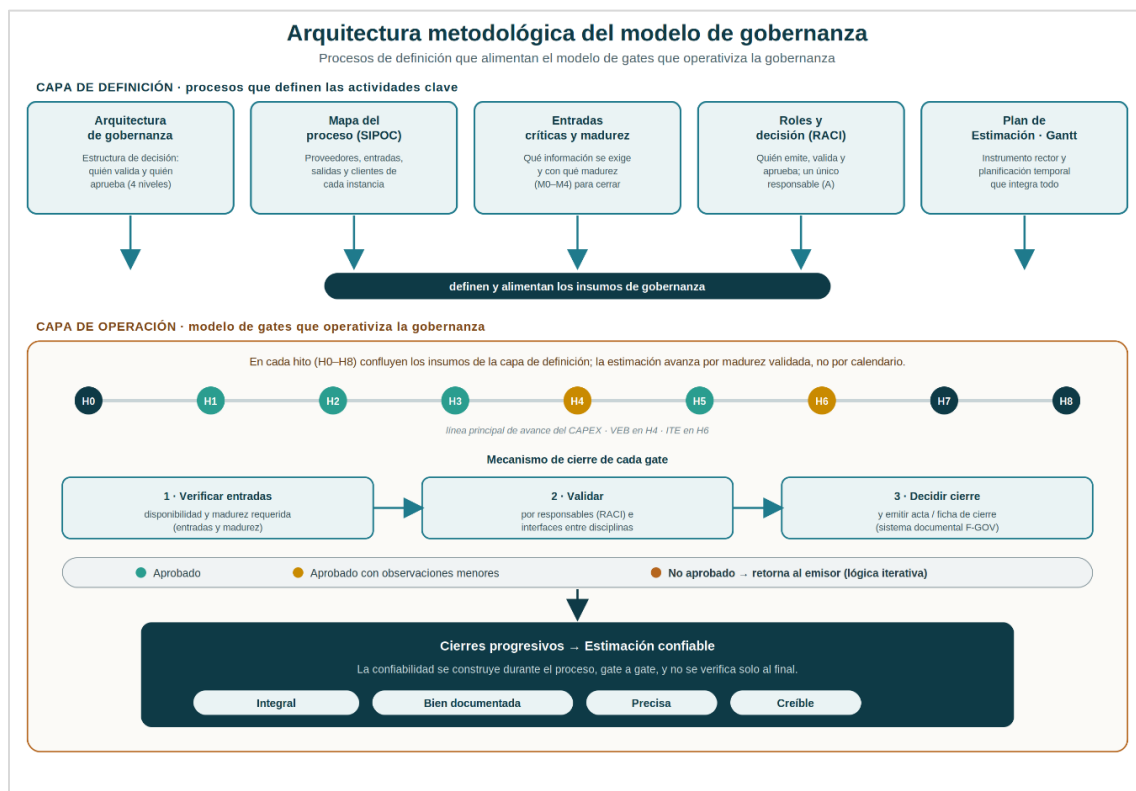


Figura 6-12 Arquitectura Metodológica del Modelo de Gobernanza

7. Desarrollo de la Propuesta

El diagnóstico desarrollado en los capítulos anteriores mostró que Codelco dispone de una base normativa sólida para elaborar estimaciones de CAPEX. El Sistema de Inversión de Capital establece los estándares que debe cumplir la estimación y el Sistema de Gestión de Proyectos entrega procedimientos e instructivos para planificarla, desarrollarla, documentarla y revisarla. Sin embargo, el análisis de la normativa y de los hallazgos recientes permitió identificar una brecha que se repite: los documentos indican con bastante claridad qué debe hacerse, pero no siempre ordenan de manera explícita cómo deben interactuar los distintos stakeholders, cuándo deben estar disponibles los insumos críticos, qué nivel de madurez deben alcanzar y quién debe autorizar su utilización dentro de la estimación.

A partir de ese diagnóstico, la propuesta que se desarrolla en este capítulo no busca reemplazar el SIC ni el SGP, ni tampoco modificar las metodologías técnicas utilizadas para calcular cantidades, precios, rendimientos, escalamiento o contingencia. Su propósito es complementar el marco vigente con un modelo de gobernanza que conecte los documentos existentes, haga visibles las responsabilidades y establezca cierres progresivos durante la construcción del CAPEX. La idea central es que la estimación no avance únicamente porque se cumplió una fecha del cronograma, sino porque la información requerida alcanzó la madurez definida, fue revisada por los especialistas competentes y quedó formalmente validada.

En definitiva, el modelo propuesto transforma la elaboración del CAPEX desde una lógica principalmente documental y de revisión al cierre hacia una lógica preventiva, integrada, trazable y basada en cierres progresivos.

7.1. Arquitectura de gobernanza

El modelo propuesto se organiza en cuatro niveles que cumplen funciones diferentes pero complementarias. Esta separación busca evitar que la elaboración del CAPEX quede concentrada en un solo equipo o que las revisiones se limiten a confirmar el resultado al final. Cada nivel participa en momentos determinados y deja evidencia de las decisiones adoptadas.

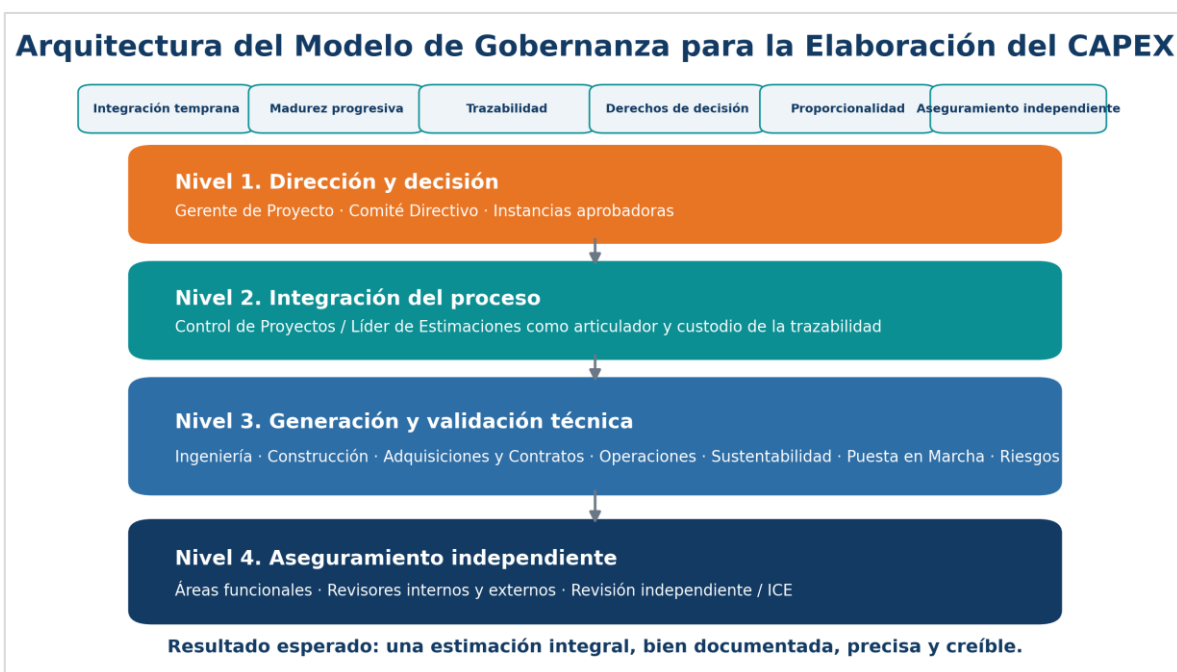


Figura 7-1 Arquitectura de Gobernanza par Elaboración del CAPEX

7.1.1. Nivel de dirección y decisión

En el nivel superior se encuentran el Gerente de Proyecto, el Comité Directivo y las instancias corporativas que autorizan o recomiendan la inversión. Su responsabilidad no consiste en revisar cada partida de la estimación, sino en establecer el propósito, aprobar los criterios relevantes, resolver diferencias que superan el ámbito técnico y confirmar que la estimación es consistente con el caso de negocio. Este nivel es el dueño final de decisiones como el congelamiento del alcance y la estrategia de ejecución asociada tanto a los aspectos que constituirán tanto los costos directos como los indirectos.

7.1.2. Nivel de integración del proceso

El líder de estimaciones de Codelco, debe actuar como articulador y garante del proceso. Deberá coordinar el calendario, administra la matriz de entradas, controla la madurez de los insumos, consolida la información y mantiene el registro de decisiones. También será responsable por advertir tempranamente cuando una entrada crítica no se encuentra disponible o cuando su nivel de desarrollo no es suficiente para la clase de estimación requerida.

El rol del líder de estimaciones asegurará que la información se encuentre disponible en el momento necesario dentro del proceso de estimación y que además cuente con

las validaciones requeridas por las especialidades que correspondan. El líder de estimaciones será quien revisará y sancionará el programa de estimaciones para asegurar un proceso correctamente orquestado y consecuente con el desarrollo de las ingenierías y del plan de ejecución que habiliten los datos de entrada para el proceso de estimaciones.

7.1.3. Nivel de generación y validación técnica

Las disciplinas y áreas funcionales generan y validan los antecedentes técnicos. Ingeniería es responsable de las bases de diseño, equipos, planos, listados y MTO; Construcción valida constructibilidad, rendimientos, secuencia, frentes, instalaciones temporales y servicios de apoyo; Adquisiciones y Contratos aporta condiciones de mercado, cotizaciones, plazos de suministro y estrategia contractual; Operaciones y Mantenimiento validan requerimientos del cliente; Sustentabilidad, Seguridad y Permisos identifican restricciones; Puesta en Marcha define necesidades de preparación y transferencia; y Riesgos integra los eventos que pueden afectar costo y plazo.

La propuesta diferencia entre emitir y validar. Una empresa de ingeniería puede preparar un MTO, pero la disciplina de Ingeniería del proyecto debe confirmar que ese MTO es consistente con la revisión de documentos utilizada. De la misma forma, un estimador puede calcular un costo de campamento, pero Construcción y el equipo del proyecto deben validar los drivers de dotación, turnos, duración y estándar de servicio.

7.1.4. Nivel de aseguramiento externo

El cuarto nivel corresponde al aseguramiento externo al proyecto, el cual se encuentra compuesto por revisiones funcionales, corporativas e independientes. El objetivo corresponde a comprobar que el proceso fue aplicado correctamente y que los supuestos y riesgos son razonables. Las revisiones funcionales y corporativas se activarán tempranamente en los cierres que se apliquen a cada alcance del proyecto en conformidad a la estructura de quiebre del proyecto.

7.2. Mapa general del proceso y diagrama SIPOC

Una mirada general del proceso lo representaremos mediante un diagrama SIPOC, dado que esta herramienta nos permitirá observar en una sola vista quiénes aportan información, cuáles son las entradas, qué procesos son los que generan la información, qué salidas se generan y quiénes utilizan los resultados. Su principal ventaja es que nos ayuda a comprender la estimación como un proceso transversal y no como una tarea exclusiva del estimador.

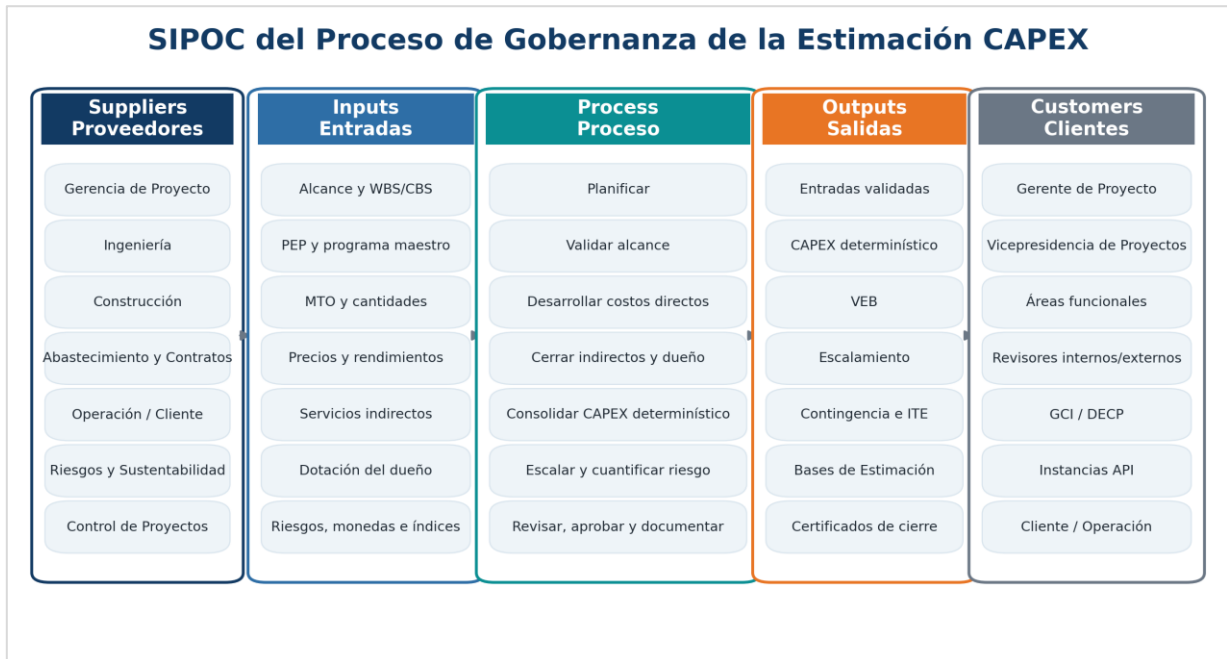


Figura 7-2 Modelo SIPOC Modelo de Gobernanza

Como ya se planteó anteriormente, el modelo propuesto, nos entrega una visión unificada de las interacciones requeridas para el desarrollo de una estimación de costos. En este caso los proveedores corresponden a las áreas que generan definiciones técnicas, operacionales, contractuales, económicas. Las entradas incluyen alcance, WBS, CBS, plan de ejecución del proyecto, programa maestro, MTO, precios, rendimientos, servicios indirectos de apoyo a la construcción, dotación del dueño, riesgos, monedas e índices asociados a bases de IPC para efectos de costos en moneda nacional, así como IPM para costos en moneda extranjera. El proceso integra la planificación, validación, estimación, consolidación, escalamiento, análisis de riesgo y aprobación. Conforme lo anterior y el proceso planteado, las salidas no se reducen a un monto estimado con una planilla de cálculo de respaldo, sino que incluyen registro de entradas validadas, CAPEX determinístico, escalamiento, contingencia, ITE, Bases de Estimación y certificados de cierre.

La propuesta de metodología implica que el SIPOC deberá elaborarse al inicio de cada estimación y adaptarse a las características del proyecto y su clase de estimación exigida. Por ejemplo, en la estimación de un proyecto minero subterráneo, deben incorporarse como proveedores las disciplinas de geomecánica, ventilación y desarrollo; en un proyecto de relaves o aguas, se deben incorporar los responsables comunitarios y servidumbres. La presente propuesta entregará una estructura base, sin embargo, cada uno de los elementos del SIPOC podrán y deberán ajustarse conforme la naturaleza del proyecto.

7.3. Modelo de entradas críticas y madurez requerida

La propuesta metodológica incorpora una Matriz de Requerimientos de Información para la Estimación. Esta matriz viene a cubrir la brecha sobre el nivel de definición de las entradas del proceso, las cuales se mencionan, pero no hay un suficiente detalle de cuándo deben estar disponibles, con qué nivel de madurez, quién debe emitirlas y quién debe validarlas. La matriz se transforma en el registro crucial para su inclusión en el plan de estimaciones y al mismo tiempo para controlar la preparación del CAPEX.

Considerando que el SIPOC de cada proceso de estimación deberá realizarse al inicio de cada proceso y de forma personalizado en función de su alcance y consideraciones especiales, cada entrada debe quedar caracterizada por su nombre, componente del CAPEX que afecta, responsable de emisión, responsable de validación, fecha requerida, nivel de madurez, documento de respaldo, impacto en caso de atraso y estado. De esta forma, una entrada como “curva de dotación de construcción” deja de ser un antecedente que sabemos que es necesario y pasa a tener un dueño, una fecha, una base de cálculo y un gate de aprobación.

Para este efecto, se proponen cinco niveles de madurez.

- M0: Será entendida como una entrada no identificada o inexistente.
- M1: Será entendida como una definición conceptual basada principalmente en experiencia o referencias.
- M2: Corresponderá a información desarrollada que permite estimar, pero que todavía contiene supuestos relevantes.
- M3: Corresponderá a una entrada revisada y validada por la especialidad competente.
- M4: Corresponderá al máximo nivel de validación basado en precios adjudicados y por lo cual cualquier modificación posterior debe quedar controlada como cambio.

En una estimación Clase 4 pueden aceptarse varias entradas en M2, siempre que los supuestos y rangos se encuentren claramente documentados. En una estimación Clase 3, los elementos que determinan materialmente el CAPEX deben alcanzar M3 o M4. Para una estimación definitiva Clase 2 se espera que la mayor parte de las entradas relevantes se encuentre en M4, respaldada por ingeniería avanzada, cotizaciones, contratos o compromisos reales.

Además del nivel de madurez, cada entrada crítica se asocia a un hito de control o gate que corresponde al momento del proceso de estimación en que dicha entrada debe encontrarse disponible y validada por la especialidad competente. El modelo organiza el desarrollo de la estimación en nueve hitos de control secuenciales (H0 a H8), que constituyen la línea principal de avance del CAPEX y cuyo desarrollo detallado se presenta en la sección 7.6. Para facilitar la lectura de la matriz de entradas, la siguiente tabla resume el propósito de cada hito e identifica aquellos en los que se exige la disponibilidad de entradas críticas.

Hito	Denominación	Qué se valida y decide	Entradas críticas asociadas
H0	Inicio y planificación	Se establece la gobernanza del proceso: entregables, fechas, validadores y stakeholders. Se aprueba el Plan de Estimación.	
H1	Alcance, WBS y CBS	Se asegura que todo el alcance conocido esté representado, correlacionado y sin partes huérfanas; se revisan interfaces y exclusiones.	Bases y criterios de diseño; WBS y CBS; PEP y estrategia de ejecución
H2	Ingeniería, MTO, precios y costos directos	Se confirma la madurez de cantidades, precios y rendimientos, con trazabilidad ingeniería-MTO-CAPEX.	MTO y cantidades; precios y cotizaciones; rendimientos y productividades
H3	Estrategia, costos indirectos y del dueño	Se valida de forma transversal la coherencia entre programa, estrategia de ejecución (PEP), curva de dotación y modelo contractual.	Programa maestro, curva de dotación de contratistas; campamento, alimentación y transporte; agua, energía e instalaciones temporales; organigrama y dotación Codelco
H4	CAPEX determinístico y VEB	Se consolida la mejor estimación del alcance conocido y se aprueba el Valor Estimado Base (VEB).	

H5	Curva de compromisos y escalamiento	Se valida la coherencia de fechas, monedas e índices con el programa y la estrategia contractual.	Programa maestro, curva de compromisos
H6	Riesgos, sensibilidad y contingencia	Se cuantifica la incertidumbre y se determina la contingencia, obteniendo la ITE.	Registro de riesgos y rangos
H7	Revisión independiente, cierre y aprobación	Revisión externa del cumplimiento de los atributos de calidad; cierre formal del proceso.	(hito de control)
H8	Retroalimentación	Captura de lecciones aprendidas y actualización de la metodología.	(hito de mejora)

Figura 7-3 Tabla de Hitos/Gates y Entradas Críticas

Respecto de la disponibilidad de datos e información, la siguiente tabla muestra una síntesis de las entradas que el modelo considera críticas. La lista debe ser adaptada al proyecto, pero mantiene una base común para evitar omisiones recurrentes.

Componente	Entrada crítica	Responsable de emitir	Responsable de validar	Hito requerido	Evidencia mínima
Costos directos	Bases y criterios de diseño	Ingeniería	Líderes de disciplina / Cliente	H1-H2	Documento vigente y aprobado para la etapa
Costos directos	WBS y CBS	Control de Proyectos / Ingeniería	Gerente de Proyecto y función de control	H1	Estructuras correlacionadas y sin alcance huérfano
Costos directos	MTO y cantidades	Ingeniería / Consultor	Líder de disciplina	H2	Listado con revisión, fecha de corte y trazabilidad a planos
Costos directos	Precios y cotizaciones	Estimaciones / Abastecimiento	Control de Proyectos y especialista	H2	Fuente, moneda, vigencia, alcance y condición comercial
Costos directos	Rendimientos y productividades	Construcción / Estimaciones	Construcción y Control de Proyectos	H2	Base histórica ajustada por condiciones del proyecto
Costos indirectos	PEP y estrategia de ejecución	Gerencia de Proyecto	Construcción, Contratos y Cliente	H1-H3	Documento aprobado y consistente con programa
Costos indirectos	Curva de dotación de contratistas	Construcción / Contratistas	Construcción y Control de Proyectos	H3	Dotación por frente, turno y período
Costos indirectos	Campamento, alimentación y transporte	Construcción / Logística	Construcción, Cliente y Sustentabilidad	H3	Drivers de personas, estándar, ubicación y duración

Costos indirectos	Agua, energía e instalaciones temporales	Construcción / Ingeniería	Construcción e Ingeniería	H3	Consumos, capacidad, fuente y período de servicio
Costos del dueño	Organigrama y dotación Codelco	Gerencia de Proyecto / Control de Proyectos	Gerente de Proyecto y áreas funcionales	H3	Roles, jornada, curva mensual y tarifa
Escalamiento	.Curva de compromisos	Programación / Control de Proyectos	Gerente de Proyecto, Contratos y Finanzas	H5	Fechas de licitación, adjudicación y moneda
Contingencia	Registro de riesgos y rangos	Riesgos / Disciplinas	Gerente de Proyecto y función de riesgos	H6	Pre-work, distribuciones, supuestos y acta de taller

Tabla 7-1 Tabla de Componentes, Entradas y Evidencias



Figura 7-4 Representación de Hitos/Gates y Entradas Críticas

7.2.1. Entradas de costos directos

Las entradas asociadas a los costos directos en general cuentan con una relación más evidente y cuantificable con la ingeniería, pero esto por si solo no garantiza su calidad. El modelo propuesto pone en especial atención la exigencia que las bases de diseño, la WBS, los MTO, los listados de equipos y las cantidades indiquen claramente la revisión utilizada y su fecha de corte. Adicionalmente debe quedar documentado qué parte del alcance se obtuvo mediante cubicación, qué parte se estimó por factores y qué provisiones se aplicaron por efecto de no contar con las cubicaciones requeridas ya sea de porciones del alcance o de partes del proceso constructivo que no pueda detallarse conforme la información disponible.

Respecto de los precios utilizados, además de indicar su origen (factorizados, contratos adjudicados o construidos), vigencia, moneda, impuestos, flete, alcance de suministro y condiciones comerciales, tal como lo indica el actual procedimiento. El modelo exige que los rendimientos reflejen las condiciones del proyecto y no solo valores genéricos, para lo anterior el modelo de estimación debe considerar altura geográfica, accesos, interferencias, turnos, disponibilidad de mano de obra, restricciones operacionales, secuencia de construcción y productividad esperada entre otros. La gobernanza en la aprobación por disciplina confirma que los antecedentes son aptos para la clase de estimación y son razonables para las condiciones del proyecto.

7.2.2. Entradas de costos indirectos

En el modelo propuesto, los costos indirectos requieren una gobernanza más intensa, porque normalmente dependen de definiciones provenientes de distintas áreas. El campamento, la alimentación, el transporte, la energía temporal, el agua, las oficinas, bodegas, patios, seguridad, servicios médicos y administración de terreno no pueden calcularse adecuadamente sin un programa, una estrategia de ejecución, una curva de dotación, un régimen de turnos y una definición contractual. Por esta razón, el modelo establece un cierre específico antes de consolidar el CAPEX determinístico.

Cada servicio debe asociarse a uno o más drivers verificables. La alimentación se vincula con personas por día y régimen de turnos; el transporte con dotación, distancias y frecuencias; el campamento con ocupación máxima, estándar y duración; la energía con consumos, capacidad instalada y período; y la administración de terreno con número de contratos, frentes y duración. En el caso que no exista la información requerida para su cálculo, el uso de factores debe quedar expresamente identificado como una condición de menor madurez y reflejarse en el análisis de incertidumbre. Sin

embargo lo anterior solo será aceptable para estimaciones clase 4/5 o para porciones muy menores y no determinantes de estimaciones clase 3.

7.2.3. Entradas de costos del dueño

La dotación del dueño estará completamente relacionada a la estrategia que el proyecto defina para llevarse a cabo. En función de esto se definirá la cantidad de personas por parte del mandante que el proyecto requerirá para ser gestionado. Esta propuesta pone de manifiesto que la cantidad de profesionales propio estará relacionado con el número, complejidad y tipo de contratos, los frentes de construcción, el nivel de supervisión, el modelo de QA/QC, el control documental, la seguridad, la sustentabilidad, la puesta en marcha y la preparación operacional.

7.4. Roles, responsabilidades y tomas de decisión

En nuestro modelo de gobernanza, la matriz RACI es fundamental pues permitirá ordenar responsabilidades, pero su aplicación debe complementarse con una definición de tomas de decisión. El responsable R ejecuta o prepara el entregable; el responsable A aprueba y asume la decisión final; los actores C deben ser consultados antes del cierre; y los actores I reciben información. El modelo establece que cada actividad tenga un solo responsable A, con el fin de evitar aprobaciones ambiguas o responsabilidades compartidas que finalmente no son asumidas por nadie.

Hito	Actividad / entregable	GP	CPIEST	ING	CONST	A&C	RIE	AF	CLI	GC
H0	Plan de Estimación y planificación	A	R	C	C	C	C	C	I	I
H1	Alcance, WBS y CBS	A	R	R	C	I	C	C	C	I
H1-H2	Bases y criterios de diseño	I	C	A R	C	I	I	C	C	I
H2	MTO y cantidades	I	C	A R	C	I	I	C	I	I
H2	Precios y cotizaciones	I	A	C	I	R	I	C	I	I
H2	Rendimientos y productividades	I	A	C	R	I	I	C	I	I
H3	PEP y estrategia de ejecución	A	C	C	R	C	C	C	C	I
H3	Costos indirectos (servicios/instalac.)	C	A	I	R	C	I	C	C	I
H3	Costos del dueño (organización/dotación)	A	R	I	C	C	I	C	C	I
H4	CAPEX determinístico (VEB)	A	R	C	C	C	C	C	C	I
H5	Curva de compromisos y escalamiento	A	R	I	C	C	I	C	I	I
H6	Riesgos y contingencia (ITE)	A	C	C	C	I	R	C	I	I
H7	Revisión independiente y cierre	C	C	C	I	I	C	R	I	A
H8	Retroalimentación y lecciones aprendidas	A	R	C	C	C	C	C	I	I

Convención RACI: R Responsable (ejecuta / prepara) A Aprueba (decisión final, único) C Consultado I Informado
 Roles: GP = Gerente de Proyecto CPIEST = Control de Proyectos / Estimaciones ING = Ingeniería y disciplinas técnicas CONST = Construcción A&C = Abastecimiento y Contratos RIE = Riesgos
 AF = Áreas funcionales CLI = Cliente GC = Gerencia Corporativa

Figura 7-5 Matriz RACI

La matriz RACI propuesta corresponde a un marco referencial y debe adaptarse a la organización y condiciones de cada proyecto. Sin embargo, mantiene una regla común: Control de Proyectos coordina y consolida, pero las disciplinas conservan la responsabilidad sobre la calidad técnica de sus entradas. El Gerente de Proyecto aprueba los cierres de alcance, organización, CAPEX determinístico e ITE. Las áreas funcionales participan como revisores y garantes del cuerpo normativo de Codelco, procurando mantener independencia respecto de quienes desarrollaron la información que aportará a la estimación.

En el caso de existir discrepancias relevante entre especialidades, el modelo considera registrar la controversia, cuantificar su impacto y elevarla a la instancia de toma de decisión. Esta práctica permite que las controversias queden trazables y documentadas para futuras consultas sobre el desempeño y resultados reales de la decisión tomada sobre la decisión descartada.

7.5. Plan de Estimación y planificación tipo

El Plan de Estimación es un factor fundamental en el proceso de estimación y constituye el documento que presenta los lineamientos y la estrategia para llevar a cabo lo que llamaremos el “proyecto de estimación”. Actualmente la normativa actual de Codelco ya exige su elaboración, sin embargo no ha representado un verdadero efecto diferenciador para los procesos de estimación. De esta forma, el modelo propuesto amplía su utilización como instrumento de gobernanza. El Plan debe incorporar el SIPOC, la matriz de entradas, la RACI, la carta Gantt, gates de control, los criterios de madurez y la estrategia de revisión. De esta forma deja de ser un antecedente emitido al comienzo y se transforma en el documento utilizado para dirigir el proceso.

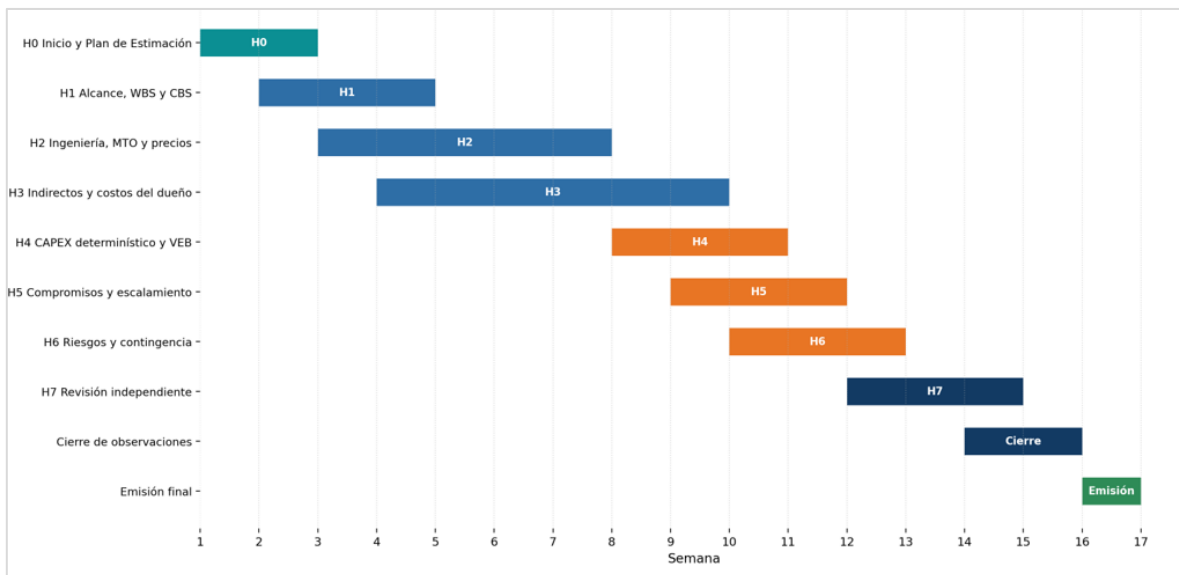


Figura 7-6 Planificación del Desarrollo de la Estimación

La finalidad de la presente carta gantt es mostrar la secuencia y las dependencias. El alcance, la WBS y la CBS deben cerrarse antes de validar las cantidades. Los costos indirectos y del dueño deben desarrollarse en paralelo con el programa y la estrategia. El CAPEX determinístico debe estar aprobado antes de calcular escalamiento y contingencia. Por último, la revisión independiente debe realizarse con tiempo suficiente para corregir observaciones antes de la emisión final.

El cronograma debe contener fechas de corte y congelamiento. Entre ellas se encuentran el congelamiento del alcance, la fecha de corte del MTO, el cierre de precios, la aprobación de indirectos, la aprobación del CAPEX determinístico, la aprobación de la curva de compromisos, el taller de contingencia y la emisión final. Toda modificación posterior debe registrarse, explicar su causa y mostrar su impacto.

7.6. Modelo de Gates Iterativos y cierres progresivos

La propuesta de gobernanza desarrollada en esta tesina se estructura sobre un modelo de gates iterativos, entendido como un sistema de compuertas de control que permite gestionar la maduración progresiva de la estimación de CAPEX. A diferencia de un proceso lineal, en el cual los antecedentes se consolidan y revisan principalmente al final, este modelo establece cierres parciales y sucesivos que deben ser cumplidos antes de avanzar hacia la siguiente etapa.

Cada gate representa una instancia formal de revisión, validación y toma de decisión. En ella se comprueba que los antecedentes requeridos se encuentran disponibles, que alcanzaron el nivel de madurez definido para la clase de estimación, que fueron

revisados por las especialidades competentes y que las observaciones críticas fueron resueltas. De esta manera, el avance del proceso no queda determinado únicamente por el cumplimiento de una fecha, sino por la calidad y suficiencia de la información que sustenta la estimación.

La incorporación de una lógica iterativa implica que las compuertas no se entienden como revisiones aisladas. Cuando se detecta una brecha, el antecedente vuelve al responsable que lo emitió para su corrección, complementación o validación. Posteriormente, es presentado nuevamente al gate hasta lograr su cierre. Este ciclo de revisión permite resolver las diferencias mientras la información aún se encuentra en desarrollo, evitando que sean trasladadas hacia las etapas finales del proceso.

El modelo también incorpora una revisión explícita por especialidad. Minería debe validar los antecedentes asociados al alcance y costos mineros; mecánica, los equipos, sistemas y componentes mecánicos; electricidad, las instalaciones eléctricas; instrumentación y automatización, los sistemas de control; obras civiles y estructuras, sus cantidades y soluciones; construcción, la estrategia constructiva y los servicios de apoyo; abastecimiento y contratos, las fuentes de precios y condiciones comerciales; y así sucesivamente. Cada disciplina se hace responsable de la información bajo su ámbito de competencia y deja evidencia formal de su conformidad.

No obstante, la validación por disciplina no es suficiente por sí sola. La estimación debe considerar además una revisión transversal de las interfaces entre especialidades. Por ejemplo, el requerimiento eléctrico de un equipo mecánico debe encontrarse correctamente incorporado en el alcance eléctrico; las fundaciones de dicho equipo deben estar contenidas en las cantidades civiles; y su secuencia de montaje debe ser coherente con la estrategia constructiva y el programa maestro. Por este motivo, cada gate debe verificar tanto la suficiencia del contenido disciplinario como su integración con los demás componentes del proyecto.

La coordinación general del proceso será ejercida por Control de Proyectos, que actuará como articulador entre el equipo estimador, las disciplinas técnicas, las áreas funcionales y la Gerencia de Proyecto. Su función no será reemplazar la responsabilidad técnica de las especialidades, sino asegurar que los insumos sean entregados oportunamente, que las revisiones se realicen según el plan, que las observaciones tengan responsable y fecha de cierre, y que las decisiones queden debidamente trazadas.

En cada gate podrán adoptarse tres decisiones:

- **Aprobado:** los antecedentes cumplen los requisitos y se autoriza el avance.
- **Aprobado con observaciones menores:** se permite avanzar, siempre que las observaciones no afecten materialmente el alcance, costo, plazo o nivel de confianza de la estimación. Estas observaciones deben contar con responsable y fecha comprometida.
- **No aprobado:** existen brechas críticas que impiden utilizar los antecedentes en la etapa siguiente. El proceso debe volver a la actividad que originó la información hasta resolverlas.

Las observaciones críticas no podrán mantenerse abiertas al cerrar una compuerta. Las observaciones menores deberán quedar registradas y controladas, evitando que se acumulen o sean trasladadas sin tratamiento hacia el cierre final. Para cada gate se emitirá una ficha o acta que identifique los antecedentes revisados, las disciplinas participantes, los acuerdos, las observaciones, los responsables y la decisión adoptada.

Bajo esta lógica, la elaboración del CAPEX se transforma en un proceso orquestado de validación progresiva. El objetivo no es aumentar innecesariamente la cantidad de revisiones o documentos, sino trasladar los controles hacia el momento en que todavía es posible corregir las definiciones con un menor impacto sobre el estudio. Esto permite reducir retrabajos, mejorar la trazabilidad y entregar mayor confianza a las instancias internas y externas que posteriormente revisarán la estimación.

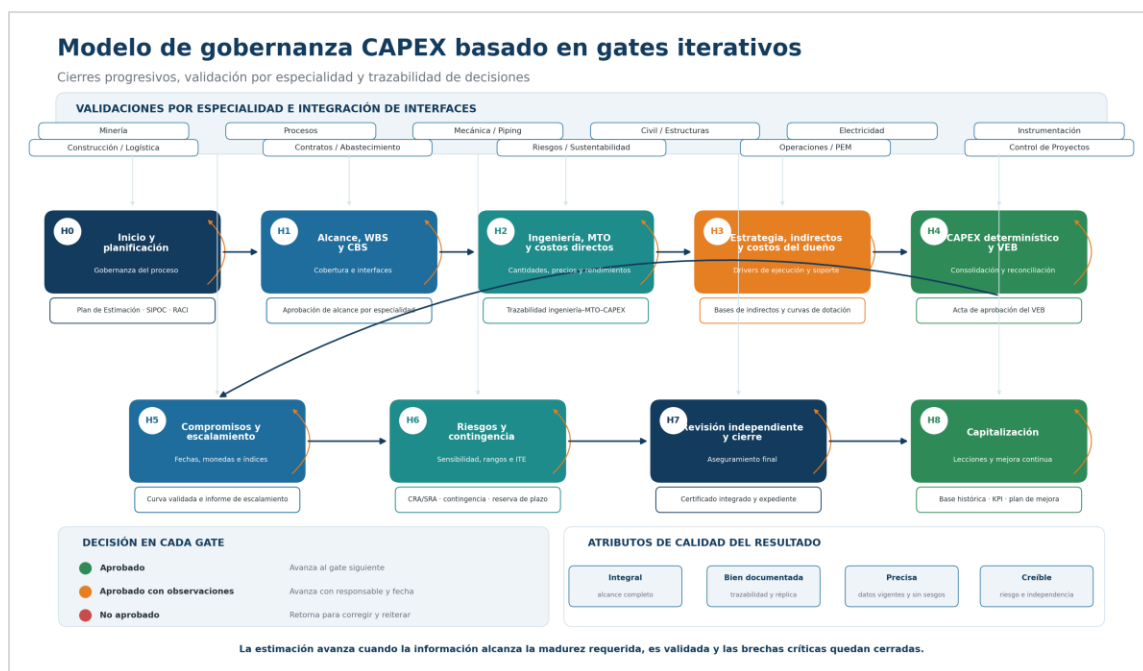


Figura 7-7 Modelo de Gobernanza Basado en Hitos /Gates Iterativos

La figura representa una línea principal de avance del CAPEX compuesta por nueve gates secuenciales, sobre la cual confluyen revisiones disciplinarias y funcionales. Cada compuerta recibe insumos, consolida observaciones, ejecuta validaciones y emite un cierre formal. Solo cuando el gate queda cerrado se habilita el paso al siguiente. Por lo tanto, la estimación no avanza por defecto ni solo por calendario, sino por madurez validada.

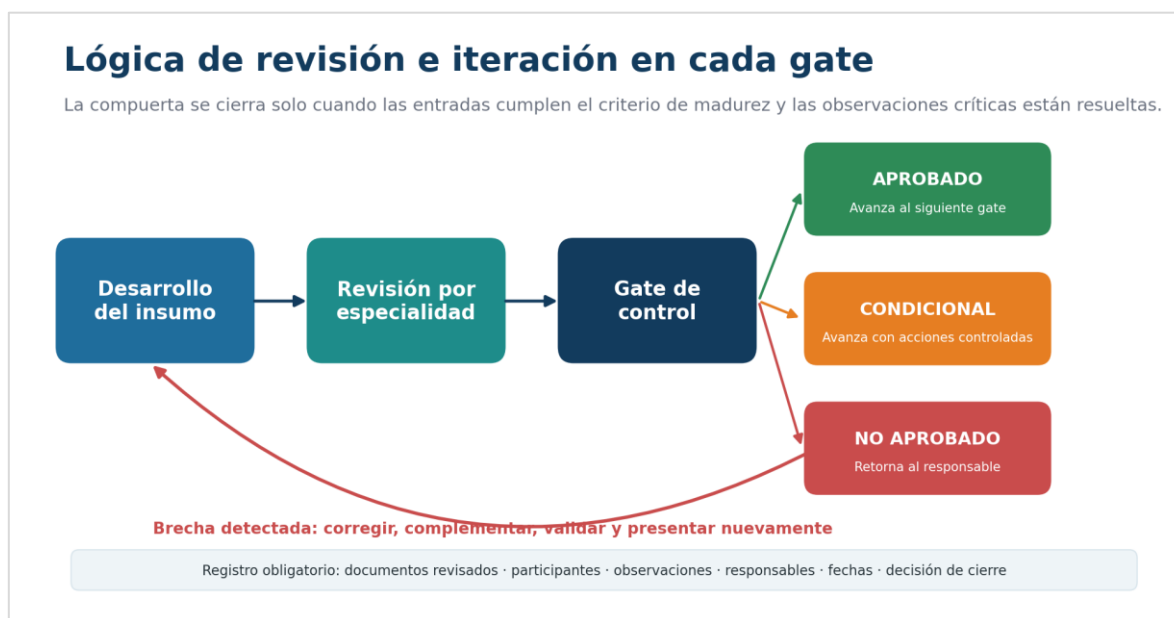


Figura 7-8 Lógica de Revisión e Iteración en Cada Hito/Gate

7.5.1. Gate H0: Inicio y Planificación

Su objetivo es establecer cómo se desarrollará la estimación, quiénes participarán y cuáles serán las reglas del proceso. Debe aprobarse, el propósito, el alcance, la organización, las fechas, la estrategia de preparación, la herramienta de cálculo y el enfoque de revisión progresivo. Esta instancia generará el alineamiento del equipo y la confirmación de los compromisos y responsabilidades asignadas.

El Gate H0 corresponderá al momento en que se establece la gobernanza del proceso. Por lo tanto, no se limitará a una reunión informativa. Las áreas participantes deben confirmar los entregables que estarán bajo su responsabilidad, las fechas comprometidas y las personas autorizadas para validar cada materia. Asimismo, deben identificarse los stakeholders que intervendrán durante el proceso, incluyendo a quienes aportarán información, quienes la revisarán y quienes tendrán autoridad para aprobarla.

Revisión requerida: Control de Proyectos, Gerencia de Proyecto, líderes de especialidad, áreas funcionales, construcción, contratos, abastecimiento, riesgos, sustentabilidad, operaciones y puesta en marcha, según corresponda.

Documentos mínimos: Plan de Estimación; SIPOC; RACI; carta gantt; registro de stakeholders; matriz inicial de entradas y protocolo de decisiones.

Criterio de salida: El equipo, la metodología, los responsables, las fechas y los criterios de avance se encuentran formalmente acordados.

7.5.2. Gate H1: Validación del Alcance, WBS y CBS

Este gate busca asegurar que la totalidad del alcance conocido esté representada y pueda ser valorizada. Deben revisarse límites de batería, interfaces, exclusiones, WBS, CBS y correlación entre ambas estructuras. También se identifican componentes pendientes de definición y se determina cómo serán estimados mientras maduran.

La revisión deberá realizarse por especialidad. Minería validará los desarrollos, obras e infraestructura minera, mecánica, los equipos y sistemas mecánicos, electricidad, las instalaciones de fuerza y distribución, instrumentación, los sistemas de control, y obras civiles, las excavaciones, fundaciones, edificios y estructuras. Cada disciplina deberá confirmar que su alcance está representado o, en caso contrario, identificar las definiciones pendientes y la forma en que serán tratadas temporalmente.

Además de la revisión individual, el gate debe verificar las interfaces. Las responsabilidades sobre los puntos de conexión entre disciplinas deben quedar claramente establecidas para evitar omisiones o doble contabilización. Esta revisión es especialmente relevante en límites de batería, servicios auxiliares, sistemas comunes, empalmes con instalaciones existentes y requerimientos del cliente.

Los componentes que aún no logren el nivel de ingeniería requerido podrán avanzar solamente cuando exista un supuesto formalmente aprobado, una metodología de estimación temporal y un responsable de completar la definición. Estos elementos deberán quedar registrados como brechas de madurez y ser controlados en los gates posteriores.

Revisión requerida: Minería, procesos, mecánica y piping, electricidad, instrumentación y automatización, obras civiles y estructuras, infraestructura, construcción, operaciones, mantenimiento y Control de Proyectos.

Documentos mínimos: Declaración de alcance; límites de batería; WBS; CBS; matriz de correlación WBS-CBS; lista de exclusiones y formulario de aprobación de alcance por especialidad.

Criterio de salida: Todos los componentes del proyecto son identificables en la estructura de costos y las interfaces entre las especialidades y el equipo de estimación tienen responsable.

7.5.3. Gate H2: Ingeniería, MTO, Precios y Costos Directos

El objetivo de este gate será confirmar que las cantidades, precios y rendimientos tienen el nivel de madurez requerido. Cada disciplina debe declarar los documentos utilizados, fecha de corte, cobertura del MTO, factores de crecimiento, fuentes de precios, rendimientos y principales supuestos, restricciones, incertidumbres y exclusiones.

El MTO debe encontrarse vinculado a los planos, memorias, especificaciones y listados que le dieron origen. La existencia de una cantidad en una planilla no será suficiente si no es posible rastrearla hasta un antecedente técnico o una metodología de cálculo. De igual forma, las cantidades inferidas, factorizadas o estimadas mediante parámetros deberán estar claramente diferenciadas de aquellas obtenidas directamente desde la ingeniería.

Las fuentes de precios deben indicar su origen, fecha, moneda, condiciones comerciales, alcance incluido y ajustes aplicados. Las cotizaciones deberán revisarse desde el punto de vista técnico y comercial. Cuando se utilicen bases históricas, contratos o referencias de otros proyectos, deberá explicarse su aplicabilidad y los ajustes necesarios para llevarlas a las condiciones del proyecto analizado.

Los rendimientos y productividades deberán considerar las características del sitio, accesos, interferencias, régimen de turnos, altura geográfica, condiciones climáticas, restricciones operacionales, secuencia de ejecución y demás factores que puedan afectar el desempeño. Las especialidades deberán declarar que dichos rendimientos son razonables para las condiciones previstas.

Revisión requerida: Todas las disciplinas técnicas, construcción, abastecimiento, contratos, especialistas de costos y Control de Proyectos.

Documentos mínimos: MTO por disciplina; registro de documentos; matriz de precios; matriz de rendimientos; factores de crecimiento; cotizaciones; trazabilidad ingeniería-MTO-CAPEX y formularios de aprobación por especialidad.

Criterio de salida: Las disciplinas declaran que sus entradas son aptas para estimar y los supuestos pendientes están identificados y cuantificados.

7.5.4. Gate H3: Estrategia, Costos Indirectos y Costos del Dueño

Este cierre integra las definiciones del plan de ejecución, programa, estrategia contractual, constructibilidad, instalaciones temporales y organización del dueño. La finalidad es asegurar que los indirectos y costos del dueño se calculen con una base sólida, tal como los costos directos. Los servicios deben dimensionarse con drivers verificables y quedar asociados a duración y dotación.

Este gate requiere una revisión transversal, ya que los costos indirectos dependen de antecedentes desarrollados por varias áreas. La duración definida en el programa debe ser coherente con la curva de dotación; la estrategia contractual debe estar vinculada al número de contratos y a la organización del dueño; y los servicios de apoyo deben reflejar los frentes y secuencias previstos para construcción.

Revisión requerida: Construcción, planificación, contratos, abastecimiento, logística, seguridad, sustentabilidad, puesta en marcha, operaciones, área funcional, Gerencia de Proyecto y Control de Proyectos.

Documentos mínimos: Plan de ejecución validado; estrategia contractual; plan logístico; curva de dotación de contratistas; dimensionamiento de campamento, alimentación, transporte, agua y energía; organigrama y curva de dotación Codelco.

Criterio de salida: Los indirectos y costos del dueño están sustentados por condiciones reales del proyecto y cuentan con responsables y aprobación.

7.5.5. Gate H4: Aprobación del CAPEX Determinístico y VEB

En este gate se consolida la mejor estimación basada en el alcance conocido. Se integran costos directos, indirectos, costos del dueño, factores de crecimiento y escalamiento según los estándares del sistema de inversión de capital, así como el sistema de gestión de proyectos de Codelco. Antes de avanzar se realiza reconciliación con la estimación anterior y benchmarking.

La revisión no debe limitarse a comprobar que las partidas fueron sumadas correctamente. Debe verificar que el CAPEX refleje el alcance validado, que las cantidades correspondan a la ingeniería disponible, que las fuentes de precios sean consistentes, que los indirectos estén relacionados con la estrategia de ejecución y que los costos del dueño respondan a la organización prevista.

Las Bases de Estimación preliminares deberán encontrarse suficientemente desarrolladas para explicar el origen del CAPEX. En este documento se registrarán las fuentes, métodos,

supuestos, exclusiones, criterios de precios, rendimientos, factores, reconciliaciones y principales decisiones adoptadas durante los gates anteriores.

Revisión requerida: Control de Proyectos, Gerencia de Proyecto, todas las especialidades, áreas funcionales de estimaciones, construcción, contratos, abastecimiento y cliente.

Documentos mínimos: CAPEX determinístico; reconciliación; benchmarking; Bases de Estimación preliminares; lista de supuestos y exclusiones; checklist SIC/SGP y acta de aprobación del VEB.

Criterio de salida: La estimación determinística representa el alcance conocido, es trazable y puede someterse al análisis de incertidumbre.

7.5.6. Gate H5: Validación de Curva de Compromisos y Escalamiento

El escalamiento debe reflejar cuándo se espera comprometer cada costo y en qué moneda. Por ello se valida la relación entre programa maestro, estrategia contractual, licitaciones, adjudicaciones y flujo.

Cada paquete relevante debe contar con una fecha prevista de compromiso. Esta fecha deberá sustentarse en el programa y en la estrategia de contratación. Asimismo, debe identificarse la moneda correspondiente, el índice aplicable y la fecha base desde la cual se calculará el escalamiento.

En esta etapa se incorpora una consulta temprana al equipo funcional y a la Gerencia de Inversiones, con el propósito de obtener su conformidad o levantar observaciones antes de la revisión final. Esta validación permitirá reducir diferencias posteriores respecto de los criterios macroeconómicos, escaladores, monedas y fechas de compromiso utilizadas.

La revisión deberá comprobar también que los supuestos del escalamiento estén documentados en las Bases de Estimación y que exista consistencia entre la curva de compromisos y el cronograma contractual.

Revisión requerida: Control de Proyectos, contratos, abastecimiento, Gerencia de Inversiones, área funcional y disciplinas técnicas cuando corresponda.

Documentos mínimos: Programa maestro; curva de compromisos mensual/anual; fechas de licitación y adjudicación; monedas; escaladores; supuestos macroeconómicos e informe de escalamiento.

Criterio de salida: Cada compromiso está vinculado a la fecha indicado en el programa y los escaladores se encuentran acordados.

7.5.7. Gate H6: Riesgos, Sensibilidad y Contingencia

Este gate se desarrolla de acuerdo con los criterios establecidos en el SIC-I-106 y en el procedimiento correspondiente de estimación de contingencia, incorporando además una participación explícita del área de Riesgos y de especialistas externos al proyecto con el objetivo de capturar antecedentes ocurridos en proyectos similares.

Por su parte, el área de Riesgos deberá verificar que los eventos con impacto en costo o plazo se encuentren adecuadamente identificados y que no hayan sido confundidos con incertidumbres ya capturadas en las partidas. Control de Proyectos coordinará el análisis, preparará los antecedentes y seleccionará, junto con la Gerencia de Proyecto, al grupo de expertos que participará en los talleres de rango.

Revisión requerida: Riesgos, Control de Proyectos, Gerencia de Proyecto, disciplinas técnicas, planificación, construcción, contratos y expertos externos al proyecto.

Documentos mínimos: Registro de riesgos; pre-work; listado de participantes, análisis de sensibilidad; talleres de rango; CRA/SRA cuando corresponda; cálculo de contingencia; reserva de plazo y reconciliación VEB + contingencia = ITE.

Criterio de salida: La contingencia está respaldada por incertidumbre y riesgos cuantificados, y la ITE es coherente con el nivel de confianza requerido.

7.5.8. Gate H7: Revisión Independiente, Cierre y Aprobación

La estimación es revisada por expertos externos a la organización y al proyecto para comprobar que la estimación cumple los atributos de calidad indicados en los documentos normativos de la Corporación. La propuesta metodológica desarrollada busca que todos los elementos, acuerdos y revisiones por especialistas internos y externos al proyectos (pero internos a la organización) estén a la vista de los revisores externos a la Corporación para dar a conocer que el proceso fue llevado a cabo mediante un proceso orquestado basado en cierres parciales que llevan la estimación a contar con atributos de confiabilidad, credibilidad trazabilidad y robustez.

Revisión requerida: Revisores externos a la Corporación.

Documentos mínimos: Bases de Estimación; informe de revisión independiente; matriz de observaciones; respuestas; certificados de cierre; declaración de cumplimiento y expediente final.

Criterio de salida: No existen observaciones críticas y las especialidades han formalizado su conformidad con los elementos bajo su responsabilidad.

7.5.9. Gate H8: Retroalimentación y Capitalización de Buenas Prácticas

El proceso concluye capturando lo aprendido con el objetivo de retroalimentar la metodología de estimaciones de CAPEX. Se comparan resultados de revisión, cambios posteriores y desempeño de los principales drivers. Con los datos obtenidos se analiza en proceso y se ajusta ya sea para cubrir brechas o para optimizar etapas del proceso.

Revisión requerida: Control de Proyectos, Estimaciones, Gerencia de Proyecto, áreas funcionales, Riesgos, construcción, contratos, abastecimiento y representantes de las especialidades.

Documentos mínimos: Informe de lecciones aprendidas; registro de hallazgos; actualización de bases de datos; KPI del proceso y plan de mejora.

Criterio de salida: Las observaciones se convierten en acciones y conocimiento reutilizable, evitando que el mismo hallazgo se repita en estudios posteriores.

7.7. Sistema documental y formularios de cierre

La gobernanza propuesta debe respaldarse con documentos simples, consistentes y fáciles de auditar. El objetivo no es aumentar innecesariamente la carga documental, sino asegurar que cada decisión material cuente con evidencia. Se propone utilizar una codificación común F-GOV y mantener los formularios como anexos del Plan de Estimación o de las Bases de Estimación.

Código propuesto	Documento	Finalidad
F-GOV-01	Acta de inicio y Plan de Estimación	Acordar organización, alcance, fechas y criterios
F-GOV-02	Matriz de entradas críticas y madurez	Controlar disponibilidad, responsable, fecha y nivel de desarrollo
F-GOV-03	Matriz RACI y toma de decisión	Asignar responsabilidades y escalamiento de controversias
F-GOV-04	Aprobación por especialidad	Validar alcance, MTO, precios, rendimientos, supuestos y riesgos
F-GOV-05	Trazabilidad WBS-CBS-MTO-CAPEX	Demostrar cobertura y evitar omisiones o duplicidades
F-GOV-06	Validación de costos indirectos	Cerrar drivers de servicios, instalaciones y administración de terreno
F-GOV-07	Validación de costos del dueño	Aprobar organización, curva de dotación y bases tarifarias
F-GOV-08	Aprobación del CAPEX determinístico	Formalizar el VEB y los antecedentes que lo sustentan
F-GOV-09	Curva de compromisos y escalamiento	Validar fechas, monedas, índices y cálculo
F-GOV-10	Riesgos y contingencia	Aprobar rangos, sensibilidad, contingencia e ITE
F-GOV-11	Registro de supuestos, decisiones y cambios	Mantener trazabilidad durante todo el proceso
F-GOV-12	Certificado integrado de cierre	Confirmar cumplimiento y ausencia de brechas críticas abiertas

Tabla 7-2 Catálogo de Documentos y Formularios Propuestos

Los formularios indicados en ningún caso sustituyen la documentación técnica. Su función es dejar constancia de que la información fue revisada y es apta para el uso declarado. Cada aprobación debe identificar la revisión del documento, las observaciones pendientes, las exclusiones y la condición bajo la cual se autoriza avanzar. En caso de aprobación condicionada, la fecha y responsable de cierre deben quedar registrados.

7.8. Evaluación de calidad e Índice de Madurez y Confiabilidad

La presente propuesta metodológica busca medir su efectividad, basado en los cuatro atributos definidos por GAO para poder hacer la evaluación del resultado. Estos cuatro atributos son los siguientes:

- Integral: Se evidencia que el CAPEX contiene todo el alcance incluido y que las exclusiones están explícitas.
- Bien documentada: Significa que un analista competente puede comprender y replicar la estimación.
- Precisa: Los datos son vigentes, consistentes y sin sesgo conocido.
- Creíble: La incertidumbre fue cuantificada, los resultados fueron contrastados y existe revisión independiente.



Figura 7-9 Criterios de Calidad de la Estimación

Se propone construir un Índice de Madurez y Confiabilidad del CAPEX (IMC-CAPEX) como herramienta de seguimiento. Cada atributo se califica de 1 a 5 mediante preguntas de control. De forma inicial se propone ponderar Integral en 25%, Bien documentada en 25%, Precisa en 25% y Creíble en 25%. Estas ponderaciones son referenciales y deben calibrarse durante el piloto.

La fórmula preliminar sería: $IMC-CAPEX = 0,25(I) + 0,25(D) + 0,25(P) + 0,25(C)$, donde cada componente recibe una calificación entre 1 y 5. Un resultado inferior a 3 indicaría que la estimación no se encuentra en condición de avanzar; entre 3 y 4 mostraría una condición aceptable con brechas controladas; y sobre 4 representaría una estimación robusta para revisión. El índice no reemplaza el juicio experto ni la clase de estimación, pero facilita una conversación común sobre calidad y pendientes.

Atributo	Preguntas de control	Evidencia esperada
Integral	¿Todo el alcance CAPEX está incorporado? ¿Las exclusiones e interfaces están declaradas?	WBS/CBS, trazabilidad, matrices de entradas, formularios de indirectos y dueño
Bien documentada	¿Se puede rastrear cada costo hasta su fuente? ¿Los supuestos y decisiones están registrados?	BoE, registros de precios, MTO, actas, formularios y reconciliación
Precisa	¿Los datos son vigentes? ¿La estimación está libre de errores y sesgos conocidos?	QA/QC, benchmarking, actualización de precios, reconciliación y revisión aritmética
Creíble	¿La incertidumbre fue cuantificada? ¿Existe sensibilidad y revisión independiente?	CRA/SRA, contingencia, sensibilidad, revisión independiente.

Tabla 7-3 Preguntas de Control para Evaluar la Calidad de la Estimación.

7.9. Indicadores de desempeño del modelo

Con el objetivo de medir el real impacto de esta propuesta metodológica se implementarán indicadores que permitan evaluar cuantitativamente si la propuesta genera una mejora real. Como todavía no se ha aplicado el modelo, los objetivos iniciales deben entenderse como metas de prueba y no como beneficios garantizados.

Indicador	Definición	Fórmula	Frecuencia	Sentido esperado
Entradas a tiempo	Porcentaje de entradas críticas validadas en la fecha requerida	Entradas validadas a tiempo / entradas requeridas	Semanal	Aumentar
Madurez al cierre H4	Entradas materiales en M3 o M4 al aprobar CAPEX determinístico	Entradas M3-M4 / entradas materiales	Por hito	Aumentar
Supuestos críticos abiertos	Cantidad de supuestos con impacto material pendientes	Conteo	Semanal	Disminuir
Hallazgos de revisión	Observaciones altas, medias y bajas emitidas por revisores	Conteo por nivel	Por revisión	Disminuir
Retrabajo	Esfuerzo adicional para responder observaciones tardías	HH de retrabajo / HH totales de estimación	Mensual	Disminuir
Tiempo de aprobación	Días entre emisión formal y cierre de revisión	Fecha cierre - fecha emisión	Por estimación	Disminuir
Cumplimiento de cierres	Hitos aprobados con documentos mínimos completos	Hitos conformes / hitos aplicables	Por hito	Aumentar
IMC-CAPEX	Calidad integral, documentada, precisa y creíble	Índice ponderado de 1 a 5	H4, H6 y H7	Aumentar
Cambios posteriores al congelamiento	Variaciones relevantes después de H4	Monto de cambios / VEB aprobado	Mensual	Disminuir

Tabla 7-4 Indicadores de Desempeño

Además de medir resultados, los KPI deben utilizarse para administrar el proceso durante su desarrollo. Una caída en el porcentaje de entradas entregadas a tiempo permite intervenir antes de afectar la fecha final. Una alta cantidad de supuestos abiertos alerta sobre la necesidad de resolver decisiones. El modelo busca que los indicadores sean preventivos y no se limiten a explicar por qué la revisión final tuvo problemas.

7.10. Estrategia de implementación y piloto

La implementación de la presente propuesta metodológica se conceptualiza en cuatro etapas. La primera corresponde a la preparación, donde se ajustan formularios, se selecciona un estudio piloto, se definen responsables y se acuerda el alcance del modelo. La segunda es el piloto, en el cual se capacita sobre el modelo de gobernanza, se aplican hitos, matrices y KPI durante una estimación real. La tercera corresponde al ajuste, utilizando la experiencia obtenida para simplificar instrumentos, calibrar niveles de madurez y eliminar actividades que no agreguen valor. La cuarta es la institucionalización, integrando el modelo al Plan de Estimación, a las Bases de Estimación y a las prácticas de revisión vigentes.



Tabla 7-5 Etapas Propuestas para Implementación

Es recomendable que el piloto se desarrolle en un estudio de factibilidad, porque en esa etapa el CAPEX tiene impacto directo en la decisión de inversión y existe suficiente complejidad para probar la propuesta. También es importante que el equipo cuente con disponibilidad para registrar tiempos, observaciones y resultados. La duración del piloto debe coincidir con el ciclo completo de elaboración de la estimación, desde el H0 hasta la respuesta a la revisión independiente.

8. Conclusiones

A partir del desarrollo de la presente tesina se concluye que los objetivos planteados fueron abordados de manera progresiva, partiendo desde el diagnóstico del proceso actual, continuando con la revisión de referentes y mejores prácticas, y finalizando con el diseño de una propuesta orientada específicamente a las brechas identificadas. En este sentido, el principal resultado del trabajo no corresponde a la incorporación de nuevos métodos para calcular el CAPEX, sino al desarrollo de una estructura de gobernanza que permite ordenar, articular y validar oportunamente los distintos procesos, antecedentes y decisiones que habilitan su elaboración.

Respecto del primer objetivo específico, orientado a analizar la situación actual del modelo de gobernanza aplicado al proceso de estimación de costos, se concluye que tanto el Sistema de Inversión de Capital (SIC) y el Sistema de Gestión de Proyectos (SGP) corresponden a una base normativa robusta que define los principales requerimientos técnicos y documentales para desarrollar una estimación. Sin embargo, se identificó que la principal oportunidad de mejora no se encuentra en la falta de procedimientos, sino en la articulación entre ellos.

Respecto del segundo objetivo específico, orientado a evaluar modelos, enfoques y mejores prácticas como los relacionados con el PMI, GAO, AACE y CII, se concluye que una estimación robusta no depende solamente de la calidad del cálculo final, sino también del proceso mediante el cual sus antecedentes fueron desarrollados, revisados, validados y documentados. En consecuencia, la confiabilidad del CAPEX debe construirse progresivamente durante su elaboración y no intentar demostrarse únicamente cuando la estimación se encuentra terminada.

En relación con el tercer objetivo específico, orientado al desarrollo de una propuesta optimizada de gobernanza, se concluye que ha sido logrado mediante el diseño de un modelo estructurado en dos capas complementarias. La primera, correspondiente a la capa de definición, establece las condiciones bajo las cuales debe desarrollarse el proceso, definiendo la arquitectura de gobernanza, las entradas críticas y su madurez, los roles y responsabilidades y la planificación integrada de la estimación. La segunda, denominada capa de operación, lleva estas definiciones a la práctica mediante nueve Gates Iterativos (H0-H8), estableciendo puntos de control y cierre durante todo el desarrollo del CAPEX.

La integración de ambas capas, no identificadas hasta el desarrollo de la presente tesina, constituye el principal aporte de la propuesta, ya que permite transformar los distintos antecedentes que habilitan la estimación en un proceso robusto, articulado y estructurado de validaciones progresivas. De esta forma, el avance no queda condicionado únicamente al cumplimiento de fechas o a la emisión de documentos, sino a que las entradas relevantes hayan alcanzado la madurez requerida, sean consistentes con las restantes definiciones del proyecto, hayan sido revisadas por los stakeholders correspondientes y cuenten con una validación antes de continuar. Esta lógica permite que potenciales brechas de alcance, ingeniería, cantidades, precios, estrategia de ejecución, costos indirectos, costos del dueño, escalamiento, riesgos o contingencia sean identificadas en el momento en que todavía pueden ser gestionadas y corregidas.

Lo anterior representa un cambio relevante respecto de una lógica concentrada principalmente en la revisión final. El análisis de los hallazgos mostró que cuando las distintas materias avanzan sin suficientes puntos de validación entre áreas aumentan las posibilidades de inconsistencias, omisiones y duplicidades, tal como lo evidenció el registro de hallazgos de proyectos de los últimos 18 meses. Asimismo, el propio diagnóstico concluye que las revisiones finales no debieran ser el momento en que se descubren brechas relevantes de alcance, costos indirectos, estrategia de ejecución, precios o contingencia. Por ello, el modelo propuesto anticipa la detección de estas brechas, reduciendo la probabilidad de que errores relevantes permanezcan abiertos hasta las instancias finales y puedan transformarse en observaciones de alto impacto para la revisión y aprobación de la inversión.

Esta capacidad preventiva se complementa con indicadores que permiten observar el desempeño del proceso antes de llegar al resultado final. Los KPI propuestos consideran entradas críticas validadas oportunamente, madurez al cierre del H4, supuestos críticos abiertos, hallazgos de revisión, retrabajo, tiempo de aprobación, cumplimiento de cierres, cambios posteriores al congelamiento y el Índice de Madurez y Confiabilidad del CAPEX (IMC-CAPEX).

No obstante, una conclusión importante de la investigación es que el diseño del modelo se encuentra desarrollado, pero sus beneficios cuantitativos, producto de la temporalidad de desarrollos de CAPEX de proyectos de alta inversión son de largo aliento, por lo cual aún deben ser comprobados. No obstante lo anterior, el modelo propuesto estima que el cierre de las revisiones no se detectarán hallazgos altos ni fatales que pongan en riesgo la calidad de la estimación y la aprobación de la inversión.

Para avanzar en el proceso de comprobación, la tesina propone aplicar el modelo mediante un piloto y comparar sus resultados a través de los KPI definidos. Esta distinción permite mantener la rigurosidad de la propuesta: los 87 hallazgos constituyen evidencia cuantitativa del problema actual, mientras que los KPI constituyen el mecanismo mediante el cual posteriormente podrá comprobarse el impacto real de la solución.

En función de lo anterior, el objetivo general de la tesina fue cumplido, dado que se logró diseñar un modelo optimizado de gobernanza para el proceso de estimación de costos sustentado tanto en el diagnóstico de la situación actual como en la evaluación de mejores prácticas. La propuesta fortalece la coordinación organizacional, establece responsabilidades, incorpora criterios de madurez, mejora la trazabilidad técnica y estructura las instancias de revisión, validación y aprobación, manteniendo como base la normativa SIC y SGP existente. El aporte del modelo radica principalmente en conectar estos elementos dentro de una secuencia lógica de decisiones y validaciones que acompañan la construcción del CAPEX desde su planificación hasta su cierre.

En consecuencia, la principal conclusión de la tesina es que la robustez del CAPEX debe construirse durante todo su proceso de elaboración y no verificarse solamente al final. La articulación entre la capa de definición y la capa de operación permite anticipar brechas, asignar responsabilidades, validar progresivamente la información y dejar trazabilidad de las decisiones adoptadas. Con ello se reduce la exposición a que errores relevantes sean detectados recién durante las revisiones finales, momento en que su corrección puede generar mayores retrabajos, afectar los plazos de aprobación o incluso comprometer la solidez de los antecedentes que sustentan la decisión de inversión. La validación mediante el piloto permitirá, finalmente, determinar cuantitativamente en qué medida estos beneficios esperados se materializan en la aplicación real del modelo.

En definitiva, el aporte de esta propuesta representa una evolución desde una gestión sustentada principalmente en documentos normativos que establecen requerimientos de manera separada, hacia un modelo integrado de gobernanza que los conecta y articula como parte de un mismo proceso. Bajo esta mirada, la estimación deja de ser entendida como la suma de entregables individuales y pasa a construirse mediante una gobernanza orquestada, donde cada actor, antecedente, validación y decisión se integra en el momento oportuno y con el nivel de madurez

requerido. El valor de la tesina se encuentra en formalizar un modelo que opera de manera coordinada, predictiva y preventiva, permitiendo anticipar brechas antes de que lleguen a las instancias finales de revisión. De esta forma, la gobernanza se transforma en un habilitador para construir progresivamente un CAPEX más confiable, creíble, trazable y robusto, fortaleciendo finalmente la calidad de los antecedentes sobre los cuales se toman las decisiones de inversión.

9. Bibliografía

- AACE International. (2009). Recommended Practice No. 31R-03: Reviewing, Validating, and Documenting the Estimate.
- AACE International. (2019). Recommended Practice No. 36R-08: Development of Cost Estimate Plans – As Applied in Engineering, Procurement, and Construction for the Process Industries.
- AACE International. (2020). Recommended Practice No. 17R-97: Cost Estimate Classification System.
- AACE International. (2020). Recommended Practice No. 18R-97: Cost Estimate Classification System – As Applied in Engineering, Procurement, and Construction for the Process Industries.
- AACE International. (2020). Recommended Practice No. 47R-11: Cost Estimate Classification System – As Applied in Engineering, Procurement, and Construction for the Mining and Mineral Processing Industries.
- AACE International. (2021). Recommended Practice No. 34R-05: Basis of Estimate.
- Corporación Nacional del Cobre de Chile – Codelco (2026). *Cuerpo Normativo SIC y SGP asociado a Estimaciones de CAPEX*.
- Corporación Nacional del Cobre de Chile – Codelco (2026). *Memoria Integrada 2025*.
- Comisión Chilena del Cobre - Cochilco (2025). Cartera de Proyectos de Inversión Minera en Chile periodo 2025-2034.
- Project Management Institute. (2017). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) and The Standard for Project Management (6th ed.).

- Project Management Institute. (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) and The Standard for Project Management (7th ed.).
- U.S. Government Accountability Office. (2020). Cost Estimating and Assessment Guide: Best Practices for Developing and Managing Program Costs (GAO-20-195G).
- Construction Industry Institute (CII). (2019). Project Definition Rating Index (PDRI IR113-2). Front End Planning, Madurez y Completitud de la Definición del Alcance.

10. Anexos

10.1. Formularios operativos propuestos

A continuación se presentan formatos referenciales para los cierres.

F-GOV-01 · Acta de inicio y Plan de Estimación

Hito asociado: H0 **Finalidad:** Acordar organización, alcance, fechas y criterios

Proyecto		Clase de estimación (AACE)	
Fecha		Revisión	
Elaborado por		Área / disciplina	

1. Objetivo y alcance de la estimación

2. Bases y criterios acordados

Moneda base		Fecha base	
Impuestos		Tipo de cambio	
Criterio de contingencia		Nivel de confianza objetivo	

3. Organización del equipo

Rol	Nombre	Área / disciplina

4. Entregables y fechas clave

Entregable	Responsable	Fecha objetivo	Hito

5. Supuestos y exclusiones generales

Aprobaciones

Rol	Nombre	Firma	Fecha
Elaboró — Líder de estimación			
Revisó — Control de Proyectos / Estimaciones			
Aprobó — Gerente de Proyecto			

F-GOV-02 · Matriz de entradas críticas y madurez

Hito asociado: H0–H1

Finalidad: Controlar disponibilidad, responsable, fecha y nivel de desarrollo

Proyecto		Clase de estimación (AACE)	
Fecha		Revisión	
Elaborado por		Área / disciplina	

Entradas críticas

Entrada crítica	Componente CAPEX	Resp. emisión	Resp. validación	Fecha req.	Mad. req.	Mad. actual	Estado

Niveles de madurez — M0: inexistente · M1: conceptual · M2: desarrollada con supuestos · M3: revisada y validada · M4: adjudicada / máxima.

Aprobaciones

Rol	Nombre	Firma	Fecha
Elaboró — Control de Proyectos / Estimaciones			
Aprobó — Gerente de Proyecto			

F-GOV-03 · Matriz RACI y toma de decisión

Hito asociado: H0 (transversal)

Finalidad: Asignar responsabilidades y escalamiento de controversias

Proyecto		Clase de estimación (AACE)	
Fecha		Revisión	
Elaborado por		Área / disciplina	

Asignación de responsabilidades (RACI)

Actividad / entregable	Responsable (R)	Aprobador (A)	Consultados (C)	Informados (I)

R = ejecuta/prepara · A = aprueba (único) · C = consultado · I = informado.

Escalamiento de controversias

Nivel	Instancia de resolución	Plazo máximo
Nivel 1	Líder de disciplina / especialidad	
Nivel 2	Gerente de Proyecto	
Nivel 3	Gerencia Corporativa	

Aprobaciones

Rol	Nombre	Firma	Fecha
Elaboró — Control de Proyectos / Estimaciones			
Aprobó — Gerente de Proyecto			

F-GOV-04 · Aprobación por especialidad

Hito asociado: H1–H2 **Finalidad:** Validar alcance, MTO, precios, rendimientos, supuestos y riesgos

Proyecto		Clase de estimación (AACE)	
Fecha		Revisión	
Elaborado por		Área / disciplina	

Lista de verificación de la especialidad

Ítem de validación	Cumple (Sí / No / N-A)	Evidencia / observación
Alcance de la especialidad representado y correlacionado		
MTO con revisión y fecha de corte indicadas		
Precios con fuente, vigencia, moneda y condiciones		
Rendimientos ajustados a las condiciones del proyecto		
Supuestos documentados y razonables		
Riesgos de la especialidad identificados		
Distinción entre cubicado y factorizado		

Madurez alcanzada y observaciones

Madurez alcanzada (M0–M4)		Clase de estimación	
---------------------------	--	---------------------	--

Aprobaciones

Rol	Nombre	Firma	Fecha
Elaboró — Especialista / disciplina			
Aprobó — Líder de disciplina			

F-GOV-05 · Trazabilidad WBS-CBS-MTO-CAPEX
Hito asociado: H1 **Finalidad:** Demostrar cobertura y evitar omisiones o duplicidades

Proyecto		Clase de estimación (AACE)	
Fecha		Revisión	
Elaborado por		Área / disciplina	

Matriz de trazabilidad

Ítem WBS	Cuenta CBS	Ref. MTO / plano	Cantidad	Unidad	Componente CAPEX	Cub./Fact.	Observación

Declaración de cobertura

Declaración	Sí / No	Observación
Todo el alcance conocido está representado (sin omisiones)		
No existen duplicidades entre cuentas / paquetes		
Las provisiones por falta de cubicación están identificadas		

Aprobaciones

Rol	Nombre	Firma	Fecha
Elaboró — Ingeniería / Control de Proyectos			
Aprobó — Gerente de Proyecto			

F-GOV-06 · Validación de costos indirectos**Hito asociado:** H3**Finalidad:** Cerrar drivers de servicios, instalaciones y administración de terreno

Proyecto		Clase de estimación (AACE)	
Fecha		Revisión	
Elaborado por		Área / disciplina	

Drivers de costos indirectos

Servicio / ítem indirecto	Driver	Base de cálculo	Fuente	Madurez	Responsable	Estado
Campamento						
Alimentación						
Transporte						
Energía temporal						
Agua e instalaciones temporales						
Oficinas, bodegas y patios						
Administración de terreno						
Seguridad y servicios médicos						

Aprobaciones

Rol	Nombre	Firma	Fecha
Elaboró — Construcción / Estimaciones			
Revisó — Control de Proyectos / Estimaciones			
Aprobó — Gerente de Proyecto			

F-GOV-07 · Validación de costos del dueño**Hito asociado:** H3**Finalidad:** Aprobar organización, curva de dotación y bases tarifarias

Proyecto		Clase de estimación (AACE)	
Fecha		Revisión	
Elaborado por		Área / disciplina	

Organización y curva de dotación del dueño

Rol / cargo	N°	Jornada / turno	Período (curva)	Tarifa	Base tarifaria

Aprobaciones

Rol	Nombre	Firma	Fecha
Elaboró — Control de Proyectos / Estimaciones			
Aprobó — Gerente de Proyecto			

F-GOV-08 · Aprobación del CAPEX determinístico

Hito asociado: H4 **Finalidad:** Formalizar el VEB y los antecedentes que lo sustentan

Proyecto		Clase de estimación (AACE)	
Fecha		Revisión	
Elaborado por		Área / disciplina	

Resumen del Valor Estimado Base (VEB)

Componente	Monto	Moneda	%	Observación
Costos directos				
Costos indirectos				
Costos del dueño				
Escalamiento				
Valor Estimado Base (VEB)				

Antecedentes que sustentan el VEB

Antecedente	Estado / referencia
Bases de Estimación (BoE)	
Trazabilidad WBS-CBS-MTO (F-GOV-05)	
Benchmarking / contraste externo	
Reconciliación con estimación anterior	
Aprobaciones por especialidad (F-GOV-04)	

Aprobaciones

Rol	Nombre	Firma	Fecha
Elaboró — Control de Proyectos / Estimaciones			
Revisó — Áreas funcionales			
Aprobó — Gerente de Proyecto			

F-GOV-09 · Curva de compromisos y escalamiento**Hito asociado:** H5**Finalidad:** Validar fechas, monedas, índices y cálculo

Proyecto		Clase de estimación (AACE)	
Fecha		Revisión	
Elaborado por		Área / disciplina	

Criterios de escalamiento

Fecha base		Índices aplicados (IPC / IPM)	
Moneda(s)		Método de cálculo	

Curva de compromisos

Agrupación / paquete	Fecha compromiso	Moneda	Índice / escalador	Monto base	Escalamiento

Aprobaciones

Rol	Nombre	Firma	Fecha
Elaboró — Programación / Control de Proyectos			
Revisó — Contratos / Finanzas			
Aprobó — Gerente de Proyecto			

F-GOV-10 · Riesgos y contingencia

Hito asociado: H6

Finalidad: Aprobar rangos, sensibilidad, contingencia e ITE

Proyecto		Clase de estimación (AACE)	
Fecha		Revisión	
Elaborado por		Área / disciplina	

Registro de riesgos

ID	Descripción del riesgo	Categoría	Prob.	Impacto	Rango (mín/prob/máx)	Respuesta

Método y resultado

Método (p. ej. Montecarlo)		Nivel de confianza (P50 / P80)	
Valor Estimado Base (VEB)		Contingencia	
ITE (= VEB + Contingencia)			

Análisis de sensibilidad — principales drivers

Aprobaciones

Rol	Nombre	Firma	Fecha
Elaboró — Riesgos / disciplinas			
Aprobó — Gerente de Proyecto			

F-GOV-11 · Registro de supuestos, decisiones y cambios

Hito asociado: Transversal (H0–H8)

Finalidad: Mantener trazabilidad durante todo el proceso

Proyecto		Clase de estimación (AACE)	
Fecha		Revisión	

Registro

ID	Tipo (S/D/C)	Descripción	Origen / hito	Responsable	Fecha	Impacto	Estado

Tipo — S: supuesto · D: decisión · C: cambio.

Mantenido por

Rol	Nombre	Firma	Fecha
Control de Proyectos / Estimaciones			

F-GOV-12 · Certificado integrado de cierre

Hito asociado: H7

Finalidad: Confirmar cumplimiento y ausencia de brechas críticas abiertas

Proyecto		Clase de estimación (AACE)	
Fecha		Revisión	
Elaborado por		Área / disciplina	

Verificación de cierre de hitos

Hito	Cerrado (Sí / No)	Formulario asociado	Observación
H0 · Inicio y planificación		F-GOV-01	
H1 · Alcance, WBS y CBS		F-GOV-05	
H2 · MTO, precios y costos directos		F-GOV-04	
H3 · Indirectos y costos del dueño		F-GOV-06 / F-GOV-07	
H4 · CAPEX determinístico (VEB)		F-GOV-08	
H5 · Curva de compromisos y escalamiento		F-GOV-09	
H6 · Riesgos y contingencia (ITE)		F-GOV-10	

Cumplimiento de los atributos de una estimación confiable

Atributo	Cumple (Sí / No)	Evidencia
Integral		
Bien documentada		
Precisa		
Creíble		

Resumen final

Valor Estimado Base (VEB)		Contingencia	
ITE		Clase de estimación (AACE)	
Nivel de confianza			

Se certifica el cumplimiento de los atributos y la ausencia de brechas críticas abiertas al cierre del proceso.

Aprobaciones

Rol	Nombre	Firma	Fecha
Revisión independiente — Áreas funcionales			
Conforme — Gerente de Proyecto			
Aprobó el cierre — Gerencia Corporativa			