

Procedimiento para el control de interferencias en proyectos de construcción: Aplicación en una obra minera de alta montaña

Procedure for managing interferences in construction projects: Application in a high-altitude mining project

José Curi¹

 <https://orcid.org/0009-0000-6411-796X>

Gabriela Zapata-Román^{2,*}

 <https://orcid.org/0000-0001-7536-216X>

Recibido 19 de octubre de 2025, aceptado 18 de diciembre de 2025

Received: October 19, 2025 Accepted: December 18, 2025

RESUMEN

La industria de la construcción enfrenta un problema estructural asociado a la ocurrencia de interferencias durante la ejecución de obras, las cuales generan desviaciones relevantes en plazos, costos y calidad. Este estudio, desarrollado bajo el enfoque de *Design Science Research* y aplicado al proyecto “Habitabilidad” de CODELCO, propone y valida un procedimiento integral para la planificación y control de interferencias. A partir de herramientas como diagramas de Ishikawa y el método de los “5 porqués”, se identificaron ocho tipos de interferencias recurrentes y sus causas raíz. Posteriormente, mediante mapeo de cadena de valor e integración de modelamiento funcional IDEF0, se articularon herramientas de gestión como BIM, matrices de riesgo, SDI y metodologías de optimización de cronogramas. La implementación piloto del procedimiento redujo en un 77% el impacto de las interferencias, acortó en 50 días la duración total del proyecto y generó ahorros estimados de \$1.750 millones, sin requerir incrementos en dotación ni costos indirectos. Los resultados demuestran que la adopción temprana y sistemática del procedimiento permite mejorar significativamente la productividad y la capacidad de anticipación en obras complejas. La propuesta constituye una contribución técnica concreta para fortalecer la gestión preventiva y avanzar hacia una cultura organizacional orientada a la eficiencia, la coordinación interdisciplinaria y la mejora continua.

Palabras clave: Interferencias en construcción, gestión de interferencias, planificación y control, BIM, Lean Construction, SDI, matrices de riesgo, optimización de cronogramas, Design Science Research, productividad en proyectos, gestión preventiva.

ABSTRACT

The construction industry faces a structural challenge related to the occurrence of interferences –or clashes– during project execution, which frequently lead to significant deviations in schedule, cost, and quality. Using a Design Science Research approach and a case study of CODELCO’s “Habitability” project, this study develops and validates an integrated procedure for the planning and control of interferences. Through Ishikawa diagrams and the “5 Whys” method, eight recurrent types of interferences and their root causes were identified. Value stream mapping and IDEF0 functional modeling were then used to integrate management tools such as BIM, risk matrices, SDI, and schedule-optimization techniques.

¹ Universidad Central de Chile. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Santiago, Chile. Email: jose.curi@alumnos.ucestral.cl

² Universidad Central de Chile. Centro de Investigación en Economía y Sociedad (ESOC). Santiago, Chile. Email: gabriela.zapataroman@ucestral.cl

³ University of Manchester. Global Development Institute, UK. Email: gabriela.zapataroman@manchester.ac.uk

* Autor de correspondencia: gabriela.zapataroman@ucestral.cl

The pilot implementation reduced the impact of interferences by 77%, shortened the total project duration by 50 days, and generated estimated savings of CLP \$1.75 billion, without increasing staffing requirements or indirect costs. Findings show that the early and systematic adoption of the procedure can substantially improve productivity and anticipatory capacity in complex construction projects. The proposed methodology provides a concrete technical foundation for strengthening preventive management and fostering an organizational culture focused on efficiency, interdisciplinary coordination, and continuous improvement.

Keywords: Construction interferences, clash management, planning and control, BIM, Lean Construction, SDI, risk matrix, schedule optimization, Design Science Research, project productivity, preventive management.

INTRODUCCIÓN

Para que un proyecto de construcción sea exitoso, debe cumplir con tres dimensiones fundamentales: costo, calidad y tiempo, es decir, debe alcanzar un rendimiento acorde a lo proyectado [1]. Además, debe entregar los beneficios definidos en su caso de negocio y responder al alcance comprometido [2]. Sin embargo, la experiencia práctica y la evidencia estadística muestran una realidad distinta: durante la ejecución de obras, es común la aparición de interferencias que afectan negativamente estos objetivos.

Las interferencias corresponden a conflictos o superposiciones entre elementos constructivos, actividades o condiciones operativas que no fueron adecuadamente anticipadas en la etapa de planificación. Estas situaciones generan retrasos, aumentos de costos y dificultades técnicas que, si no se abordan oportunamente, pueden comprometer la calidad del proyecto, paralizar obras y generar pérdidas económicas significativas [3].

El impacto de estas ineficiencias no es menor: afectan la productividad del sector de la construcción y, en consecuencia, la competitividad económica del país. Entre 2009 y 2018, la brecha de productividad entre Chile y los países de la OCDE se amplió en un 20%, y en Chile, en el sector de la construcción, la productividad alcanza solo el 80% del promedio de los otros sectores de la economía. En términos de eficiencia laboral, mientras en Chile se ejecutan en promedio 0,24 m² por persona-día, en los países de la OCDE se alcanza 0,37 m², una diferencia del 53%. Esto implica que, con el mismo equipo, una obra de 13 pisos en Chile podría construir hasta 6 pisos adicionales si lograra el estándar de productividad internacional [4].

Frente a este escenario, esta investigación tiene como objetivo diseñar y validar una herramienta práctica, un procedimiento de planificación y control de interferencias, que permita reducir su ocurrencia y mitigar su impacto en proyectos de construcción. El propósito es mejorar el rendimiento global de las obras, optimizar el uso de recursos y, especialmente en el caso de proyectos financiados con fondos públicos, contribuir a la eficiencia del gasto y a la entrega oportuna de infraestructura con beneficios sociales concretos.

El desarrollo del procedimiento se apoya en un enfoque metodológico basado en Design Science Research (DSR), complementado con un estudio de caso aplicado al proyecto “Habitabilidad” de la División Andina de Codelco. Esta combinación permite articular la identificación empírica de problemas con el diseño y validación iterativa de una solución práctica. El proceso contempla la clasificación de las interferencias más frecuentes, la cuantificación de su impacto en costos y plazos, y la identificación de sus causas raíz mediante herramientas como el Diagrama de Ishikawa y el método de los “5 porqués”.

A partir de esta revisión, se seleccionan y combinan herramientas de gestión como BIM, planificación Lean, modelamiento funcional IDEF0 y técnicas de optimización de cronogramas (Crashing y Fast-Track), todas integradas en un procedimiento documentado. Este procedimiento se valida mediante su implementación en terreno y se evalúa su aplicabilidad y escalabilidad a otros contextos industriales con condiciones operativas similares.

La principal contribución de esta investigación radica en ofrecer una solución operativa a un problema común, pero desatendido en la gestión

de obras: la falta de un enfoque sistemático para anticipar y controlar interferencias. A diferencia de aproximaciones fragmentadas o reactivas, el procedimiento propuesto integra herramientas probadas en un marco metodológico coherente, validado en un entorno real de alta complejidad. Esta propuesta no solo es relevante para proyectos de infraestructura minera, sino que también puede ser adaptada a otras industrias donde confluyen múltiples disciplinas, como la construcción hospitalaria, obras viales urbanas, proyectos energéticos o plantas industriales. Su implementación puede llevarse a cabo mediante la incorporación del procedimiento a los manuales de planificación y control de empresas constructoras, en procesos de licitación pública, o como parte de los sistemas de gestión de calidad y productividad en grandes proyectos, contribuyendo así a una cultura organizacional orientada a la eficiencia y la mejora continua.

MARCO TEÓRICO

Interferencias en la construcción y sus consecuencias

Las interferencias corresponden a colisiones o conflictos entre elementos constructivos, estructuras

existentes o actividades operativas que no han sido previstas en el diseño ni en la planificación de obra. Estas pueden surgir entre elementos nuevos (como ductos, vigas o instalaciones eléctricas) o entre nuevos elementos y estructuras existentes no identificadas. Su aparición genera sobrecostos, retrasos y pérdida de eficiencia, y ha sido reconocida como una de las principales fuentes de desviaciones en cronograma y presupuesto [5], [6]. La Tabla 1 presenta una clasificación sintética de las interferencias comunes, elaborada a partir de diversos estudios de caso.

La literatura señala que los errores de diseño son una fuente recurrente de interferencias, tanto por incompatibilidad técnica entre disciplinas como por debilidades en la coordinación y constructibilidad [5], [7]. La Tabla 2 presenta una síntesis de distribución típica de estos errores en proyectos de edificación complejos.

Herramientas para el control de interferencias

Diversas herramientas han sido propuestas y utilizadas para mejorar el control de interferencias, algunas de ellas con éxito comprobado en obras similares.

Tabla 1. Interferencias comunes en obras de construcción.

Interferencia común	Descripción
Errores de rendimiento estimado.	Cálculos inexactos en la planificación inicial.
Colisiones entre elementos.	Conflictos entre estructura, arquitectura e instalaciones diseñadas.
Elementos no detectados.	Obstáculos imprevistos en el terreno o en estructuras existentes.
Cambios de diseño.	Modificaciones durante la ejecución del proyecto.
Aumentos de obra.	Incrementos en cantidades y alcance del proyecto.

Fuente: Elaboración propia con base en [5]-[7].

Tabla 2. Problemas originados por mal diseño de ingeniería.

Tipo de interferencia asociado al diseño	Porcentaje de distribución
Incompatibilidad de planos.	35%
Incompatibilidad con requerimientos municipales o normativos.	13%
Modificación por errores de arquitectura.	11%
Modificación por errores estructurales.	11%
Modificaciones por errores en instalaciones y/o mecánica de suelo.	9%
Falta coordinación entre involucrados con el proyecto.	9%
Otros problemas.	5%
Falta de constructibilidad en el diseño.	4%
Sin problema de diseño.	3%

Fuente: Adaptado de [5], [7].

Las principales herramientas consideradas en esta propuesta son:

Lean Construction: filosofía orientada a la eliminación sistemática de desperdicios y mejora continua [8]. Sus principios permiten diseñar flujos eficientes y evitar procesos que no generan valor. Las herramientas más relevantes en este estudio son:

- Diagrama de Ishikawa: permite identificar causas de problemas en base a categorías clave (mano de obra, materiales, métodos, etc.). Se usará como herramienta inicial de diagnóstico.
- Método de los 5 porqués: técnica para identificar causas raíz a partir de preguntas sucesivas. Se aplicará a las interferencias críticas identificadas.
- Value Stream Mapping (VSM): permite visualizar flujos de valor y detectar cuellos de botella o puntos críticos. Se usará para ubicar las interferencias en el flujo global del proyecto y proponer mejoras.

BIM (Building Information Modeling): metodología que permite modelar en 3D la obra e identificar colisiones entre disciplinas (clash detection). Navisworks, por ejemplo, permite detectar interferencias antes de la construcción física. Se aplicará en etapas tempranas de obra, con foco en la coordinación entre especialidades.

Modelamiento funcional IDEF0: técnica para representar procesos mediante bloques funcionales. Permite visualizar entradas, salidas, controles y recursos asociados a cada actividad. Se usará para representar el procedimiento completo propuesto y las herramientas asociadas.

Gestión de riesgos: implica identificar, evaluar y priorizar riesgos asociados a interferencias. Se utiliza una matriz de frecuencia e impacto para anticipar y preparar respuestas [1]. Esta herramienta se incorporará en el procedimiento propuesto.

Gestión de cronogramas (Crashing y Fast-Tracking): técnicas para acelerar cronogramas mediante paralelización de tareas o aumento de recursos. Se consideran como medidas complementarias al procedimiento, en caso de interferencias graves o reiteradas. Crashing es una estrategia avanzada de gestión de proyectos, que tiene como objetivo lograr la máxima reducción

en la duración del proyecto con el mínimo costo adicional sin cambiar el alcance [9].

Full Potential (FP): metodología que permite identificar brechas en el desempeño y activar “palancas” de mejora operativa. Se utilizará como marco general para orientar el enfoque de la construcción.

Relevancia interdisciplinaria y potencial de transferencia

Aunque este procedimiento se aplica en una obra minera específica, sus fundamentos tienen relevancia en todo tipo de proyectos de construcción donde existan múltiples disciplinas, espacios compartidos y alta complejidad técnica. La sistematización de la gestión de interferencias es aplicable a:

- Otras industriales: plantas químicas, termo-eléctricas, desaladoras, puertos.
- Infraestructura urbana compleja: edificios, estaciones intermodales, aeropuertos.
- Proyectos públicos: hospitales, mejora de edificaciones existentes, obras con restricciones operativas o patrimoniales.

Su carácter modular, escalable y basado en herramientas reconocidas permite su adaptación a diferentes entornos.

METODOLOGÍA

El diseño de esta investigación se basa en un enfoque de *Design Science Research (DSR)*, complementado con un estudio de caso instrumental. Este enfoque mixto es especialmente apropiado cuando el objetivo es generar soluciones prácticas a problemas reales, a través del diseño, aplicación y validación de un artefacto útil en contextos organizacionales complejos. En este caso, dicho artefacto corresponde a un procedimiento sistematizado de planificación y control de interferencias en proyectos de construcción minera de alta complejidad.

Design Science Research (DSR)

A diferencia de metodologías descriptivas o explicativas, el enfoque DSR articula rigurosidad investigativa con intervención práctica. Se orienta a proponer soluciones al problema bajo estudio, implementarlas y evaluarlas en entornos reales, como ocurre en este trabajo.

El proceso metodológico seguido contempla las siguientes fases:

1. Identificación del problema: Se parte de la observación en terreno de la alta incidencia de interferencias como causa de sobrecostos, retrasos y pérdida de productividad.
2. Revisión y sistematización: Se recopilan y analizan herramientas existentes (Lean Construction, BIM, SDI, matrices de riesgo), evaluando su aplicabilidad al contexto minero.
3. Diseño del procedimiento: Se elabora un documento operativo que integra dichas herramientas en una lógica secuencial, clara y replicable.
4. Validación en caso real: Se implementa el procedimiento en la obra “Habitabilidad” (División Andina, Codelco), permitiendo su ajuste iterativo y evaluación de impacto.

Además del estudio técnico, se incorporó la experiencia directa de profesionales del rubro mediante una encuesta aplicada a 21 actores clave: gerentes, administradores de contrato, personal de oficina técnica, programadores, supervisores, maestros y prevencionistas. La encuesta recogió datos sobre experiencia previa, frecuencia de cumplimiento de plazos y costos, tipos de interferencias enfrentadas y herramientas utilizadas para su resolución. Entre las soluciones mencionadas destacan el uso de Lean Construction, BIM, Last Planner, SDI, reprogramaciones, coordinación en terreno y mejora de ingenierías.

Estudio de caso y recolección de datos

La validación del procedimiento propuesto se realizó a través de un estudio de caso único, aplicado al proyecto “Habitabilidad” en la División Andina de Codelco. Esta obra representa un entorno complejo, típico de proyectos industriales, caracterizado por la convivencia de múltiples especialidades, condiciones climáticas extremas y un historial limitado de documentación “as-built”, lo que aumenta la probabilidad e impacto de interferencias durante su ejecución.

Este tipo de estudio permite observar con profundidad las relaciones causales entre planificación deficiente y aparición de interferencias, identificar patrones recurrentes y evaluar en un entorno real la aplicabilidad del procedimiento diseñado. La

elección del caso responde tanto a su relevancia estratégica como a la posibilidad de acceder a datos técnicos, cronogramas, registros de terreno y actores clave del proceso.

La recolección de datos combinó fuentes documentales, experiencia en terreno e instrumentos de medición. Entre los insumos analizados se encuentran:

- Presupuesto y cronograma original.
- Informes semanales de avance.
- LOG de interferencias encontradas.
- Costos de mano de obra (HH) y tiempo destinado a resolver interferencias.
- KPIs como Horas Ganadas/Gastadas, Desempeño del cronograma y Costos adicionales asociados.
- Entrevistas informales a profesionales del equipo técnico y de terreno.

Adicionalmente, se diseñó y aplicó una encuesta a 21 profesionales del sector construcción con distintos cargos (gerentes, administradores de contrato, oficina técnica, supervisores, maestros, prevencionistas), provenientes tanto de Codelco como de otras empresas. Esta encuesta permitió incorporar evidencia externa al caso específico, enriqueciendo el diseño del procedimiento. Se recopilaron datos sobre experiencia profesional, número de proyectos ejecutados, cumplimiento de plazos/costos y tipos de interferencias enfrentadas. También se consultaron las herramientas y estrategias utilizadas para mitigar estos eventos, destacando prácticas como BIM, SDI, Lean Construction, Last Planner y reprogramaciones con enfoque Full Potential.

Este enfoque combinado fortaleció la validez interna del estudio al basarse en observaciones directas, y la validez externa al contrastar los hallazgos con la experiencia acumulada de otros profesionales del rubro. Los resultados de la encuesta se presentan en la siguiente sección como evidencia complementaria que fundamenta la propuesta metodológica.

RESULTADOS

Diagnóstico general del proyecto “Habitabilidad”

El estudio parte de un diagnóstico claro: la baja productividad en la industria de la construcción es un problema estructural que impacta plazos, costos y calidad. En este contexto, las interferencias se

identifican como un factor crítico que afecta de manera directa la ejecución, generando sobrecostos, retrasos y descoordinación operativa.

El proyecto “Habitabilidad”, perteneciente a la cartera de inversión de Codelco y ejecutado por MIES en la División Andina, contempla la construcción de una torre adyacente a un edificio de los años setenta que ha sido modificado en múltiples ocasiones sin un registro as-built completo. Esto generó hallazgos inesperados –como ductos, redes eléctricas, fundaciones antiguas– durante las excavaciones, provocando interferencias no previstas.

A ello se suman condiciones climáticas propias de la zona cordillerana, con nevazones y bajas temperaturas que afectan la continuidad operativa. Aunque parcialmente consideradas en el cronograma, su variabilidad exige una planificación adaptativa.

Aunque el contrato contempla la existencia de un profesional de Planificación y Control (P&C), se constató la ausencia de un procedimiento formal que estructure sus funciones. Esto derivó en respuestas reactivas frente a interferencias, escaso uso de herramientas como BIM, SDI y matrices de riesgo, y dificultades en la gestión documental mediante SGDOC.

Como punto de partida, se elaboró un Diagrama de Ishikawa para sistematizar las causas del bajo rendimiento (Figura 1). A partir de esta herramienta se identificaron ocho interferencias críticas, y para cada una de ellas se aplicó la técnica de los “5 porqués” con el objetivo de desentrañar las causas raíz.

Análisis de interferencias mediante “5 porqués”

A continuación se presentan las ocho interferencias analizadas, cada una con su respectiva figura.

Error en la estimación de rendimientos

Los errores en la estimación de rendimientos se originan en información técnica insuficiente o incompleta proporcionada por ingeniería. Esto se asocia a un desarrollo apresurado de planos, baja calidad de entregables de algunas empresas subcontratadas y presiones del cliente para acortar tiempos de licitación. Como resultado, las propuestas se formularon sobre antecedentes imprecisos, generando expectativas poco realistas de productividad y plazos (Figura 2).

Recomendación: fortalecer tiempos de ingeniería, mejorar procesos de licitación e implementar revisiones interdisciplinarias antes de emitir documentos contractuales.

Colisiones entre elementos proyectados

Las colisiones entre estructuras, arquitectura e instalaciones se deben a la ausencia de un proceso sistemático de compatibilización de planos. La falta de detalles, actualizaciones sin trazabilidad y la presión por emitir entregables incrementaron la probabilidad de interferencias entre disciplinas (Figura 3).

Recomendación: fortalecer la modelación colaborativa mediante BIM, establecer protocolos de compatibilización y asignar al equipo P&C un rol activo en la coordinación técnica.

Fuente: Elaboración propia.

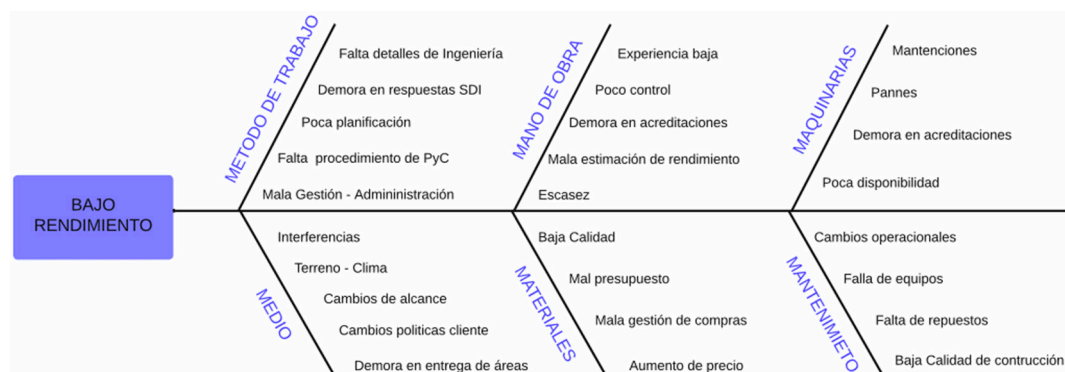


Figura 1. Diagrama de Ichikawa proyecto “Habitabilidad”.

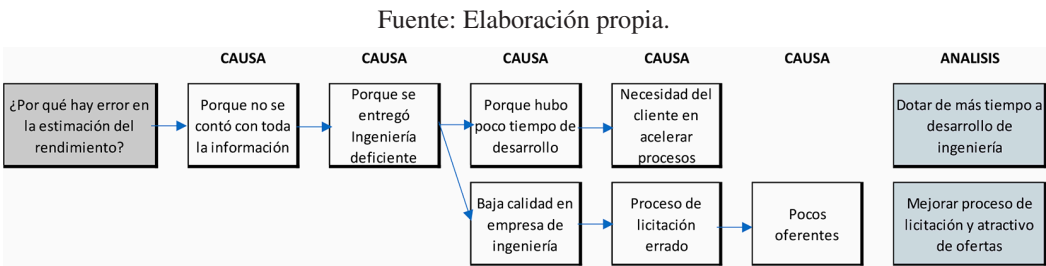


Figura 2. Diagrama 5 porqués de rendimientos mal estimados.

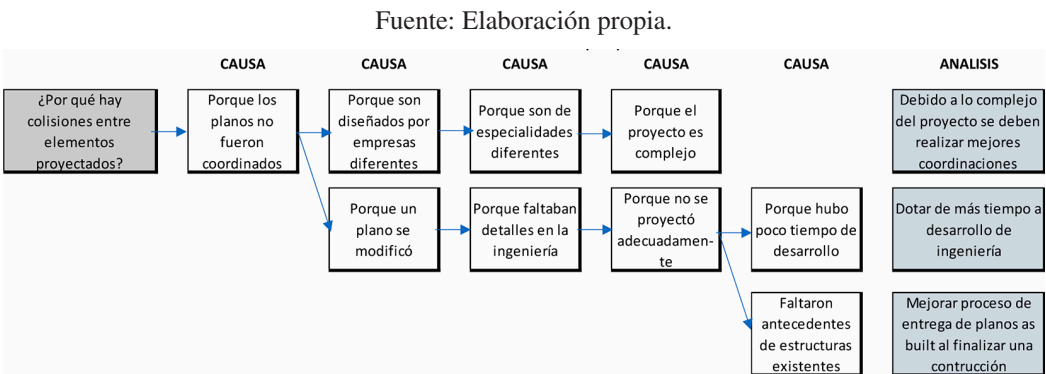


Figura 3. Diagrama 5 porqués de colisiones de planos.

Colisiones con elementos no detectados

La aparición de ductos, redes o fundaciones no registradas responde a la inexistencia de planos actualizados y a la falta de estudios de geodetección robustos. Los estudios preliminares no fueron validados en terreno y las bases técnicas no definieron con claridad las responsabilidades (Figura 4).

Recomendación: exigir estudios específicos de subsuelo, estandarizar uso de georradar y fortalecer procesos de verificación anticipada.

Cambios de diseño

Los cambios de diseño surgieron por la falta de definición temprana de varios elementos del

proyecto y por necesidades adicionales detectadas por el mandante. El débil control documental y procedural de cambios generó incertidumbre y retrasos (Figura 5).

Recomendación: establecer un proceso formal de gestión de cambios, con evaluación de impacto, trazabilidad y validación conjunta con terreno.

Aumentos de obra (cantidades y alcance)

Los aumentos de obra se explican por cubicaciones deficientes y por la falta de validación detallada de condiciones del terreno. En otros casos, los aumentos respondieron a instrucciones del cliente sin respaldo contractual (Figura 6).

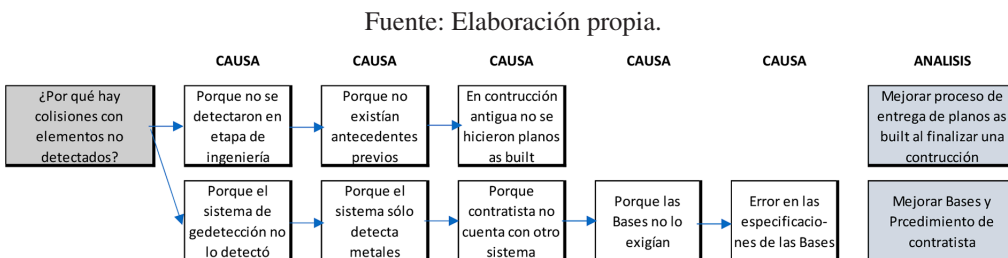


Figura 4. Diagrama 5 porqués de colisiones con elementos no detectados.

Fuente: Elaboración propia.

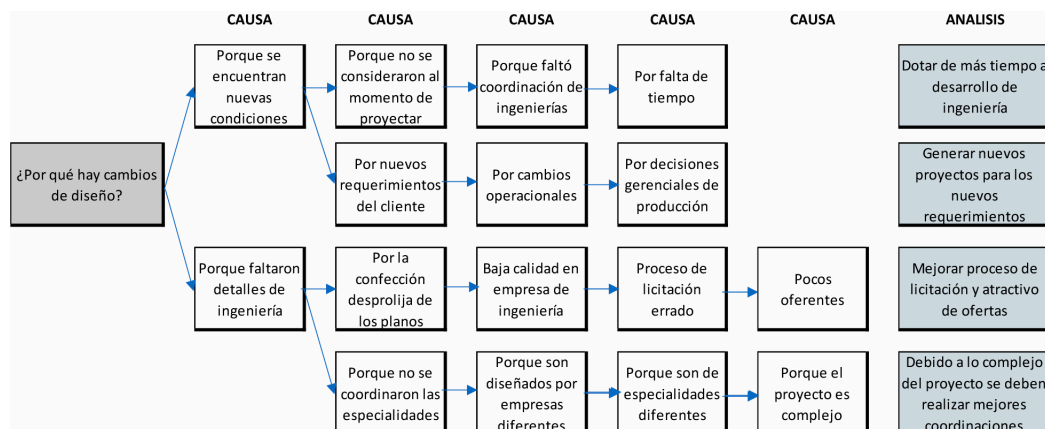


Figura 5. Diagrama 5 porqués cambios de diseño.

Fuente: Elaboración propia.

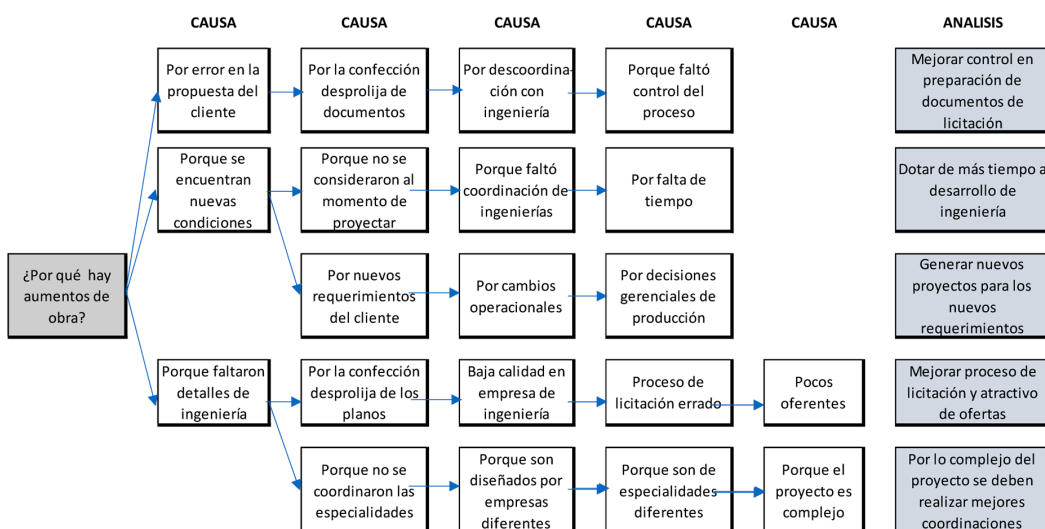


Figura 6. Diagrama 5 porqués de aumentos de obra.

Recomendación: mejorar inspecciones previas, emplear modelación 4D y definir límites contractuales explícitos para modificaciones de alcance.

Falta de detalles en planos o especificaciones técnicas (EETT)

La falta de detalles técnicos generó interpretaciones discrecionales en obra, aumentando tiempos y generando reprocesos. Este problema se originó en una ingeniería básica insuficiente, ausencia de revisiones constructivas y falta de integración entre especialidades (Figura 7).

Recomendación: implementación de revisiones constructivas, estandarización de contenidos mínimos de EETT y talleres de coordinación temprana.

Contingencias operacionales

Cortes eléctricos, restricciones de acceso y condiciones climáticas adversas fueron frecuentes, sin que existieran planes preventivos adecuados. La respuesta fue principalmente reactiva (Figura 8).

Recomendación: incorporar matrices de riesgo dinámicas, revisar programación de actividades

Fuente: Elaboración propia.

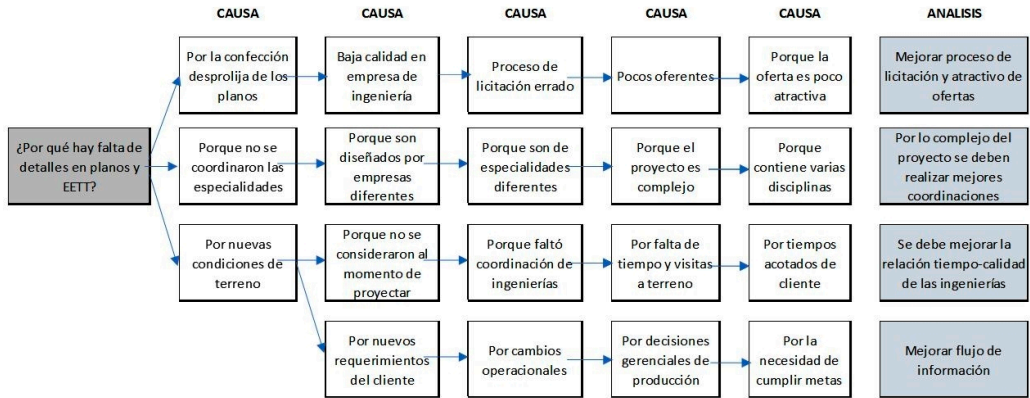


Figura 7. Diagrama 5 porqués de falta de detalles en planos y EETT.

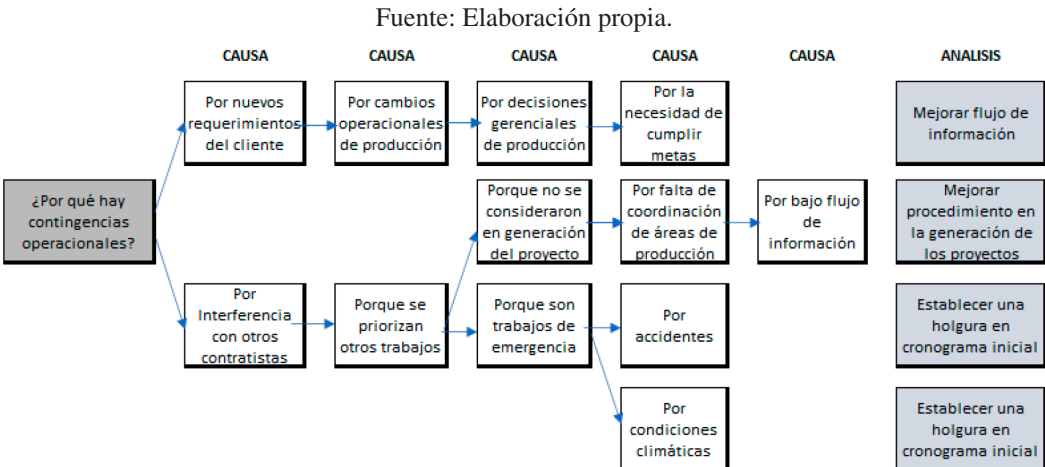


Figura 8. Diagrama 5 porqués de contingencias operacionales.

críticas e integrar sistemas de monitoreo ambiental.

Mano de obra (M.O.) limitada

La escasez de mano de obra calificada afectó la continuidad operativa, debido a rotación por clima, dificultades de acceso, limitada oferta local y falta de estrategias de retención (Figura 9).

Recomendación: alianzas con CFT locales, planificación de recursos humanos acorde a la realidad territorial e incentivos de retención.

Como conclusión del análisis de los 5 porqués podemos indicar que las interferencias analizadas comparten tres patrones comunes:

1. Falta de anticipación: no se realizaron estudios ni verificaciones adecuadas en etapas tempranas.
2. Coordinación deficiente: ausencia de procedimientos integradores entre disciplinas y equipos.
3. Carencia de mecanismos estructurados: falta de uso sistemático de herramientas de control como BIM, SDI, matrices de riesgo y revisión técnica interdisciplinaria.

Así, se confirma la necesidad de implementar un procedimiento formal e integral de planificación y control que permita detectar, mitigar y sistematizar las interferencias en obras de alta complejidad.

Fuente: Elaboración propia.

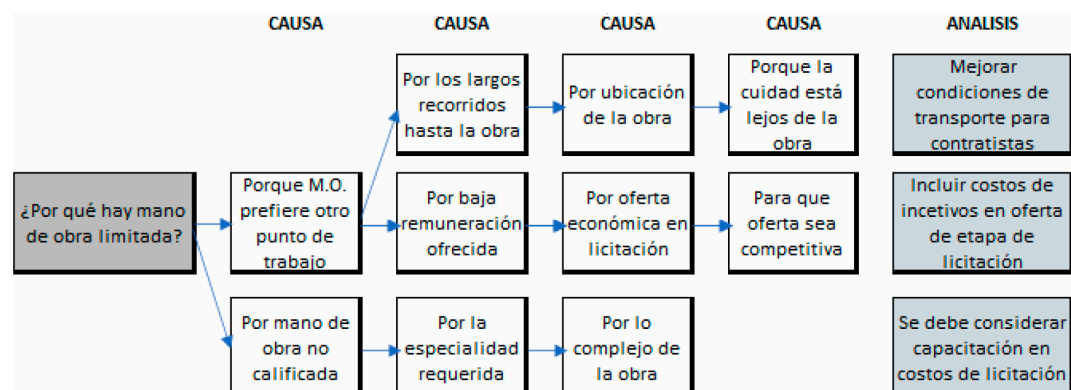


Figura 9. Diagrama 5 porqués de mano de obra limitada.

Evidencia sectorial: interferencias más frecuentes según profesionales

Para contrastar los hallazgos del caso, se aplicó una encuesta a 21 profesionales de la construcción provenientes de distintas empresas. Los resultados muestran alta consistencia con el caso “Habitabilidad”.

Los resultados (Tabla 3) revelan una alta coincidencia con el estudio de caso. La interferencia más reportada fue la relacionada con ingeniería deficiente o especificaciones técnicas poco detalladas, presente en el 71% de los proyectos. Le siguen los cambios de alcance y variaciones de cantidades (ambos con 57%), seguidos por condiciones climáticas o de terreno (52%) y redes no identificadas (43%). Ninguno de los encuestados señaló haber trabajado en una obra sin interferencias.

Los profesionales además reportaron herramientas utilizadas para gestionar interferencias: Lean

Construction, Last Planner, BIM, SDI, revisiones de ingeniería, coordinación temprana, entre otras. Esto refuerza la necesidad de integrar prácticas aisladas en un único procedimiento coherente.

Evaluación del impacto de las interferencias y mapeo de la cadena de valor

A partir del diagnóstico anterior, se aplicó la herramienta de Value Stream Mapping (VSM), propia del enfoque Lean, con el objetivo de visualizar el flujo completo de actividades del proyecto “Habitabilidad”, diferenciando entre aquellas que agregan valor y aquellas que no lo hacen desde la perspectiva del cliente final.

El análisis reveló que el ciclo total del proyecto asciende a 585 días, de los cuales 140 días corresponden a actividades sin generación de valor y 65 días están directamente asociados a interferencias detectadas durante la ejecución (Figura 10). Estos

Tabla 3. Tipos de interferencia en obras de construcción en Chile.

Tipo de interferencia en obras de construcción	Porcentaje de aparición en obras
Ingeniería o Especificaciones Técnicas insuficientes o con pocos detalles.	71%
Cambios de alcance.	57%
Aumento o disminución de cantidades.	57%
Clima o terreno.	52%
Redes existentes no identificadas.	43%
Interferencias entre elementos del mismo proyecto.	38%
Operacionales con otras empresas.	33%
Otro tipo (Impacto ambiental, flora y fauna, permisos municipales, normas).	18%
Sin interferencias.	0%

Fuente: Elaboración propia.

tiempos incluyen esperas, reprocesos, tiempos muertos y detenciones por falta de información, reprogramaciones o colisiones no anticipadas.

Las interferencias afectaron a múltiples especialidades: estructura, electricidad, piping, mecánica, obras civiles, lo que evidencia una fragmentación relevante en la coordinación. En términos operacionales, se contabilizaron 24 solicitudes de información (SDI) asociadas a interferencias, con un impacto total de

461 días acumulados de demora, lo que representa un promedio de 20 días por cada SDI (Tabla 4).

Propuesta de mejora: diseño de procedimiento formal

En base a este diagnóstico, se diseñó una propuesta de mejora estructurada en cinco medidas específicas, integradas en el mapeo de procesos y articuladas en función de los momentos clave del ciclo productivo (Figura 11):

Fuente: Elaboración propia.

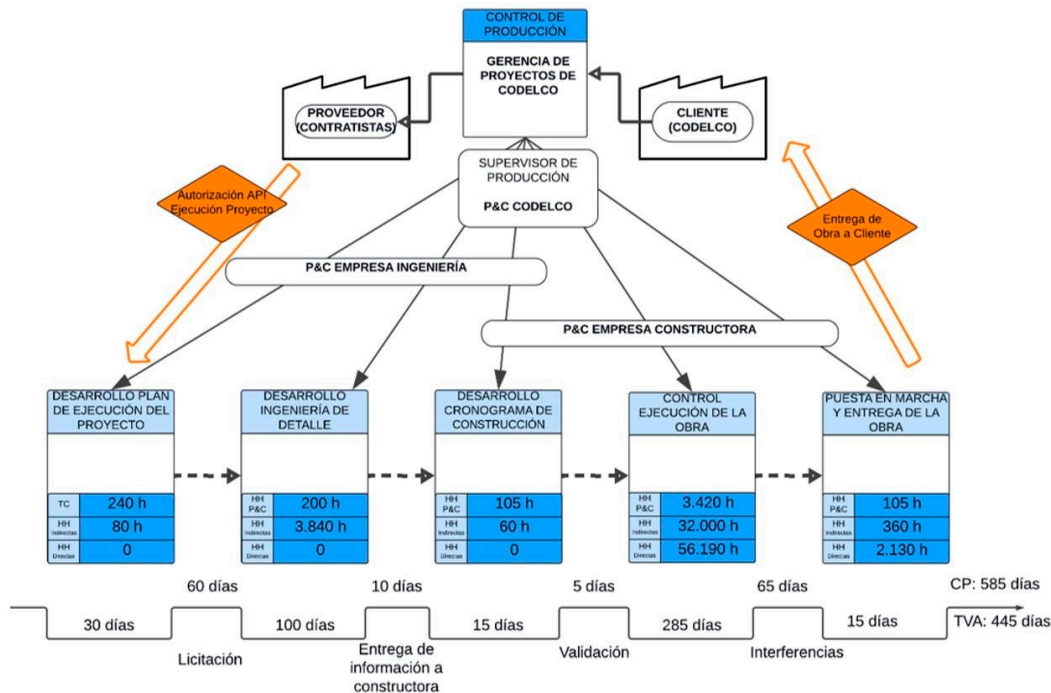


Figura 10. Mapeo de valor proyecto "Habitabilidad".

Tabla 4. Especialidades afectadas por falta de información y su impacto en días.

Espesialidad de SDI (solicitud de información)	Porcentaje de registros	Impacto por demora en solución
Electricidad	37,5% (9)	172 días
Estructura	33% (8)	156 días
Fortificación de ladera	16% (4)	58 días
Mecánica	4,5% (1)	22 días
Piping	4,5% (1)	4 días
Obras civiles	4,5% (1)	49 días
Total	100% (24)	461 días
Promedio aproximado	1 SDI	20 días

Fuente: Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

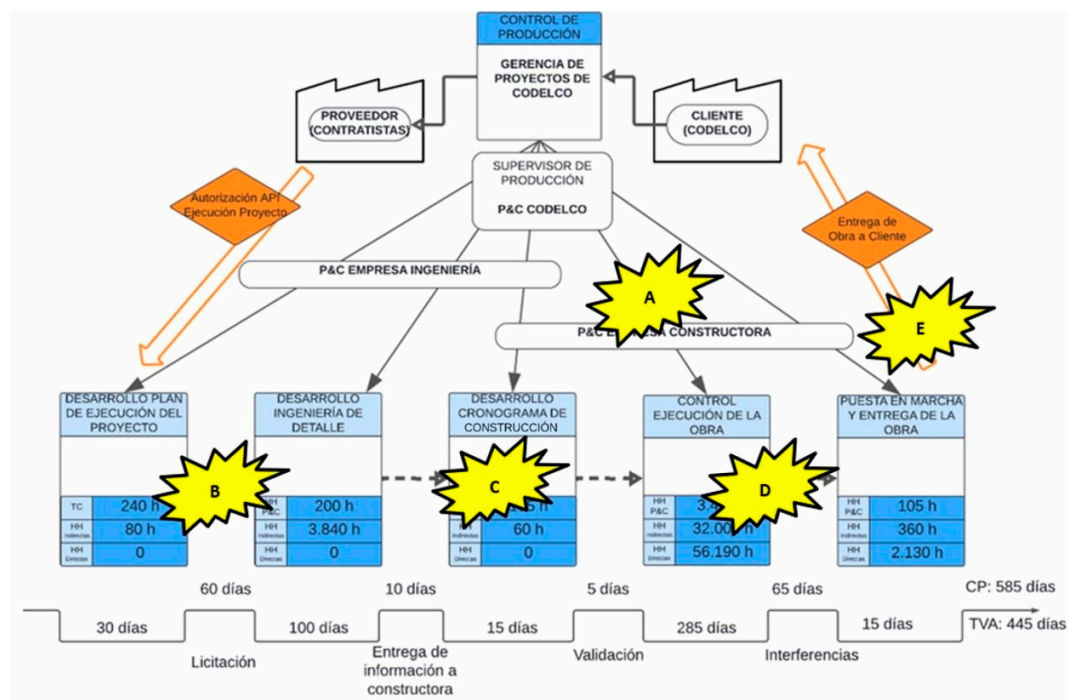


Figura 11. Mapeo de valor con medidas a implementar en proceso.

- A. Modificación del régimen de trabajo del profesional de Planificación y Control (P&C), pasando de un turno 5x2 a 7x7. Esto busca asegurar presencia continua en terreno y mejorar la capacidad de reacción ante imprevistos, especialmente en obras ubicadas en zonas geográficas de difícil acceso o con condiciones ambientales cambiantes.
- B. Incorporación de un procedimiento formal de planificación y control en la etapa de licitación y programación inicial, estableciendo criterios mínimos de integración técnica entre especialidades y mecanismos de validación cruzada de antecedentes contractuales antes de su emisión.
- C. Revisión y actualización del cronograma base con tiempos reales de ejecución, incorporando análisis anticipado de colisiones mediante el equipo BIM y herramientas de reprogramación como *crashing* y *fast-track* [10], que permiten acelerar actividades sin sacrificar calidad ni seguridad.
- D. Estandarización del sistema de control de interferencias, mediante el uso obligatorio de

la herramienta SDI, incorporación de matrices de riesgo dinámicas, y aplicación de principios Lean Construction para el seguimiento diario de restricciones y actividades críticas.

- E. Implementación de controles progresivos para la generación de planos *as-built*, asignando recursos humanos específicos para esta tarea, estableciendo entregables parciales por zona o disciplina, y asegurando su integración documental en SGDOC, el sistema de gestión documental corporativo.

Estas medidas fueron integradas en un procedimiento formal propuesto para la empresa MIES, con el objetivo de reducir ineficiencias operativas, anticipar desviaciones y mejorar el desempeño del proyecto. Además, se contempla su replicabilidad en contratos futuros con condiciones similares.

Implementación piloto del procedimiento en terreno

Durante la fase final del proyecto “Habitabilidad”, se implementó parcialmente el procedimiento diseñado, lo que permitió poner a prueba su aplicabilidad operativa y evaluar resultados preliminares.

En primer lugar, se construyó una matriz de riesgos de interferencias, la cual fue utilizada por el equipo de Planificación y Control (P&C) para realizar seguimiento semanal de los puntos críticos. En paralelo, se reformuló el cronograma base utilizando la metodología Full Potential, que busca optimizar la secuencia de actividades eliminando holguras no justificadas y simplificando rutas críticas.

Asimismo, se fortaleció el uso del sistema SDI, estableciendo un canal formal para la solicitud, seguimiento y cierre de interferencias. Esto permitió registrar evidencias, tiempos de respuesta y responsables asignados. En conjunto, estas acciones facilitaron la detección anticipada y resolución de interferencias que, de otro modo, habrían escalado en impacto.

En total, se controlaron 24 interferencias documentadas a través de SDI, con una mejora significativa en los tiempos de respuesta. Este piloto también permitió capacitar al equipo en el nuevo procedimiento y recoger retroalimentación para su ajuste antes de una implementación más amplia (Tabla 5).

Estas acciones demostraron que, incluso en una fase intermedia del proyecto, la aplicación del procedimiento puede generar beneficios concretos en términos de control, coordinación y capacidad de respuesta.

Análisis crítico de los resultados e impacto económico

La implementación del procedimiento propuesto, aunque parcial y en una fase avanzada de ejecución, permitió observar mejoras sustantivas tanto en

el rendimiento operativo como en los resultados económicos del proyecto. En términos de tiempos, el análisis comparativo del mapeo de la cadena de valor antes y después de la intervención (Figura 12) revela una reducción de 50 días en la duración total del ciclo del proyecto, pasando de 585 a 535 días. Esta mejora se concentró principalmente en la gestión de interferencias, cuya duración se redujo de 65 a solo 15 días, representando una disminución del 77% en un componente particularmente crítico para la productividad del proyecto.

Desde una perspectiva financiera, el impacto fue igualmente relevante. Con un presupuesto total de \$7.186 millones y una duración contractual de 300 días, se estimó un costo promedio de \$23,9 millones por día. Sin embargo, dada la penalidad contractual del 0,5% del monto por cada día de retraso, el costo diario por demora efectiva alcanzaba los \$35,9 millones. Bajo el escenario inicial, se proyectaba un retraso de 65 días, con un impacto económico de más de \$2.335 millones. Luego de la mejora, el retraso estimado se redujo a solo 15 días, generando un nuevo costo de \$539 millones. En consecuencia, se logró evitar una pérdida de \$1.796 millones (Tabla 6), lo que representa un ahorro equivalente al 25% del presupuesto total destinado a fortificación de ladera o más del 50% de las partidas asignadas a obras civiles.

Este resultado no solo demuestra la efectividad del enfoque de control de interferencias, sino también su eficiencia en términos de costos: la implementación no requirió aumentar la dotación de personal ni implicó gastos adicionales significativos. El procedimiento se integró a las rutinas existentes

Tabla 5. Especialidades afectadas por falta de información y su impacto en días.

Especialidad de SDI (solicitud de información)	Porcentaje de registros	Impacto por demora en solución
Electricidad	37,5% (9)	172 días
Estructura	33% (8)	156 días
Fortificación de ladera	16% (4)	58 días
Mecánica	4,5% (1)	22 días
Piping	4,5% (1)	4 días
Obras civiles	4,5% (1)	49 días
Total	100% (24)	461 días
Promedio aproximado	1 SDI	20 días

Fuente: Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

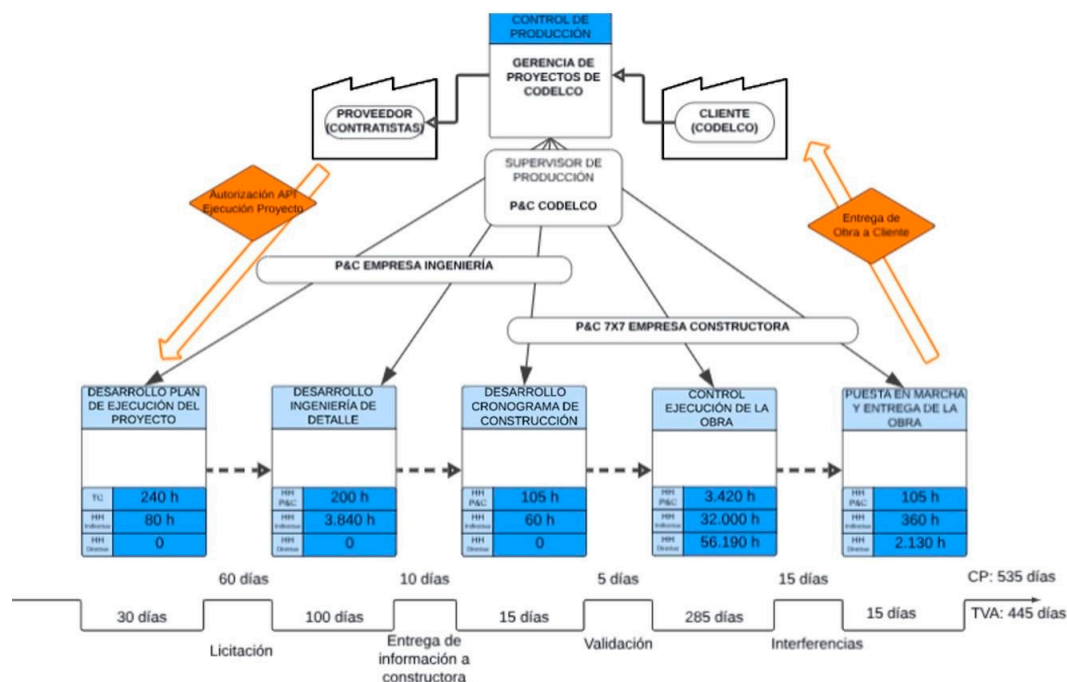


Figura 12. Mapeo de valor mejorado.

Tabla 6. Costos asociados al proyecto en estudio.

Costos del proyecto	
Costo total del Proyecto.	\$7.186.361.911
Costo diario del Proyecto (300 días).	\$23.954.539
Costo diario por retraso (0.5% por día).	\$35.931.809
Retraso proyectado original (65 días) (45 por condiciones climáticas y 20 por retraso en respuesta de SDI).	\$2.335.567.621
Retraso proyectado luego de mejora (15 días).	\$538.977.143
Retraso ahorrado luego de mejora (50 días) (35 por condiciones climáticas y 15 por mejoras en gestión de SDI).	\$1.796.590.477

Fuente: Elaboración propia.

del equipo en terreno, lo que refuerza su viabilidad práctica, especialmente en contextos de restricción presupuestaria como los proyectos financiados con fondos públicos.

Adicionalmente, se identificaron tres aprendizajes clave que pueden orientar futuras implementaciones. Primero, la oportunidad de implementación es crucial. Al haberse iniciado en una etapa avanzada del proyecto, se limitó su capacidad preventiva. De

haberse incorporado durante la fase de ingeniería de detalle y planificación contractual, el impacto habría sido probablemente mayor. Segundo, la disposición de los equipos en terreno fue fundamental para el éxito de la intervención. La colaboración entre las áreas de planificación, calidad y ejecución fue decisiva, lo que sugiere que la adopción sostenida del procedimiento requerirá fortalecer una cultura organizacional centrada en la mejora continua y la prevención. Tercero, se identificaron falencias

en la coordinación entre el mandante, la empresa contratista y las unidades de inspección técnica. Esta fragmentación organizacional no solo dificulta la trazabilidad de decisiones, sino que también limita la capacidad de aprendizaje colectivo. En este sentido, el procedimiento puede funcionar como una plataforma común para alinear prácticas, facilitar el flujo de información y promover respuestas más ágiles frente a contingencias.

En suma, la experiencia piloto valida tanto la utilidad técnica como el impacto económico del procedimiento propuesto. Su adopción temprana, idealmente desde las fases iniciales del ciclo de vida del proyecto, puede traducirse en mejoras significativas en términos de productividad, calidad, trazabilidad y eficiencia global. Esto lo posiciona como una herramienta replicable no solo en la minería, sino también en otros sectores intensivos en coordinación técnica, como la construcción hospitalaria, obras urbanas complejas o proyectos energéticos.

DISCUSIÓN

Los resultados del estudio evidencian que las interferencias son una fuente significativa de ineficiencias en proyectos de construcción, tanto en términos de plazos como de costos. La validación del procedimiento propuesto en el proyecto “Habitabilidad” permitió observar mejoras sustantivas, destacando que la reducción de 50 días en el ciclo del proyecto se concentró en una disminución del 77% de los tiempos asociados a la gestión de interferencias. Este hallazgo valida empíricamente la hipótesis central del estudio: una gestión anticipada, estructurada y formalizada de las interferencias puede generar impactos directos en la productividad del proyecto.

Además del efecto en tiempos, el ahorro estimado de \$1.796 millones refuerza la dimensión económica del problema. La gestión de interferencias, lejos de ser un aspecto secundario o meramente técnico, debe ser considerada un componente estratégico de planificación contractual. De hecho, se observó que implementar medidas simples como la integración del procedimiento en las rutinas existentes, el uso obligatorio del SDI, o la mejora en la generación de planos as-built, puede tener retornos sustantivos sin generar sobrecostos.

Otro elemento clave identificado es el rol de la cultura organizacional y del momento de implementación. Aunque el procedimiento se integró una vez iniciado el proyecto, su impacto fue significativo. Sin embargo, los resultados sugieren que su aplicación desde fases tempranas del ciclo de vida del proyecto, particularmente en la ingeniería de detalle y la programación inicial, podría maximizar aún más su efectividad. Asimismo, la disposición positiva de los equipos en terreno fue un facilitador fundamental, lo que indica que la sostenibilidad del procedimiento dependerá en gran medida de una cultura orientada a la mejora continua, la colaboración técnica y la formalización de aprendizajes.

Finalmente, la experiencia permitió identificar debilidades estructurales del ecosistema de gestión de proyectos, como la falta de coordinación efectiva entre mandante, contratista y equipos de inspección técnica. Esta fragmentación organizacional limita la capacidad de aprendizaje institucional y dificulta la gestión oportuna de conflictos o restricciones. En ese sentido, el procedimiento no sólo actúa como una herramienta operativa, sino también como una posible plataforma de articulación interinstitucional.

CONCLUSIONES

La función de Planificación y Control debe ser entendida como una instancia estratégica de gestión de proyectos, con capacidad para prevenir desviaciones significativas cuando se estructura adecuadamente. El procedimiento propuesto en este estudio aporta una metodología concreta, replicable y de bajo costo para enfrentar las interferencias de manera proactiva, integrando herramientas ya disponibles, como BIM, SDI, matrices de riesgo y principios Lean, en una lógica coherente con el ciclo productivo de las obras.

A diferencia de enfoques centrados en resolver interferencias una vez que ocurren, este procedimiento promueve una gestión anticipatoria y colaborativa, con impacto positivo en los resultados operativos, la coordinación entre áreas y la relación con el cliente. La implementación piloto en Codelco-Andina demostró que su aplicación puede generar mejoras medibles en términos de tiempo, costo y eficiencia, sin requerir aumentos de dotación ni sobrecostos indirectos.

Entre los aprendizajes más relevantes, destacan la importancia de incorporar el procedimiento desde las etapas iniciales del proyecto, así como la necesidad de fortalecer la cultura organizacional en torno a la planificación integrada, la trazabilidad documental y el aprendizaje institucional.

En síntesis, el procedimiento representa una contribución concreta a la profesionalización de la gestión de interferencias en la construcción chilena. Su adopción temprana, junto con una visión estratégica de la planificación y el control, puede convertirse en una palanca clave para elevar los estándares de productividad, eficiencia y sostenibilidad en obras públicas y privadas.

REFERENCIAS

- [1] A. Tezel, L. Koskela, and Z. Aziz, "Lean thinking in the highways construction sector: motivation, implementation and barriers," *Production planning & control*, vol. 29, no. 3, pp. 247-269, 2018, doi: 10.1080/09537287.2017.1412522.
- [2] G. Ballard and I. Tommelein, "Current Process Benchmark for the Last Planner® System of Project Planning and Control," *Lean Construction Journal*, pp. 53-155, 2021, doi: 10.60164/47e7h7a1b.
- [3] N. Ahmadzai and S. Paracha, "Why Do Projects Crash & Burn in Fragile Countries?," *Review of Integrative Business and Economics Research*, vol. 5, no. 1, pp. 315-328, 2016.
- [4] Comisión Nacional de Evaluación y Productividad, "Informe Anual de Productividad 2023," cnep.cl. Accedido: 29 de Julio de 2025. [En línea]. Disponible: <https://cnep.cl/informe-anual-de-productividad-2023/>
- [5] R. Sacks, L. Koskela, B.A. Dave, and R. Owen, "Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction," *Journal of construction engineering and management*, vol. 136, no. 9, pp. 968-980, 2010, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203.
- [6] P.E.D. Love, I. Simpson, A. Hill, and C. Standing, "From justification to evaluation: Building information modeling for asset owners," *Automation in Construction*, vol. 35, pp. 208-216, 2013, doi: 10.1016/j.autcon.2013.05.008.
- [7] S. Azhar, "Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry," *Leadership and Management in Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 241-252, 2011, doi: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127.
- [8] M.A. Marhani, A. Jaapar, and N.A.A. Bari, "Lean Construction: Towards Enhancing Sustainable Construction in Malaysia," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 68, pp. 87-98, 2012, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.12.209.
- [9] H. Türkoğlu, G. Polat, A. Damci, and F. Akin, "Project crashing with crash duration consumption rate: an illustrative example," in *Proceedings of the Creative Construction, Budapest University of Technology and Economics*, 2020, doi: 10.3311/CCC2020-046.
- [10] P. Ballesteros-Pérez, K.M. Elamrousy, and M.C. González-Cruz, "Non-linear time-cost trade-off models of activity crashing: Application to construction scheduling and project compression with fast-tracking," *Automation in Construction*, vol. 97, pp. 229-240, 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2018.11.001.