



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

**INCORPORANDO FACTORES
CUALITATIVOS DE CONTEXTO EN LA
ESTIMACIÓN DE COSTOS DE
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN**

PAULA CAROLINA RIQUELME VALDEBENITO

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:
ALFREDO SERPELL BLEY

Santiago de Chile, (Octubre, 2012)

© 2012, Paula Riquelme Valdebenito



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

**INCORPORANDO FACTORES
CUALITATIVOS DE CONTEXTO EN LA
ESTIMACIÓN DE COSTOS DE
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN**

PAULA CAROLINA RIQUELME VALDEBENITO

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

ALFREDO SERPELL BLEY

ALONDRA CHAMORRO

ALBERTO URETA

RICARDO RAINERI

Para completar las exigencias del grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, (Octubre, 2012)

A mi mamá, Carolina Valdebenito,
hermano, Rafael Riquelme, y pololo,
Sebastián Delgado, por su cariño y
apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Esta Tesis es el término de un largo, complejo y enriquecedor proceso, en el que colaboraron varias personas a quienes quiero agradecer en este momento.

En primer lugar, quiero agradecer a mi profesor supervisor, don Alfredo Serpell, por su constante apoyo, excelente disposición y por guiarme siempre que lo requerí. También quiero agradecer los aportes y críticas realizados por los integrantes de mi comisión evaluadora, pues enriquecieron y complementaron el trabajo desarrollado.

Además, quiero agradecer el tiempo y compromiso de todas las empresas y personas que accedieron a ser entrevistadas y a compartir su valiosa información, especialmente a Carlos Guerrero y Felipe Perssen.

Finalmente, quiero agradecer muy profundamente a mis padres, hermanos, pololo y sus padres, por apoyarme y ayudarme incondicionalmente.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Problema de investigación	5
1.3 Hipótesis de la investigación.....	6
1.4 Objetivos del estudio.....	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos	8
1.5 Alcance.....	8
1.6 Metodología de la investigación	9
1.7 Contenido de la tesis	11
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1 Conceptos generales.....	14
2.2 Síntoma del problema	16
2.3 Consecuencias	17
2.4 Estado del arte	19
2.4.1 Razones de sobrecostos en proyectos de construcción.....	19
2.4.2 Metodologías de estimación de costos	22
2.5 Resumen del Marco Teórico	26
3. ENTREVISTAS A EMPRESAS.....	28

3.1	Procedimiento general de estimación de costos.....	31
3.2	Procedimiento general de estimación de costos directos	34
3.3	Resumen de resultados de entrevistas	39
4.	FACTORES Y SUB FACTORES CUALITATIVOS DE CONTEXTO	40
4.1	Factores nombrados en la literatura	41
4.2	Factores críticos de la literatura	42
4.3	Listado definitivo de factores.....	44
4.4	Resumen de factores cualitativos identificados	45
5.	MODELO DE CONTEXTO	46
5.1	Descripción del Modelo de Contexto.....	46
5.2	Resumen del Modelo de Contexto propuesto	51
6.	METODOLOGÍA DE INCORPORACIÓN DE FACTORES CUALITATIVOS A LA ESTIMACIÓN DE COSTOS	52
6.1	Estructuración de la información de proyectos históricos	52
6.2	Procesamiento y recuperación de la información	57
6.2.1	Criterio de Similitud entre proyectos.....	61
6.2.2	Reportes de información al estimador	64
6.3	Resumen de la metodología propuesta.....	66
7.	APLICACIÓN DE METODOLOGÍA PROPUESTA EN UNA EMPRESA..	68
7.1	Descripción de la empresa	68
7.2	Aplicación de la metodología.....	69
7.2.1	Estructuración de la información.....	70
7.2.2	Procesamiento y recuperación de la información.....	77
7.3	Principales aspectos de la aplicación de la metodología.....	83
8.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	86
8.1	Relación entre los rendimientos y el contexto de ejecución	87
8.2	Análisis de actuales resultados de estimación de la empresa.....	93
8.3	Análisis de aplicación de la metodología propuesta	95
8.3.1	Descripción del criterio de utilización de la información.....	95
8.3.2	Análisis de la aplicación de la metodología	97

8.3.3	Aplicación simplificada a la estimación de rendimientos	111
8.4	Principales resultados obtenidos del análisis realizado.....	114
9.	DESARROLLO Y APLICACIÓN DEL PROTOTIPO	117
9.1	Propósito	117
9.2	Alcance.....	118
9.3	Arquitectura del Sistema	119
9.4	Diseño e implementación de la Base de Datos	121
9.5	Funcionamiento y aplicación del prototipo.....	123
9.5.1	Ajuste de metodología	123
9.5.2	Ingresar un proyecto real	127
9.5.3	Estimación de un proyecto.....	129
9.6	Aspectos relacionados con la implementación	131
9.7	Principales puntos del prototipo desarrollado	132
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
10.1	Conclusiones generales	134
10.2	Conclusiones específicas por cada resultado	135
10.3	Principales aportes de la metodología propuesta	137
10.4	Recomendaciones para aplicación de la metodología propuesta	139
10.5	Limitaciones identificadas y futuras líneas de investigación	140
	BIBLIOGRAFIA	142
	A N E X O S	147
	Anexo A: Frecuencia por autor de los 33 factores.....	148
	Anexo B: Frecuencia por autor de los 6 factores	152
	Anexo C: Resultados encuesta de selección de 3 de los 6 factores	153
	Anexo D: Modelo de Contexto genérico	154
	Anexo E: Evaluación de contexto por proyecto.....	158
	Anexo F: Resultados primera encuesta ponderación de factores.....	162

Anexo G: Resultados segunda encuesta ponderación de factores	164
Anexo H: Resultados de Similitudes Globales y Locales	166
Anexo I: Modelo Entidad-Relación de SICEC	169
Anexo J: Reportes entregados por prototipo SICEC	170

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 2-1: Metodologías de estimación basadas en información histórica y sus falencias .24	
Tabla 2-2: Bases de datos para estimación de costos y sus principales falencias.....26	
Tabla 3-1: Descripción de empresas y personas entrevistadas29	
Tabla 3-2: Procedimiento de estimación de costo directo: Estructuración de Rendimientos37	
Tabla 3-3: Procedimiento de estimación de costo directo: Utilización de Rendimientos....38	
Tabla 4-1: Frecuencia de los 33 factores por autores.....43	
Tabla 5-1: Estructura genérica del Modelo de Contexto propuesto.....46	
Tabla 5-2: Variables por sub factor-Complejidad del proyecto47	
Tabla 5-3: Variables por sub factor-Calidad de la información y documentación del proyecto.....48	
Tabla 5-4: Variables por sub factor-Condiciones climáticas del proyecto48	
Tabla 5-5: Variables por sub factor-Competencias y experiencia de la mano de obra.....48	
Tabla 5-6: Variables por sub factor-Condiciones de sitio.....49	
Tabla 5-7: Condiciones posibles para Grado de innovación del proyecto.....50	
Tabla 5-8: Condiciones posibles para Claridad de las especificaciones51	
Tabla 6-1: Ejemplo de información de costo real por actividad55	
Tabla 6-2: Ejemplo de contexto de proyecto A y proyecto B.....63	
Tabla 7-1: Descripción de empresa.....68	
Tabla 7-2: Ajustes de empresa a factores y sub factores de contexto generales.....70	
Tabla 7-3: Ajustes de empresa a condiciones posibles de sub factores de contexto.....72	
Tabla 7-4: Listado de proyectos históricos disponibles74	
Tabla 7-5: Listado de actividades de proyectos históricos.....75	
Tabla 7-6: Datos de actividades por proyecto histórico.....75	
Tabla 7-7: Información general de proyectos históricos.....76	
Tabla 7-8: Experiencia de personas que definen pesos relativos de factores y sub factores de contexto77	
Tabla 7-9: Pesos relativos de factores y sub factores de contexto79	
Tabla 7-10: Resumen de Similitud entre proyectos históricos y proyecto de prueba.....81	
Tabla 7-11: Resumen de Similitud de proyectos históricos más similares.....83	
Tabla 8-1: Índice de Contexto Total para cada proyecto histórico90	
Tabla 8-2: Coeficiente FP por actividad de los proyectos94	
Tabla 8-3: Datos históricos de rendimiento por actividad de proyectos históricos112	
Tabla 8-4: Coeficiente FP por actividad de los proyectos113	

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1: Metodología de investigación	11
Figura 2-1: Diagrama de conceptos generales	15
Figura 2-2: Razones de sobre o subestimaciones por la industria de la construcción.	19
Figura 2-3: Razones de sobre o subestimaciones por método de estimación o estimador ..	21
Figura 3-1: Procedimiento genérico de estimación de costos de empresas	31
Figura 3-2: Procedimiento genérico de estimación de costos directos de empresas.....	34
Figura 4-1: Metodología de definición de factores y sub factores de contexto	40
Figura 4-2: Factores que afectan los costos o rendimientos de proyectos de construcción .	42
Figura 4-3: Factores que afectan los costos o rendimientos de proyectos (6 factores).....	43
Figura 4-4: Factores y sub factores críticos de costos o rendimientos de proyectos de construcción (5 factores y 15 sub factores).....	44
Figura 6-1: Procedimiento para la Estructuración de la información	53
Figura 6-2: Procedimiento para la Estructuración de la información	56
Figura 6-3: Procedimiento para Procesamiento y recuperación de la información	59
Figura 6-4: Procedimiento para Procesamiento y recuperación de la información	60
Figura 7-1: Esquema de aplicación de la metodología propuesta.....	69
Figura 7-2: Ajuste a factores y sub factores de contexto	73
Figura 7-3: Similitud Global de todos los proyectos disponibles	82
Figura 7-4: Similitud Global de los proyectos más similares	82
Figura 8-1: Índice de Contexto de Proyecto para proyectos históricos	89
Figura 8-2: Rendimientos vs Índice de Contexto Total para proyectos históricos- Tendencia 1	92
Figura 8-3: Rendimientos vs Índice de Contexto Total para proyectos históricos- Tendencia 2	93
Figura 8-4: Utilización de la información histórica según metodología propuesta	96
Figura 8-5: Similitud Local y contexto-Factor Complejidad del proyecto	100
Figura 8-6: Similitud Local y contexto-Factor Información del proyecto	102
Figura 8-7: Similitud Local y contexto-Factor Condiciones climáticas	104
Figura 8-8: Similitud Local y contexto-Factor Condiciones de la M.O.	106
Figura 8-9: Similitud Local y contexto-Factor Disponibilidad de equipos	108
Figura 8-10: Similitud Local y evaluación de proyectos semejantes-Factor Condiciones de sitio	110
Figura 9-1: Módulos de servicio implementado para SICEC	119
Figura 9-2: Modelo-Vista-Controlador	120
Figura 9-3: Actividades para desarrollar la Base de Datos	121
Figura 9-4: Modelo Relacional	122
Figura 9-5: Funciones iniciales del prototipo computacional	123
Figura 9-6: Inputs y outputs de función de ajuste	124
Figura 9-7: Ajustes a factores	125

Figura 9-8: Ajustes a sub factores.....	126
Figura 9-9: Ajustes a condiciones de sub factores.....	126
Figura 9-10: Inputs y outputs de función de ingreso de proyector real	127
Figura 9-11: Ingreso de información general de proyecto realizado	128
Figura 9-12: Ingreso de actividades de proyecto realizado.....	128
Figura 9-13: Ingreso de contexto de proyecto realizado.....	129
Figura 9-14: Inputs y outputs de función de estimación de un proyecto	130
Figura 9-15: Ingreso de actividades de proyecto a estimar.....	131

RESUMEN

La estimación de costos es el proceso técnico de desarrollar una aproximación de los costos de los recursos necesarios para completar las actividades de un proyecto. Los modelos de estimación de costos existentes tienen algunas falencias en los criterios de manejo de la información histórica disponible. Por consiguiente, existe la necesidad de definir criterios objetivos y consistentes de selección y ajuste de datos obtenidos en proyectos pasados, que incorporen aspectos cualitativos del contexto de ejecución de los proyectos.

En esta perspectiva, se propone una metodología para integrar formalmente las variables cualitativas de contexto a la estimación de costos de proyectos de construcción. La metodología define la estructuración, el procesamiento y la recuperación de la información histórica de proyectos, en base a aspectos cualitativos tales como la complejidad del proyecto, las condiciones del entorno, las características de la mano de obra del proyecto, entre otros.

Se presenta una lista de los factores cualitativos de contexto más influyentes en los rendimientos y costos resultantes de proyectos de construcción. En base a estos factores, se diseña un Modelo de Contexto, cuya función es definir el contexto en el que se desarrolla un proyecto de construcción, a través de la definición y consideración de todos los aspectos cualitativos relevantes para ello.

A continuación, y mediante la integración del Modelo de Contexto y un método para determinar la similitud entre proyectos, se describe una metodología que define la forma en que estas variables se incorporan en la estimación de costos.

Finalmente, se desarrolla una herramienta computacional a nivel de prototipo que permite probar y visualizar el funcionamiento de la metodología propuesta. Para su

aplicación se utiliza información histórica de una empresa chilena que desarrolla proyectos de montaje industrial en el área minera.

Se concluye que la incorporación de los factores cualitativos de contexto al proceso de estimación de costos permite mejorar el uso de la información histórica y que, los aspectos más críticos para ello son la creación de un sistema de retroalimentación permanente de los resultados obtenidos en obra y la estructuración de la información histórica.

Futuras investigaciones pueden aplicar la metodología desarrollada a un caso con mayor cantidad de datos, además de incorporar al Modelo de Contexto los factores cualitativos al nivel de las actividades de un proyecto.

Palabras Clave: estimación de costos, factores cualitativos, contexto, información histórica, proyectos.

ABSTRACT

The cost estimate is the technical process of developing an approximation of the costs of the resources needed to complete project activities. Existing estimating models have certain shortcomings in the management of historical data. Consequently, there is a need of defining more objective and consistent criteria for the selection of historical construction data to be used for estimating.

In this perspective, a methodology based on historical information, which incorporates qualitative context factors to the structure and use of this information for cost estimating, such as project complexity, environmental conditions and characteristics of workmanship, among others, is proposed.

A list of qualitative project context factors that are most influential for construction projects' cost and productivity is presented. Based on these factors, a Context Model is designed, whose function is to define the context in which it develops a construction project, through the definition and consideration of all relevant quality aspects for it.

Then, by integrating the context model and a method for determining the similarity between projects, describes a methodology which defines the manner in which these variables are incorporated in the cost estimation.

Finally, a prototype computational tool is developed to test and visualize the operation of the proposed methodology. Historical data from a Chilean company that develops industrial projects in the mining area is used to try it.

It is concluded that the incorporation of qualitative context factors in cost estimating improves the use of historical information and that most critical aspects to achieve this feature are the creation of a reliable site-work feedback system and the correct structure of historical information.

Future research can apply the developed methodology to a case with more data, as well as incorporating the Context Model qualitative factors to the level of project activities

Keywords: cost estimating, context, qualitative factors, historical information, projects.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La estimación de costos es el proceso técnico de desarrollar una aproximación de los costos de los recursos necesarios para completar las actividades de un proyecto (PMBOK, 2004). La estimación de costos de un proyecto de construcción se determina generalmente a partir de las estimaciones de ingeniería, la referencia a proyectos pasados similares, la aplicación del criterio de expertos y la información proporcionada por los proveedores, subcontratistas y estudios de mercado (Hulett, 2009). Una estimación de costos de un proyecto de construcción se compone de los siguientes tipos de costos:

- Costos directos, correspondientes al costo de cada partida en cuanto a materiales, mano de obra, equipos y subcontratos directamente asociados a las actividades de construcción de un elemento (Serpell y Alarcón, 2003).
- Costos generales indirectos, que son todos aquellos gastos en que se incurre por la materialización del proyecto, pero que no están directamente asociados a la ejecución de actividades específicas (Serpell y Alarcón, 2003). Estos corresponden a:
 - Gastos generales de oficina central, tales como costos de administración general de la empresa, gastos de oficina central, etc.
 - Costos indirectos de obra, tales como la administración de la obra, administrativos de obra, transporte de materiales, servicios e instalaciones provisionales, etc.

- Categorías especiales de costos tales como una asignación por inflación o un costo por contingencia (PMBOK, 2004). La contingencia es un elemento de costo de la estimación utilizado para cubrir la incertidumbre y la variabilidad asociada a una estimación de costos y elementos de costo imprevistos en el alcance del proyecto (AACE Recommended Practice No. 34R-05, 2007).

La revisión de la literatura indica que a pesar de las décadas de esfuerzo por mejorar la exactitud de las estimaciones, los grandes proyectos de infraestructura continúan presentando importantes retrasos y sobrecostos (Liu y Napier, 2010), que no se limitan a un mandante o tipo de proyecto en particular (Shane et al., 2009), ni tan sólo a proyectos complejos (Baloi y Price, 2003).

La estimación de costos es considerada una de las fases más críticas e importantes de un proyecto de construcción (Jrade y Alkass, 2007), existiendo variados estudios realizados para determinar las causas de las inexactitudes identificadas y proponer mejoras. Las investigaciones asociadas indican que repetidamente, los mismos problemas han causado los sobrecostos de diferentes proyectos y que parte importante del conocimiento puede ser obtenido al estudiar el pasado (Shane et al., 2009). Es así como entre las propuestas de mejora se encuentra frecuentemente la utilización y estructuración de la información pasada (Jrade y Alkass, 2007; Lee, 2008; Chou, 2009; Figueiredo y Philipenko, 2010; Honsinger et al., 2010).

La analogía, método de estimación de costos comúnmente aplicado cumple con esta descripción, pues se basa esencialmente en ser capaz de determinar el costo de actividades o ítems previos y usarlos como referencia para predecir el costo de nuevas actividades o ítems propuestos (Greves y Joumier, 2003). El estado de la práctica indica que esta metodología se utiliza principalmente para estimaciones a nivel conceptual y que un aspecto primordial para ello, es ser capaz de determinar las diferencias entre el ítem o actividad presente y la pasada (Greves y Joumier,

2003), pues de ello dependerán los ajustes requeridos. Si analizamos su aplicación en la construcción, este proceso de comparación entre un proyecto y otro se vuelve complejo al considerar el relevante grado de personalización y flexibilidad que la industria ofrece al consumidor (Sawhney et al., 2004).

Sin embargo, para estimaciones de costos con mayor nivel de detalle, la mayoría de los contratistas o empresas utilizan el procedimiento estándar de estimación de costos (Akintoye y Fitzgerald, 2000; Bhaumik, 2010). Este método implica descomponer los costos directos de construcción, según las actividades o partidas del programa. El costo total estimado corresponde al costo total de las actividades, donde la contingencia se modela como una actividad separada cubriendo el total de la duración del proyecto (Bhaumik, 2010).

En este método, el costo directo de una partida se determina multiplicando la cantidad, el rendimiento unitario por cada recurso y el precio unitario del recurso. La cantidad es el número de unidades requeridas de la partida y el rendimiento unitario por recurso, es la cantidad requerida por recurso para realizar una unidad de la partida. A continuación se describe la obtención y fluctuación de cada uno de estos 3 componentes del precio unitario:

- En términos generales, al estimar los costos de un nuevo proyecto la cantidad de cada partida se obtiene de las cubicaciones realizadas a partir del alcance del proyecto, y la incertidumbre asociada a esta se relaciona con el nivel de definición de la ingeniería, a menos que sea un diseño de un proyecto anterior (Bhaumik, 2010).
- La fuente del precio unitario de los recursos depende del tipo. Si corresponde a materiales, equipos, subcontratos, puede ser cotizado a proveedores del mercado. Si se requiere precio de la mano de obra, este puede ser solicitado al Departamento de Recursos Humanos u otra fuente

de terreno. En general, los precios unitarios son determinados por la ley de la oferta y la demanda, las prácticas locales de regulación y las presiones inflacionarias que prevalecen entre el momento en que se prepara el presupuesto y el tiempo de compromiso (Bhaumik, 2010).

- El rendimiento unitario usualmente se refiere a la productividad de la construcción, en términos de horas-hombre (HH) u otro recurso necesario para construir una unidad de cantidad de trabajo (Bhaumik, 2010), y sus fluctuaciones ocurren principalmente debido a las diferentes condiciones en que la actividad fue desarrollada (Kiziltas y Akinci, 2009). A lo largo de la tesis se estudia el proceso de estimación de los rendimientos unitarios, donde la condición de ejecución de un proyecto se denomina “contexto” y es definida a través de los “factores de contexto”.

Los factores de contexto son las variables que definen el contexto de ejecución de un proyecto que ejercen la mayor influencia sobre el rendimiento obtenido. De acuerdo al tipo de variable considerada, podremos clasificar un factor de contexto en cuantitativo o cualitativo:

- Los factores de contexto cuantitativos corresponden a variables medibles a través de valores numéricos, tales como cantidad de pisos, superficie del proyecto, longitud del pavimento, duración del proyecto, etc.
- Los factores cualitativos son variables que asumen valores como palabras u oraciones, tales como características del cliente, complejidad del diseño, características de la mano de obra, condiciones de mercado, etc. A estas puede asociarse valores como alto, medio o bajo, o definiciones más complejas.

Para estimar rendimientos, los estimadores típicamente se basan en datos históricos, los que son ajustados tomando en consideración los factores y

condiciones específicas que pueden afectar la productividad de las operaciones de construcción (Proverbs et al., 1999). Para ello, de alguna forma se asocia a cada rendimiento obtenido un contexto de ejecución, el que debe ser comparado con el contexto previsto del nuevo proyecto (analogía de los contextos de ejecución). Sin embargo, una importante limitación que tienen las técnicas de predicción de costos de la industria de la construcción, es que sólo toman en cuenta factores relevantes que pueden ser cuantificados (Boussabaine, 2005). Evidencia obtenida de entrevistas realizadas a empresas del sector de la construcción, indica que la consideración de los factores cualitativos generalmente se realiza de acuerdo al criterio de cada estimador, dado que no poseen información histórica de respaldo para analizar o no se ha definido un procedimiento estándar de cómo incluirlos.

Finalmente, dado que la mayoría de los factores críticos que afectan los costos de proyectos son cualitativos, los estimadores no cuentan con toda la información relevante asociada a los rendimientos obtenidos en proyectos pasados, ni se definen o aplican métodos de selección formales de éstos. Por tanto, en general se realiza una evaluación subjetiva de la situación observada (Kiziltas y Akinci, 2009), y los contratistas diseñan sus propios métodos de estimación de costos (Akintoye y Fitzgerald, 2000).

1.2 Problema de investigación

Por un lado, el estado del arte indica que existen ciertas deficiencias en la consideración de factores cualitativos de contexto en la estimación de costos, lo que además se reconoce como una de las causales de mal desempeño de estas.

El estado de la práctica obtenido mediante el desarrollo de entrevistas a algunas empresas del sector de la construcción, indica que si bien los estimadores consideran los aspectos cualitativos en el desarrollo de los ajustes de rendimientos pasados para realizar estimaciones de nuevos proyectos, sus criterios de selección

y utilización se establecen en forma individual, pues se basan en su propio conocimiento y experiencia.

La situación descrita genera la necesidad de:

- Establecer una estructura de la información requerida para estimar costos de forma simple y ordenada, con el fin de facilitar su utilización en predicciones futuras.
- Estandarizar tanto los aspectos cualitativos críticos de contexto a considerar, como los criterios de utilización de estos para la selección, recuperación y utilización de los rendimientos históricos para el desarrollo de nuevas estimaciones.
- Mejorar el proceso actual de estimación en cuanto a la integración de la información real de obra, para lo que se requiere un sistema de retroalimentación permanente con la oficina técnica de terreno.

Para ello, esta investigación propone desarrollar una metodología que permita incorporar a la estimación de costos de manera formal, sistemática e integrada los factores cualitativos críticos de contexto, para mejorar el manejo de la información histórica real de proyectos.

1.3 Hipótesis de la investigación

Para la investigación se postula la siguiente hipótesis:

Es posible incorporar formal y sistemáticamente los aspectos cualitativos de contexto en la estimación de costos de un proyecto de construcción, en base a la estructuración, recuperación y utilización de información histórica.

1.4 Objetivos del estudio

En función de los antecedentes ya presentados, surgió la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo determinar, de una manera más consistente y objetiva, los rendimientos a utilizar por actividades en distintas condiciones o contextos de proyectos, sobre la base de información histórica de proyectos de construcción?

Para poder responder a esta pregunta, es necesario responder las siguientes sub preguntas:

- i. ¿Cuáles son los principales factores de contexto que generan variación de los costos o de la productividad?*
- ii. ¿Cómo incorporar o utilizar el contexto cualitativo en el desarrollo de las estimaciones de costos?*

A continuación se definen los objetivos generales y específicos de la investigación, los que permitieron encontrar respuesta a las preguntas planteadas.

1.4.1 Objetivo general

El objetivo general de esta tesis consiste en desarrollar una metodología para incorporar formal y sistemáticamente a la estimación de costos de proyectos de construcción, los principales aspectos cualitativos de contexto a nivel de proyecto, con el fin de definir criterios consistentes y objetivos de estructuración, selección y recuperación de la información histórica de rendimientos por actividad.

1.4.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos son:

- a) Identificar que factores cualitativos críticos de contexto de proyectos generan una mayor variación de costos, productividad y/o rendimiento.
- b) Desarrollar un modelo para definir el contexto de un proyecto de construcción, basado en los factores críticos identificados, el que se denomina Modelo de Contexto.
- c) Desarrollar una metodología que especifique cómo integrar los factores cualitativos críticos de contexto a la estimación de costos de proyectos de construcción, formado por el Modelo de Contexto y un criterio de similitud entre proyectos.
- d) Validar la aplicabilidad de la metodología propuesta, a través del desarrollo y utilización de una herramienta computacional a nivel de prototipo y una base de datos histórica de prueba, conformada con datos reales de una empresa en particular.

1.5 Alcance

La presente investigación busca comprender en profundidad el proceso del manejo de la información histórica para la estimación de rendimientos de actividades de construcción de un proyecto, utilizándose para ello un enfoque basado en entrevistas y un estudio de casos a una empresa chilena.

Para analizar y desarrollar una metodología de estructuración, selección y recuperación de la información histórica como base para la estimación, se decidió no ahondar en un tipo de proyecto de construcción en particular, sino analizar el proceso desde una perspectiva general, aplicable a cualquier proyecto de construcción, con el objeto de lograr resultados útiles en un ámbito más amplio.

Es así como la metodología propuesta es aplicable a cualquier tipo de proyecto de construcción, sin embargo, su desarrollo general permite ser ajustado a la realidad de los proyectos desarrollados por una organización particular. Para adaptarla se requiere realizar las modificaciones indicadas, relacionadas principalmente con la inclusión o exclusión de factores de contexto, la definición de la relevancia o impacto relativo que ejerce cada factor sobre el rendimiento obtenido, y finalmente, la definición y el nivel de detalle de las condiciones de ejecución asociadas a cada sub factor.

1.6 Metodología de la investigación

La metodología que se utilizó se inicia con el desarrollo de una revisión bibliográfica sobre los siguientes temas:

- a) Los factores que afectan el desempeño o la productividad, y los que causan sobrecostos o inexactitud en proyectos de construcción.
- b) Las metodologías de estimación de costos y bases de datos.
- c) Los métodos para determinar la similitud entre proyectos.
- d) Las herramientas de software de estimación de costos y plazo existentes.

Mediante un ordenamiento, clasificación y la aplicación del criterio de afinidad, se obtuvo un listado preliminar de 33 factores de contexto de 26 autores.

Posteriormente, y con el objeto de focalizar el estudio en los factores más relevantes, se aplicaron los criterios de frecuencia mínima por autor y de Pareto, con lo que se obtuvo 6 factores principales. Para su validación se realizaron 9 entrevistas semi-estructuradas a expertos del área de estimación de costos de proyectos de construcción de empresas de ingeniería y construcción chilenas, los que seleccionaron sólo 5 de los 6 factores expuestos. A partir de estas mismas entrevistas, se obtuvo además un listado de los sub factores más relevantes a

considerar por cada factor y de las variables que determinan las condiciones posibles por cada uno.

Con los factores y sub factores de contexto cualitativo y las condiciones posibles por cada uno, se construyó el Modelo de Contexto de un proyecto de construcción. Este busca definir el contexto de ejecución de los proyectos de construcción, basado en la utilización de los aspectos cualitativos más relevantes.

Con el Modelo de Contexto y un criterio de similitud entre proyectos, se estableció una metodología de incorporación de los factores cualitativos de contexto a la estimación de costos.

Como tarea final, se realizó una aplicación de la metodología a un caso de una empresa de montaje industrial, para lo que se desarrolló una herramienta computacional a nivel de prototipo. El caso estudio realizado permitió complementar y mejorar tanto el prototipo computacional, como el listado de factores y sub factores críticos de contexto, el Modelo de Contexto y la metodología propuesta.

La Figura 1-1 sintetiza la metodología utilizada en la investigación.

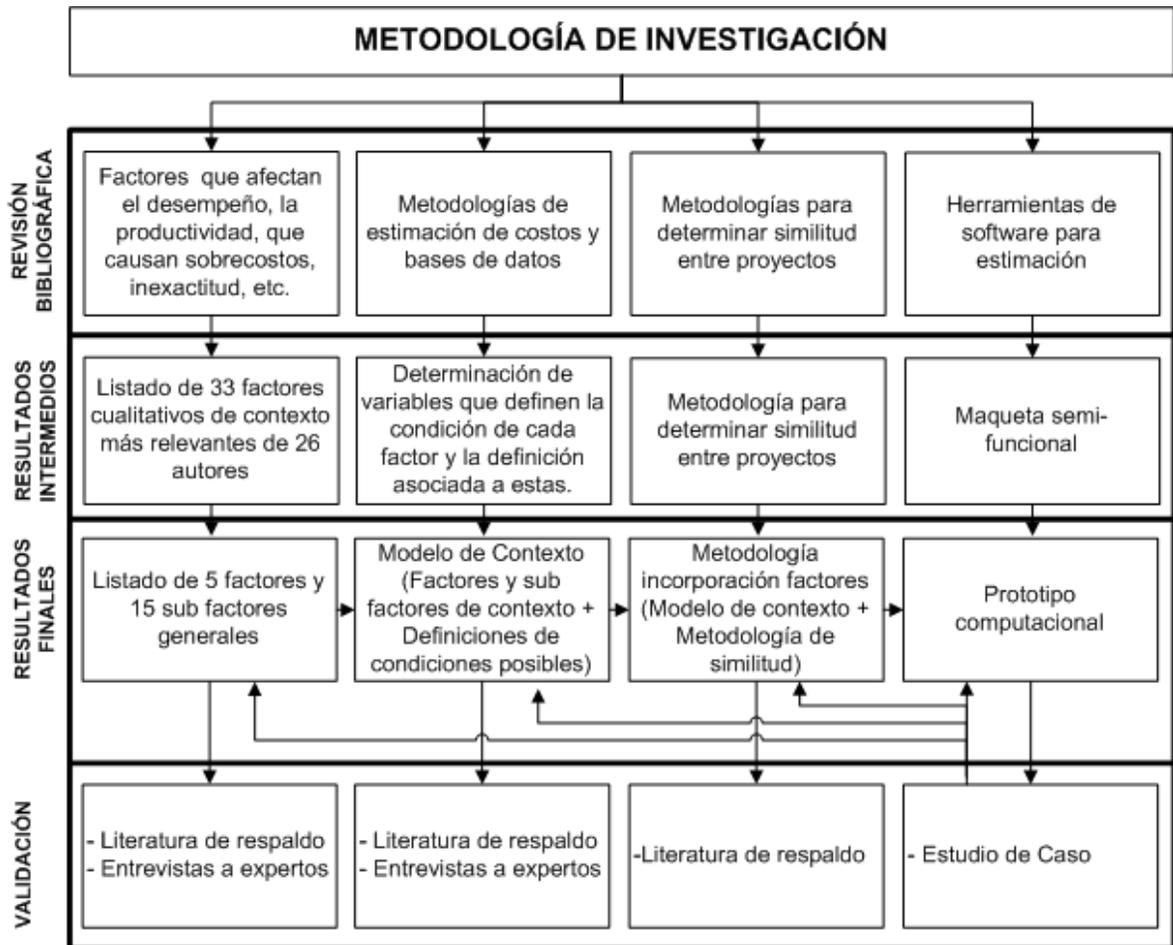


Figura 1-1: Metodología de investigación

Fuente: Elaboración propia

1.7 Contenido de la tesis

La tesis está organizada en 10 capítulos, presentando en el primero una introducción con los fundamentos básicos de la investigación desarrollada.

En el capítulo 2 se presenta un resumen del marco teórico que sustenta la relevancia del problema y de sus consecuencias, además de una descripción de las

metodologías de estimación de costos de proyectos de construcción encontradas, con las falencias identificadas en relación al manejo de la información histórica.

En el capítulo 3 se describen los procesos y criterios de estimación actualmente utilizados en la industria de la construcción, a partir de los resultados obtenidos de las entrevistas realizadas.

En el capítulo 4 se presenta el procedimiento utilizado para determinar los principales aspectos cualitativos que ejercen influencia sobre los costos y rendimientos obtenidos en proyectos de construcción de manera genérica.

En el capítulo 5 se muestra el Modelo de Contexto desarrollado a partir de los factores críticos de contexto identificados, y que explica como describir la situación en la que se ejecuta un proyecto de construcción.

En el capítulo 6 se propone una metodología para integrar, de forma sistemática y consistente, los factores cualitativos de contexto a la estimación de costos de proyectos de construcción. Para ello, se describe cómo estructurar, procesar y entregar la información histórica disponible, de manera que pueda ser reutilizada al estimar rendimientos de nuevas actividades.

El capítulo 7 presenta la aplicación de la metodología propuesta mediante la utilización de datos reales, provenientes de una empresa de montaje industrial que desarrolla proyectos mineros, y que se utilizó como caso estudio para esta investigación.

En el capítulo 8 se presenta el análisis de resultados obtenidos con el desarrollo de la investigación. Este análisis se compone de una revisión de los resultados

obtenidos actualmente por la empresa, y luego de los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología propuesta.

En el capítulo 9 se indica el procedimiento de desarrollo de una herramienta computacional a nivel de prototipo, con el objeto de visualizar y validar la aplicabilidad de la metodología propuesta. Esta herramienta es testeada mediante la utilización de información real obtenida de la empresa con la que se trabajó.

Para finalizar, en el capítulo 10 se presentan las conclusiones obtenidas al desarrollar ésta investigación, y se proponen recomendaciones para futuros estudios.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos generales

La estimación de costos es el proceso técnico de desarrollar una aproximación de los costos de los recursos necesarios para completar las actividades de un proyecto (PMBOK, 2004). Una estimación de costos de un proyecto de construcción se compone de los siguientes tipos de costos:

- Costos directos, correspondientes al costo de cada partida en cuanto a materiales, mano de obra, equipos y subcontratos directamente asociados a las actividades de construcción de un elemento (Serpell y Alarcón, 2003).
- Costos generales indirectos, que son todos aquellos gastos en que se incurre por la materialización del proyecto, pero que no están directamente asociados a la ejecución de actividades específicas (Serpell y Alarcón, 2003). Estos corresponden a:
 - Gastos generales de oficina central, tales como costos de administración general de la empresa, gastos de oficina central, etc.
 - Costos indirectos de obra, tales como la administración de la obra, administrativos de obra, transporte de materiales, servicios e instalaciones provisionales, etc.
- Categorías especiales de costos tales como una asignación por inflación o un costo por contingencia (PMBOK, 2004). La contingencia es un elemento de costo de la estimación utilizado para cubrir la incertidumbre y la variabilidad asociada a una estimación de costos y elementos de costo imprevistos en el alcance del proyecto (AACE Recommended Practice No. 34R-05, 2007).

El costo actual, representado junto a otros conceptos en la Figura 2-1, se define como la cantidad de costos actualmente incurridos, dado cierto momento de desarrollo del proyecto. El costo estimado se define como los costos presupuestados o previstos dado un momento del proyecto (Lee, 2008).

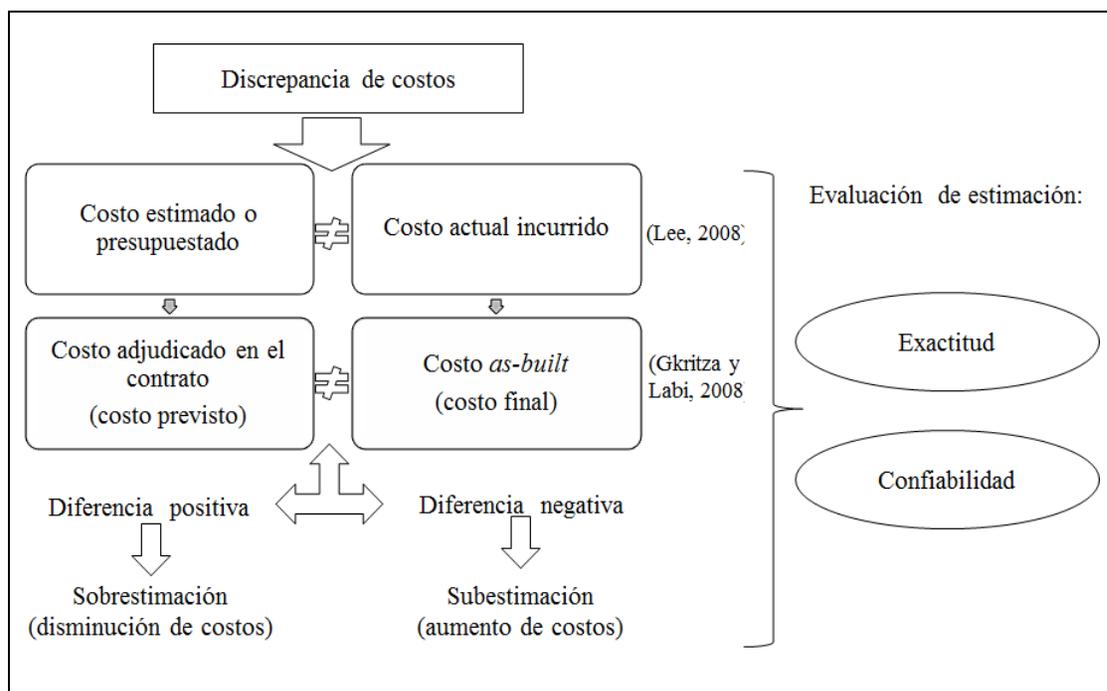


Figura 2-1: Diagrama de conceptos generales

Fuente: Elaboración propia

Una desviación de una cantidad de costos en una determinada fase de comparación que se puede traducir en un aumento o disminución de costos (Gkritza y Labi, 2008). Esta discrepancia de costos es determinada como:

- La diferencia entre el costo actual y el estimado, como un porcentaje del costo estimado, con todos los costos calculados en precios constantes (Lee, 2008).

- La diferencia entre la cantidad adjudicada en el contrato o costo previsto y el costo as-built o costo del proyecto terminado (Gkritza y Labi, 2008).

Cuando la discrepancia es positiva, se denomina sobrestimación, pues en la realidad ocurrió una disminución de los costos. Cuando la discrepancia es negativa, se llama subestimación, pues la realidad indica un aumento de los costos (sobrecostos).

El desempeño de una estimación se mide en general de acuerdo a dos conceptos: la exactitud y la confiabilidad de su resultado. La exactitud refleja la cercanía al costo real de referencia de un proyecto (Serpell, 2004). La confiabilidad se refiere a si una técnica particular, aplicada repetidamente al mismo objeto daría el mismo resultado cada vez (Babbie, 1983; citado por Serpell, 2004).

2.2 Síntoma del problema

La revisión de evidencia empírica de los 50 últimos años de estimaciones de costos de capital de proyectos indica que la mayoría de los estudios descubrieron desviaciones entre los valores pronosticados y los reales (Linder, 2005).

Aunque se esperaría que los sobrecostos tengan la misma probabilidad de ocurrencia que las sobrestimaciones, los sobrecostos tienen una frecuencia mucho mayor (Emhjellen et al., 2003; citado por Creedy et al., 2010).

Por ejemplo, estudios reportan que los rangos de inexactitud de las estimaciones de costos son 20,4% a 44,7% dependiendo del tipo de proyecto (Flyvbjerg et al., 2003, 2005; citado por Liu y Napier, 2010). De un estudio de 161 proyectos completados en Korea resulta que el 95% de los proyectos de caminos y el 100% de los de líneas de tren tienen un sobrecosto del 50% (Lee, 2008). Otro estudio

encontró que un 50% de los grandes proyectos de construcción activos en Estados Unidos han sobrepasado sus presupuestos iniciales (Sinnette, 2004; citado por Shane et al., 2009).

Para mejorar esta situación, varias medidas de solución han sido diseñadas e implementadas, sin embargo, a pesar de las décadas de esfuerzo en mejorar la exactitud de las estimaciones (Liu y Napier, 2010), del gran número de casos reportados (Baloi y Price, 2003), y de la disponibilidad y amplio uso de variadas técnicas y *softwares* de control de proyectos (Olawale y Sun, 2010), grandes proyectos de construcción se han hecho conocidos por sus sobrecostos y sus tiempos tardíos de término (Pickrell, 1990, Flyvbjerg et al., 2003; citados por Touran y Lopez, 2006).

Por otro lado, los problemas de estimación no se limitan a un dueño o tipo de proyecto en particular (Shane et al., 2009), ni sólo a proyectos complejos (Baloi y Price, 2003). Parece que los proyectos de construcción, desde los más simples hasta los más complejos, tales como las plantas nucleares, las restauraciones ambientales, los sistemas de transporte y las plataformas de aceite y gas, enfrentan cada vez más sobrecostos (Baloi y Price, 2003).

Pobre desempeño de costos en proyectos de construcción parece ser la norma más que la excepción, particularmente en los países más desarrollados, donde el problema es más agudo (Baloi y Price, 2003).

2.3 Consecuencias

La confiabilidad de las predicciones de costo y duración, está entre los más altos determinantes de éxito de proyectos de construcción (Elhag y Boussabaine, 1997).

Esta relevancia se debe principalmente a que:

- El propósito general de una estimación de costos es usarla para evaluar la factibilidad de proyectos, establecer su presupuesto y como una herramienta de control de programa y costo contrato (Kwak, 2005), por lo que tiene gran influencia sobre la planificación, el diseño, la licitación, la gestión de costos e incluso en la gestión de la construcción (Cheng, 2009).
- Por otro lado, la estimación puede impactar fuertemente la percepción de un proyecto en términos de costo, pues la percepción de falla o éxito de un proyecto está directamente relacionada con el desempeño planificado o estimado (Gilbreath, 1986; citado por Serpell, 1990).

Por otro lado, diversas consecuencias negativas pueden impactar a las empresas si ocurren reiteradas discrepancias entre lo real y lo previsto:

- Frecuentes subestimaciones de proyectos pueden llevar a la quiebra al contratista, y en la otra dirección, las sobrestimaciones pueden impedir que este gane contratos (Akintoye y Fitzgerald, 2000).
- La sobrestimación o sobre provisión de fondos para un proyecto significa menos fondos disponibles para otras oportunidades de negocios (Yean y Boo, 2001).
- En ambos casos, tanto clientes como contratista sufren considerables pérdidas financieras debido a los sobrecostos (Baloi y Price, 2003).

Por tanto, la estimación y predicción de costos, es crucial para que las empresas constructoras puedan sobrevivir y crecer dentro de la industria (Huawang y Wanking, 2008).

2.4 Estado del arte

2.4.1 Razones de sobre costos en proyectos de construcción

Muchos estudios se han realizado para determinar las causas de estas discrepancias de costos en los proyectos de construcción. Para estructurar estas razones, se han clasificado en dos tipos, que se explican a continuación.

a) Características propias de la industria de la construcción.

El primer grupo de razones encontradas en la literatura por las que frecuentemente se dan sobre costos, corresponde a aspectos relacionados con características del entorno dinámico y complejo de la industria de la construcción, la singularidad de sus productos y la forma de trabajo comúnmente utilizada (Figura 2-2).

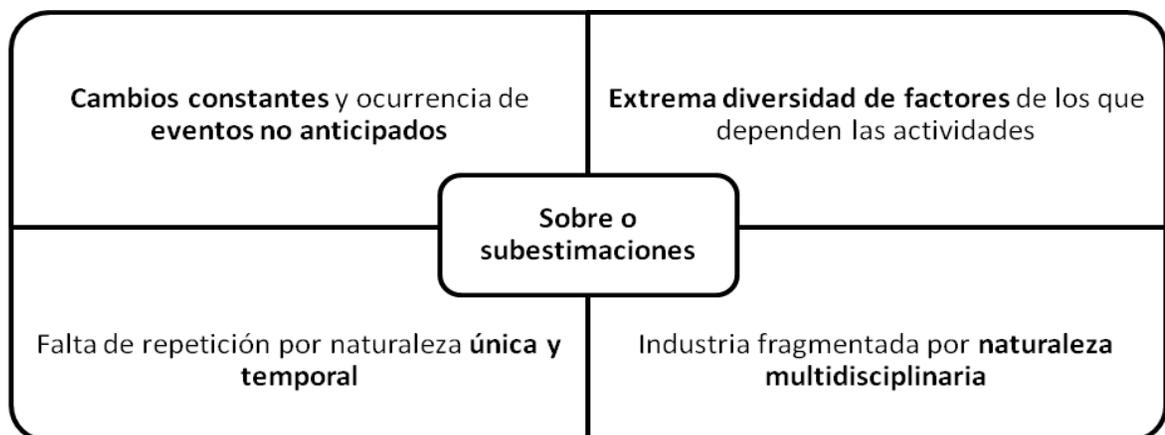


Figura 2-2: Razones de sobre o subestimaciones por la industria de la construcción.

Fuente: Elaboración propia.

Las empresas constructoras operan en un ambiente y no en el vacío, por lo que están inevitablemente influenciadas y constantemente interactuando con elementos de este (Baloi y Price, 2003). En este ambiente, las condiciones en que las actividades son ejecutadas pueden variar en el tiempo, y eventos difíciles de anticipar y manejar pueden ocurrir, provocando fluctuaciones en los costos finales (Al-Jibouri, 2003; Lockhart et al., 2008; Kiziltas y Akinci, 2009; Creedy et al., 2010).

La extrema diversidad y cantidad de factores que generan estos cambios de condiciones (las características de la naturaleza, la tecnología utilizada, y los factores humanos, entre otros), inevitablemente afectan los costos actuales de las actividades, haciendo más difícil desarrollar un proceso estándar con el cual desarrollar un sistema de estimación (Uman, 1991; citado por Akintoye y Fitzgerald, 2000; Kiziltas y Akinci, 2009).

Por otro lado, la falta de repetición de los proyectos, motivada por las características de los productos de la industria, por sus grupos de producción itinerantes y por la volatilidad del mercado (Raftery, 1993; citado por Skitmore, 2002) hace que los proyectos tengan una naturaleza única y temporal, que es considerada como una limitante de la organización para aprender habilidades (Prencipe y Tell, 2001; citado Liu y Napier, 2010).

Finalmente, la característica multidisciplinaria de la construcción es una causante de variados problemas de comunicación, procesamiento de la información y baja productividad en proyectos de construcción (Nitithamyong y Skibniewski, 2006). Esto acompañado a menudo de largos períodos entre planificación y término, hace fluctuar los precios unitarios estimados (Yu et al., 2005; citados por Liu y Napier, 2010).

b) Características propias del método de estimación y del estimador.

El segundo grupo de causas de sobrecostos, tiene relación con las deficiencias de la metodología de estimación utilizada, en los criterios asociados, en la calidad de la información disponible para ello, y en la falta de consideración de factores relevantes (Figura 2-3).

La confianza excesiva de los estimadores en evaluaciones subjetivas tales como supuestos, reglas de pulgar, experiencia y juicio intuitivo, genera dos importantes culpables de la inexactitud de las estimaciones de costos:

- Sesgo de optimismo, es decir, tendencia de la gente a ser muy optimista y sobrestimar los beneficios y subestimar los costos (Lovallo y Kahneman, 2003, citados por Liu y Napier, 2010);
- Tergiversación estratégica, o deliberada tergiversación de los costos y riesgos por beneficios políticos, económicos u otros (Flyvbjerg et al., 2006; citado por Liu y Napier, 2010).

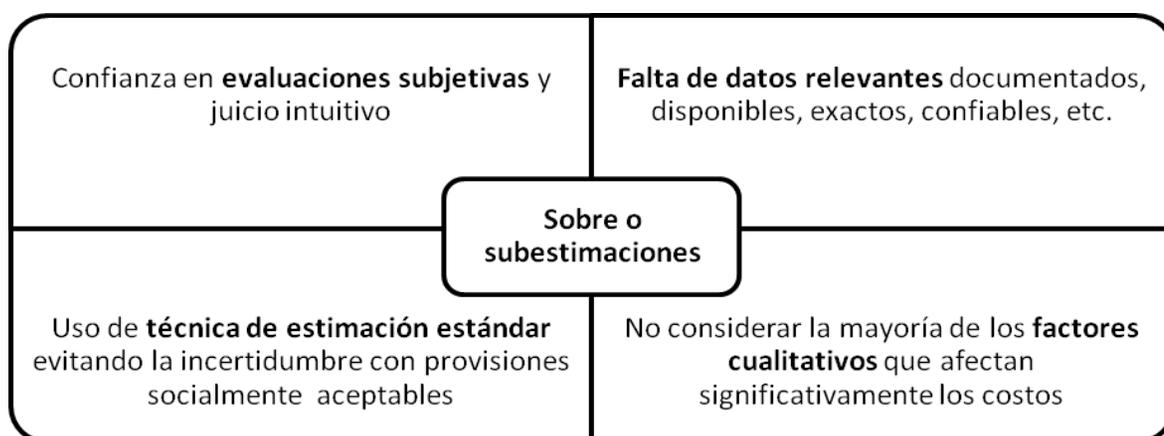


Figura 2-3: Razones de sobre o subestimaciones por método de estimación o estimador

Fuente: Elaboración propia

Otra causa relevante de problemas de estimación, es la falta de documentación o exactitud de los datos disponibles de costos relevantes de los proyectos (Lockhart et al., 2008), aspecto importante si se considera que una estimación es tan confiable como los datos en los que se basa (Proverbs et al., 1999).

El tercer punto se relaciona con que la mayoría de los contratistas o empresas utilizan un procedimiento estándar de estimación (Akintoye y Fitzgerald, 2000; Bhaumik, 2010). Este método implica descomponer los costos de construcción (mano de obra, materiales, equipos, subcontratos, etc.) según las actividades del programa. El costo total estimado corresponde al costo total de las actividades, donde la contingencia se modela como una actividad separada cubriendo el total de la duración del proyecto (Bhaumik, 2010). Sin embargo, estos métodos de estimación “convencionales o tradicionales” a menudo fallan en hacer frente a la realidad del mundo de hoy, el que incluye elementos de incertidumbre (Curran, 1989; citado por Akintoye y Fitzgerald, 2000).

Por otro lado, estudios demuestran que las técnicas de predicción de tiempo y costos utilizados en la industria de la construcción no consideran la mayoría de los factores que afectan significativamente a los costos y la duración del proyecto, tales como características del cliente, del diseño, del contratista, del proyecto, o factores externos y condiciones de mercado (Elhag y Boussabaine, 1997). Esta investigación se enfoca en mejorar este aspecto en particular, a través de la proposición de una metodología que permita incorporar a la estimación de costos los aspectos cualitativos críticos del contexto de los proyectos.

2.4.2 Metodologías de estimación de costos

Dadas las características descritas de los proyectos de construcción, entre las propuestas de mejora se encuentra frecuentemente la utilización y estructuración

de la información pasada (Jrade y Alkass, 2007; Lee, 2008; Chou, 2009; Figueiredo y Philipenko, 2010; Honsinger et al., 2010).

La analogía es un método comúnmente aplicado que se basa esencialmente en ser capaz de determinar el costo de actividades o ítems previos, y usarlos como referencia para predecir el costo de nuevas actividades o ítems propuestos (Greves y Joumier, 2003). Por tanto, un aspecto primordial en la estimación de costos por analogía es ser capaz de determinar las diferencias entre el ítem o actividad presente y la pasada (Greves y Joumier, 2003), pues de ello dependerán los ajustes requeridos. Si consideramos su aplicación en la construcción, este proceso de comparación entre un proyecto y otro se vuelve complejo al considerar el sorprendente grado de personalización y flexibilidad que la industria ofrece al consumidor (Sawhney et al., 2004).

Esta situación se presenta en forma similar cuando el estimador reutiliza rendimientos de actividades pasadas para estimar los rendimientos de nuevas actividades. Como debe considerar que las fluctuaciones de estos ocurren principalmente debido a las diferentes condiciones en que la actividad fue desarrollada (Kiziltas y Akinci, 2009), se deben establecer las diferencias entre estos contextos, para definir posteriormente los ajustes apropiados de acuerdo a la nueva estimación.

Esta situación implica que la experiencia individual implícita escondida en los ejemplos históricos debe ser extraída precisa y eficientemente, con el fin de entregar una guía para desarrollar nuevas soluciones y facilitar la estimación (Chou, 2009).

En este contexto, es posible encontrar múltiples listados de diferentes autores que indican las variables que afectan los costos y/o la productividad de los proyectos de construcción. Sin embargo, estudios demuestran que las técnicas de predicción de tiempo y costo utilizados en la industria de la construcción, tienen falencias en

cuanto a la incorporación de las variables cualitativas al proceso de estimación y a la definición de criterios de selección de la información histórica relevante (Tabla 2-1 y Tabla 2-2 respectivamente).

Esto se puede explicar por dos razones principales:

- Los aspectos cualitativos son difíciles de evaluar (Elhag y Boussabaine, 1997) y esto puede deberse a que son aspectos subjetivos cuyos valores son difíciles de medir y precisar.
- El tiempo y los recursos para apoyar el proceso de colección, limpieza y organización de los datos de un proyecto puede ser un desafío significativo para muchas organizaciones (Figueiredo y Philipenko, 2010).

Tabla 2-1: Metodologías de estimación basadas en información histórica y sus falencias

Autor	Descripción de la metodología de estimación	Falencia en relación a la selección de información relevante
Proverbs et al (1999)	Método para estimar requerimientos de M.O. y costos asociados. Se basa en determinar índices de productividad de M.O. por m ² para actividades de hormigón en sitio.	Criterio de diferenciación de productividad sólo por país encuestado.
Yu (2006)	Método de estimación conceptual de costos de construcción (PIREM) que integra varios métodos. Los principales ítems de costos son modelados por una función paramétrica no lineal.	Parámetros clave que forman las ecuaciones de costos son sólo aspectos del proyecto como: tipo de superestructura, tipo de fundación, longitud de pilar, etc.
Huawang y Wanqing (2008)	Método de estimación de costos de proyectos de construcción que integra Conjuntos <i>Difusos</i> (RS) y <i>Artificial Neural Network</i> (ANN). RS es aplicado para encontrar los factores relevantes de costos, que serán inputs en una ANN para predecir el costo de un proyecto.	Los modelos se realizan en su mayoría con variables cuantitativas de diseño de proyectos: altura total, superficie, tipo de estructura, nivel de gestión del proyecto, período, área de subterráneos y nivel de gestión del proyecto.

Tabla 2-1: (Continuación) Metodologías de estimación basada en información histórica y sus falencias

Autor	Descripción de la metodología de estimación	Falencia en relación a la selección de información relevante
Chou (2009)	Sistema CBR aplicado a la estimación temprana de costos de proyectos de mantenimiento de pavimentos. Compara los datos históricos a nivel de ítem de trabajo mediante una biblioteca de casos.	Basa la similitud entre proyectos en factores en su mayoría cuantitativos, excepto ubicación del proyecto y terreno (plano, cerro o montaña). Aplicable a un solo tipo de proyecto.
Ilbeigi y Heravi (2010)	Modelo para predecir el desempeño del proyecto. El modelo se basa en 11 índices de desempeño de dos categorías: de producto y de la gestión del proyecto. La predicción es llevada a cabo en base a la situación actual del proyecto y el desempeño de la organización en proyectos pasados, usando el enfoque de simulación de Monte Carlo	La semejanza entre proyectos se hace en base a un Índice de Desempeño (PI) por proyecto, que es el representativo de los 11 índices de desempeño utilizados. Sin embargo, No se guarda la información de recursos utilizados, ni rendimientos o productividad, sino que se transforma a índices representativos.
Rush y Roy (2001)	Modelo para estimar costos de proyectos a través del uso de juicio experto y analogía. Modela los pasos que componen el proceso de razonamiento utilizado por un experto al realizar una estimación de costos.	Se indica que la analogía es por similitud de proyectos, se entrega una lista de aspectos que usualmente se utilizan, pero no se especifican los más relevantes ni como determinar la similitud. Autores recomiendan investigar sobre cómo hacer las comparaciones entre proyectos.
Mohamed y Celik (2002)	Sistema integrado basado en conocimiento para estimaciones de costos y programas de construcciones. Usuario ingresa información general del proyecto, selecciona tipos de materiales y evalúa los factores de productividad indicados.	Con estos factores de productividad que dependen del contexto del proyecto, se afecta sólo la duración del mismo. El costo estimado solo depende de parámetros de diseño, cantidades, precios unitarios y tipo de materiales.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-2: Bases de datos para estimación de costos y sus principales falencias

Autor	Descripción de la base de datos	Falencias identificadas
Kiziltas y Akinci, (2009)	Establece los aspectos que debe contener una base de datos de costos de proyectos históricos (de diseño, proceso de construcción, del sitio de construcción y del proyecto), pues determinan la variación de rendimientos.	1) Factores enfocados en detalle solo para 4 actividades específicas. 2) No indica cómo determinar la similitud en base a factores relevantes. 3) No indica cómo integrar la base de datos a la estimación.
Honsinger et al. (2010)	Guía de aspectos importantes de cómo generar una base de datos enfocada a la estimación paramétrica y al control. Se indican parámetros relevantes para semejanza: alcance, tamaño, año, supuestos fundamentales y condiciones.	1) Factores bastante generales y sin justificación de su elección. 2) Para determinar similitud indica un ejemplo de fórmula para filtrar la información, pero no define criterio fijo. 3) No indica cómo integrar la base de datos a la estimación.

Fuente: Elaboración propia

2.5 Resumen del Marco Teórico

Estudios de evidencia empírica indican que pese a los grandes esfuerzos y recursos invertidos en mejorar el desempeño de las metodologías de estimación de costos de proyectos de construcción, un pobre desempeño en este sentido parece ser la norma más que la excepción. Dado que el propósito de una estimación es servir como base para la evaluación y toma de decisiones de aspectos críticos relacionados con los proyectos, la ocurrencia de frecuentes sub o sobrestimaciones puede tener consecuencias nefastas tanto para clientes como contratistas.

Investigaciones de las causas asociadas a estas desviaciones pueden ser clasificadas en dos aspectos. Por un lado, se encuentran las características propias del sector de la construcción, tales como los cambios y la incertidumbre del entorno, la gran cantidad y variabilidad de aspectos que afectan los resultados, la enorme diferenciación que existe entre los proyectos y que implica un bajo nivel

de repetición, además de la naturaleza multidisciplinaria de trabajo. Por otra parte, se advierte que las causales de inexactitud se pueden deber a un segundo grupo de aspectos, relacionado con el método de estimación utilizado, tales como la confianza excesiva en las evaluaciones subjetivas, la documentación base de calidad deficiente, y finalmente, la incorporación inadecuada de la incertidumbre o las variables cualitativas en las metodologías utilizadas.

Las metodologías de estimación existentes se inclinan frecuentemente por la utilización de la información histórica propia. Sin embargo, presentan importantes deficiencias en cuanto a la definición de criterios adecuados de estructuración, selección y recuperación de esta, puesto que dejan fuera importantes variables cualitativas del contexto de ejecución de los proyectos. Si consideramos que este contexto tiene importante efecto sobre los rendimientos obtenidos, es relevante considerarlo adecuadamente al momento de estimar rendimientos futuros.

3. ENTREVISTAS A EMPRESAS

Se realizaron 10 entrevistas a empresas del área de la construcción, montaje industrial y minería, con la descripción mostrada en la Tabla 3-1. La empresa mandante se deja fuera del estudio posterior, por lo que se analiza y muestra la información de 9 empresas. Los objetivos de estas entrevistas fueron:

- Conocer el procedimiento de estimación de costos utilizado por empresas constructoras y los criterios asociados. Con la información recabada, se definió un procedimiento de estimación general, además de determinar sus principales falencias en relación al manejo de la información.
- Validar los factores sacados de la bibliografía (estos resultados se muestran en el capítulo siguiente).
- Obtener información de rendimientos reales y estimados para desarrollar la aplicación del sistema propuesto.

Tabla 3-1: Descripción de empresas y personas entrevistadas

N°	Año fundación	Actividades económicas vigentes (Servicio de Impuestos Internos)	Tipo de proyectos que realiza	Cargo entrevistado	Experiencia
1	1993	Construcción de edificios completos o de partes de edificios. Obras menores en construcción (contratistas, albañiles, carpinteros).	Industriales (plantas y estaciones de servicio), fiscales (colegios, consultorios, edificios), Inmobiliarios (edificios)	Jefe de Departamento de Estudios de Proyectos	Más de 20 años en estudio de proyectos
2	1993	Construcción de edificios completos o de partes de edificios.	Construcción <i>retail</i> , edificación institucional, edificación habitacional	Jefa de Departamento de Estudios de Proyectos	12 años en construcción y 7 años en estudio de proyectos
3	2001	Construcción de edificios completos o de partes de edificios.	Casas, edificios, hoteles y oficinas que no estén dentro de un <i>mall</i>	Jefa de Departamento de Estudios de Proyectos (Externos)	Alrededor de 10 años de experiencia entre cálculo, terreno y estudio de proyectos
			Viviendas de hasta 2 pisos	Jefa de Departamento de Estudios de Proyectos (Vivienda)	
4	1960	Obras de ingeniería, Ventas al por mayor de vehículos automotores, maquinaria, equipos, herramientas y materiales.	Proyectos de montaje para minería; plantas químicas, celulosas, y de tratamiento de aguas; y centrales termo e hidroeléctricas	Jefe de Departamento de Estudios y Presupuesto	25 años en construcción, y 10 años en estudio de proyectos
5	1982	Construcción de edificios completos o de partes de edificios.	Hospitales, escuelas, consultorios, inmobiliarios	Jefa de Departamento de Estudios de Obras Propias	4 años en terreno, 5 años en estudio de proyectos

Tabla 3-1: (Continuación) Descripción de empresas y personas entrevistadas

N°	Año fundación	Actividades económicas vigentes (Servicio de Impuestos Internos)	Tipo de proyectos que realiza	Cargo entrevistado	Experiencia
6	2001	Explotación de otras minas y canteras, Compra, venta y alquiler de inmuebles propios, Servicios geológicos y de prospección, Otras actividades empresariales.	Administra proyectos mineros	<i>Senior Cost Estimator Engineer</i>	20 años (constructoras, ingeniería y mineras)
7	1976	Ventas y alquiler al por mayor de maquinaria, herramientas, equipos y materiales. Servicios de ingeniería.	Proyectos mineros	<i>Senior Estimator</i>	4 años en terreno, 4 años en estudio de proyectos
8	1993	Construcción de edificios completos o de partes de edificios, Obras y servicios de ingeniería, Compra, venta y alquiler de inmuebles.	Construcción de edificios institucionales y de viviendas	Jefe de Departamento de Estudios de Proyectos	10 años en estudio de proyectos
9	1965	Construcción de edificios completos o de partes de edificios, Compra, venta y alquiler de inmuebles, Actividades de asesoramiento empresarial y gestión	Viviendas (casas o edificios)	Jefe de Departamento de Estudios y Control	3,5 años en terreno, y 2,5 años en estudio de proyectos
10	2003	Preparación de terreno, excavaciones y movimientos de tierras, Construcción de edificios completos o de partes de edificios, Obras de ingeniería, Obras menores de construcción, Otros servicios desarrollados por profesionales.	<i>Retail</i> , edificios de vivienda o institucionales	Jefe de Área de Construcción de Departamento de Estudios	20 años en la construcción, 18 años en estudio de proyectos

Fuente: Elaboración propia, basado en www.sii.cl

3.1 Procedimiento general de estimación de costos

El procedimiento general de estimación de costos desarrollado a partir de las entrevistas realizadas se describe a continuación (Figura 3-1):

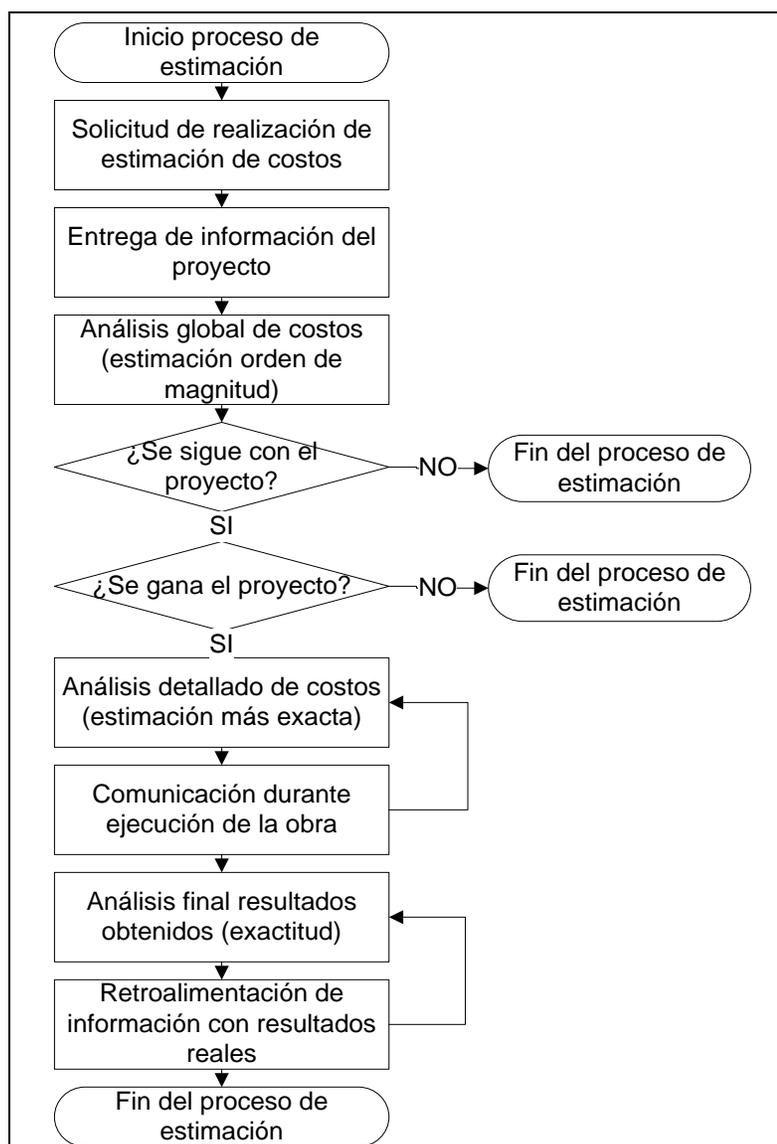


Figura 3-1: Procedimiento genérico de estimación de costos de empresas

Fuente: Elaboración propia, basada en entrevistas realizadas

- a) *Solicitud de estimación de costos*: El Departamento de Estudio de Proyectos recibe la solicitud de realización de una estimación de costos.
- b) *Entrega de información*: El mandante entrega o vende la información relevante del proyecto a estudiar: Bases administrativas, especiales y técnicas del servicio solicitado, el diseño desarrollado (sino lo sub contrata), antecedentes del proyecto, respuestas a consultas, visita a terreno si es posible, otros.
- c) *Análisis global de costos*: Estimación paramétrica, para tener rápidamente un orden de magnitud de los costos. Sólo sirve para proyectos en los que se tiene la información adecuada. Se utiliza para analizar si es conveniente el proyecto o para contar con un costo aproximado que guíe la estimación detallada.
- d) *Análisis detallado de costos*: Se compone de determinar: 1) el costo directo, 2) el costo indirecto o gastos generales de obra (supervisión y dirección de obras, equipos y maquinarias de construcción, u otros: instalación de faena, seguros, fletes, servicios básicos, etc.), y 3) la contingencia: la mayoría de empresas no la determina, o asigna un porcentaje de aumento de costos en base a análisis de riesgos de expertos (por cambios posibles en condiciones durante la ejecución, complejidad, tamaño, etc.). Posteriormente se analiza con mayor profundidad la información obtenida en relación a la estimación de costos directos.
- e) *Comunicación entre el Departamento de Estudios y la Obra*:
- 1 empresa: El control de obra lo realiza otra área de la empresa y el Depto. de Estudios no recibe esta información.
 - 2 empresas: No se realiza control de manera formal, ni con el detalle requerido (a nivel de partida), ni hasta el término de la obra, pues sólo realizan visitas esporádicas a terreno o conversaciones directamente con el Administrador de Obra por dudas particulares.

- 1 empresa: Mantiene comunicación formal con terreno sólo si se presentan errores en relación a lo estimado por el Departamento de Estudios.
- 4 empresas: Disponen de personal en obra controlando continuamente a nivel detallado. Estos entregan un informe, reporte o cuadro comparativo, pero no siempre se entrega al Departamento de Estudios.

La información obtenida de la comunicación con la obra permite realizar un seguimiento y control de los costos, para lo que se analiza y complementa la estimación detallada realizada en etapa inicial, de acuerdo a modificaciones presentadas.

f) Análisis final de resultados obtenidos:

- En la mayoría de las empresas entrevistadas no se realiza análisis de resultados obtenidos de manera formal, pues no se cuenta con la información real de obra documentada y/o completa.
- Las empresas que cuentan con la información real realizan algún tipo de análisis, ya sea para controlar subcontratos, o para fines de control interno. Sin embargo, el desempeño obtenido no se asocia formalmente a las características de la obra, sino solo a conceptos particulares tales como: cambios en cantidad de obra, obras adicionales, precios, tamaño de cuadrillas en terreno, etc.

g) Retroalimentación de información con resultados reales:

- En la mayoría de las empresas entrevistadas no se realiza una retroalimentación adecuada, pues no se cuenta con la información requerida documentada y/o completa para tales efectos.
- Las empresas que si cuentan con la información, indican que retroalimentan su información para ser utilizada en futuras estimaciones. Sin embargo, los nuevos rendimientos se asocian a la partida del proyecto, sin documentar las condiciones que hicieron la diferencia.

3.2 Procedimiento general de estimación de costos directos

A continuación, se realiza una descripción general de cómo los Departamentos de Estudio entrevistados determinan los costos directos por proyecto (ver Figura 3-2).

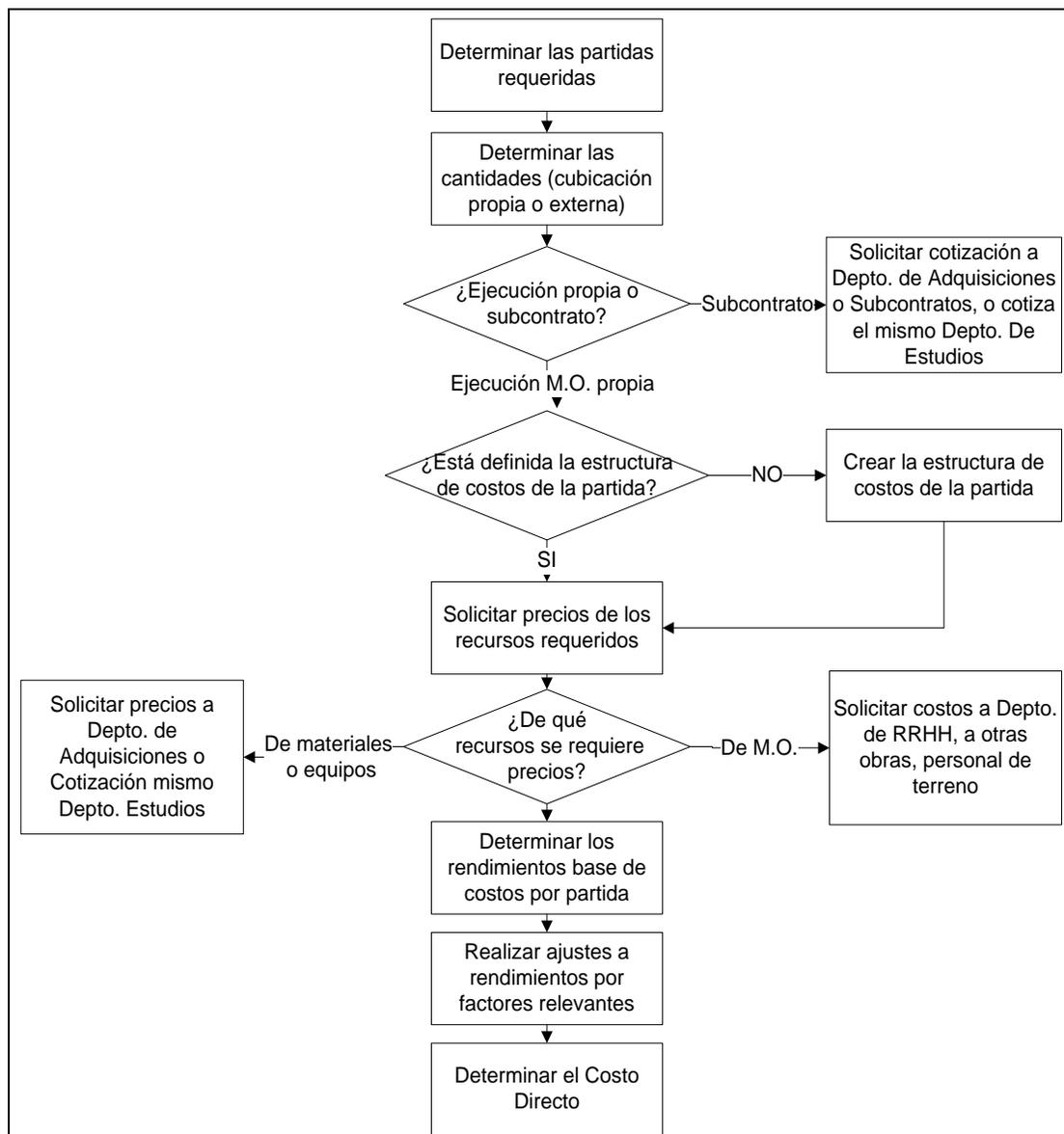


Figura 3-2: Procedimiento genérico de estimación de costos directos de empresas

Fuente: Elaboración propia, basada en entrevistas realizadas

Todas las empresas estiman el costo directo mediante un proceso relativamente estándar, basado en el precio unitario por cada partida i , y considerando todos los recursos j requeridos para su ejecución. Para ello, utilizan un *software* de apoyo como Presto, *Excel* u otro diseñado especialmente para la empresa.

$$PU_i = \text{Tamaño partida}_i * \sum_{j=1}^n [PU \text{ recurso}_{ij} * \text{Rendimiento recurso}_{ij}]$$

Primero se determinan las partidas que deben ser realizadas para ejecutar el proyecto (según bases y experiencia del Departamento de Estudios de Proyectos, y en formato de acuerdo al itemizado que se defina). A continuación, se calculan las cantidades por cada partida, ya sea a través de cubicación del mismo Departamento o como servicio externo. Si la partida a analizar se subcontratará, personal de estudios o del Departamento de Adquisiciones realiza la cotización. Si la actividad en cambio, será ejecutada con mano de obra propia, se realizan las siguientes acciones:

- *Determinar la estructura de costos:* Para definir los recursos que se requieren por partida, se utiliza como base una estructura anterior, en caso de que la actividad ha sido desarrollada. Si no ocurre esto, se crea una estructura en función del conocimiento y experiencia de expertos.
- *Definir precios de recursos:* Por cada recurso de la estructura definida, se solicitan los precios unitarios. Si corresponden a equipos o materiales, estos son cotizados por el propio Departamento de Estudios, o por el Departamento de Adquisiciones. Si corresponde a mano de obra, este se solicita al Departamento de Recursos Humanos, en caso que mantenga una base de datos de remuneraciones actualizadas, si no, se solicita a otras obras cercanas

(propias o de otras empresas) o a personal de terreno de la misma organización.

- *Determinar los rendimientos*: El último componente para definir el precio unitario de las partidas, es el rendimiento por recurso, correspondiente a la cantidad de cada recurso requerido por cada unidad de avance de la partida. Para comprender mejor este proceso, en la Tabla 3-2 se muestra una caracterización de las empresas entrevistadas, según:
 - La información que guardan de los rendimientos obtenidos.
 - Si utilizan para ello una Base de Datos (BD).
 - Si realizan correcciones de esta información disponible, posterior a la ejecución de los proyectos.

La información levantada indica que 3 de las empresas entrevistadas, utilizan sólo la información de los rendimientos teóricos o estimados de proyectos pasados como base para estimar los rendimientos de nuevos proyectos, sin contar con información de resultados reales de las obras.

Aun cuando hay otras empresas que realizan retroalimentación con rendimientos reales de obra, hay falencias en cuanto a la estructuración ordenada en una base de datos, o la completitud de la información histórica disponible.

Por otra parte, ninguna de las 9 empresas entrevistadas, estructura la información de rendimientos por partida, más que por ubicación (región) o por tipo de proyecto.

Tabla 3-2: Procedimiento de estimación de costo directo: Estructuración de Rendimientos

Tipo información que guarda		Poseen BD	Retroalimentación con información real	f
Rendimientos teóricos o estimados en proyectos pasados	-	Si	No	3
Información de rendimientos teóricos o estimados en proyectos pasados	Información de rendimientos reales	No	No	2
Rendimientos teóricos o estimados en proyectos pasados	Información de rendimientos reales a nivel global	Si	Si, pero a nivel global, en base a resultados reales	1
Rendimientos teóricos o estimados en proyectos pasados	Información de rendimientos reales sólo si hay errores	Si	Corregida en el pasado, pero que ya no se actualiza	1
Rendimientos norteamericanos por cuadrilla	Información de rendimientos reales por cuadrilla	Si (incompleta)	Si, corrección a nivel detallado según resultados reales	1
Rendimientos teóricos o estimados en proyectos pasados	Información de rendimientos reales a nivel detallado	No	Si, corrección a nivel detallado según resultados reales	1

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3-3 se muestra una caracterización de las empresas entrevistadas, según el ajuste que se realiza a los rendimientos antes de utilizarlos en una nueva estimación, la base del criterio de este ajuste y los participantes involucrados. La información obtenida de las entrevistas, indica que hay 3 empresas que no realizan ningún tipo de ajuste a los rendimientos base para ser utilizados en una nueva

estimación. Lo que hacen es realizar un ajuste a los costos indirectos si son partidas que se subcontratan, y a los costos directos si se realizan con M.O. propia (si aumentan las cuadrillas requeridas para cumplir los plazos establecidos).

Si bien el resto de las empresas realiza un ajuste a los rendimientos con que cuentan antes de utilizarlos en otras obras, falta que el proceso contenga una lista de factores y criterios definidos, pues actualmente estos dependen del proyecto en particular y de la experiencia del estimador que lo realiza.

Tabla 3-3: Procedimiento de estimación de costo directo: Utilización de Rendimientos

Ajuste a rendimientos	Base del criterio de ajuste (datos o experiencia)		Participantes	<i>f</i>
No, sólo altera la duración total del proyecto	-	-	Una o dos personas realizan la estimación y es revisada posteriormente por otros	3
Si	Experiencia de expertos de obra (supervisor, administrador, etc.)	-	Una persona, con aporte solicitado a personas de obra	3
Si	Experiencia de estimadores y expertos de terreno	Datos reales globales	Dos personas estiman, otras apoyan selección entre varios rendimientos disponibles	1
Si	Experiencia de expertos de terreno	Datos reales detallados de reporte de obra	Grupo de estimadores por especialidad, guiados por un líder de estimación	1
Si	Experiencia de expertos en proyectos pasados	Datos reales detallados sin BD	Una persona lo realiza y varias personas lo revisan y corrigen	1

Fuente: Elaboración propia

3.3 Resumen de resultados de entrevistas

Si bien las entrevistas realizadas no permiten establecer un diagnóstico global, es posible detectar información similar a la obtenida en la revisión bibliográfica, la que expone importantes falencias en la estructuración y utilización de la información histórica de los proyectos de construcción.

En particular, es posible notar que los estimadores efectivamente consideran aspectos cualitativos en el desarrollo de los ajustes de rendimientos para realizar estimaciones de nuevos proyectos. Sin embargo, su utilización es establecida en forma individual por cada estimador, pues se basa en su propio conocimiento y experiencia, lo que conlleva a que sea necesario:

- Estandarizar tanto los aspectos cualitativos críticos a considerar, como los criterios de utilización de estos para la definición de rendimientos por actividad estimada.
- Estructurar la información requerida para estimar de forma simple y ordenada, con el fin de facilitar su utilización por los estimadores en predicciones de costos futuras.
- Mejorar el proceso actual de estimación en cuanto a la integración de la información real de obra, para lo que se debe contar con un sistema de retroalimentación permanente con la oficina técnica de terreno.

4. FACTORES Y SUB FACTORES CUALITATIVOS DE CONTEXTO

Para definir la lista de factores más relevantes en los que se basará el resto de la investigación, se siguen tres etapas (Figura 4-1), las que son detalladas a continuación.

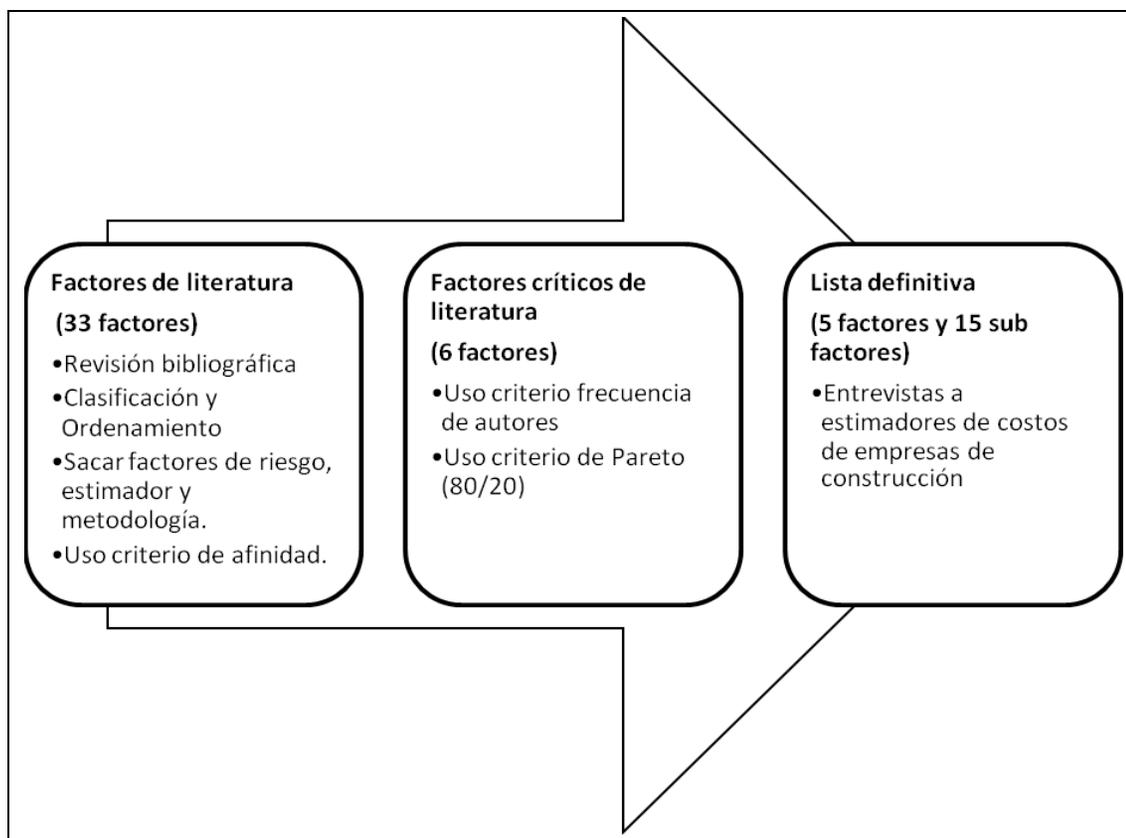


Figura 4-1: Metodología de definición de factores y sub factores de contexto

Fuente: Elaboración propia

4.1 Factores nombrados en la literatura

De acuerdo a la metodología descrita, inicialmente se determina una lista de aproximadamente 200 factores, los que provienen de 26 autores de artículos referidos a la industria de la construcción (18 artículos referentes a la construcción en general, 3 artículos de construcción de carreteras, 1 artículo de mantención de pavimentos, 2 artículos de mega proyectos, 1 de proyectos públicos, y 1 artículo referente a proyectos de caminos, líneas férreas, aeropuertos y puertos). La búsqueda de factores se realiza en función de los siguientes criterios:

- Causas clave de sobrecostos, inexactitud o desviación de la estimación de costos.
- Factores críticos que influyen en el desempeño o resultado de un proyecto.
- Factores que afectan el desempeño de los costos y/o duración de un proyecto.
- Factores típicos que afectan la productividad.
- Factores que inhiben el control efectivo de costos.
- Riesgos globales que pueden afectar los costos.
- Datos que debería contener una base histórica de costos.

Estos factores se clasifican, ordenan y se realizan los siguientes ajustes previos:

- Se sacaron todos los factores relacionados con imprevistos, y se dejaron sólo los que es posible conocer previo al inicio del proyecto.
- Se cambiaron todos los factores que no se pueden medir claramente, por un aspecto reconocible.
- No se incluyen aspectos relacionados con la metodología de estimación de costos, ni con el estimador.

Mediante esta estructuración inicial, se determina una lista de 33 factores (Figura 4-2). Estos se clasificaron de acuerdo a cuatro categorías: Características del

proyecto (14 factores), Entorno (4 factores), Recursos (8 factores) e Involucrados (7 factores). La frecuencia de cada factor por autor se muestra en el Anexo A.

4.2 Factores críticos de la literatura

Con el objetivo de focalizar el estudio en los factores más relevantes, se aplicaron dos criterios que permitieron reducir de 33 factores obtenidos de la literatura, a 6 factores críticos:

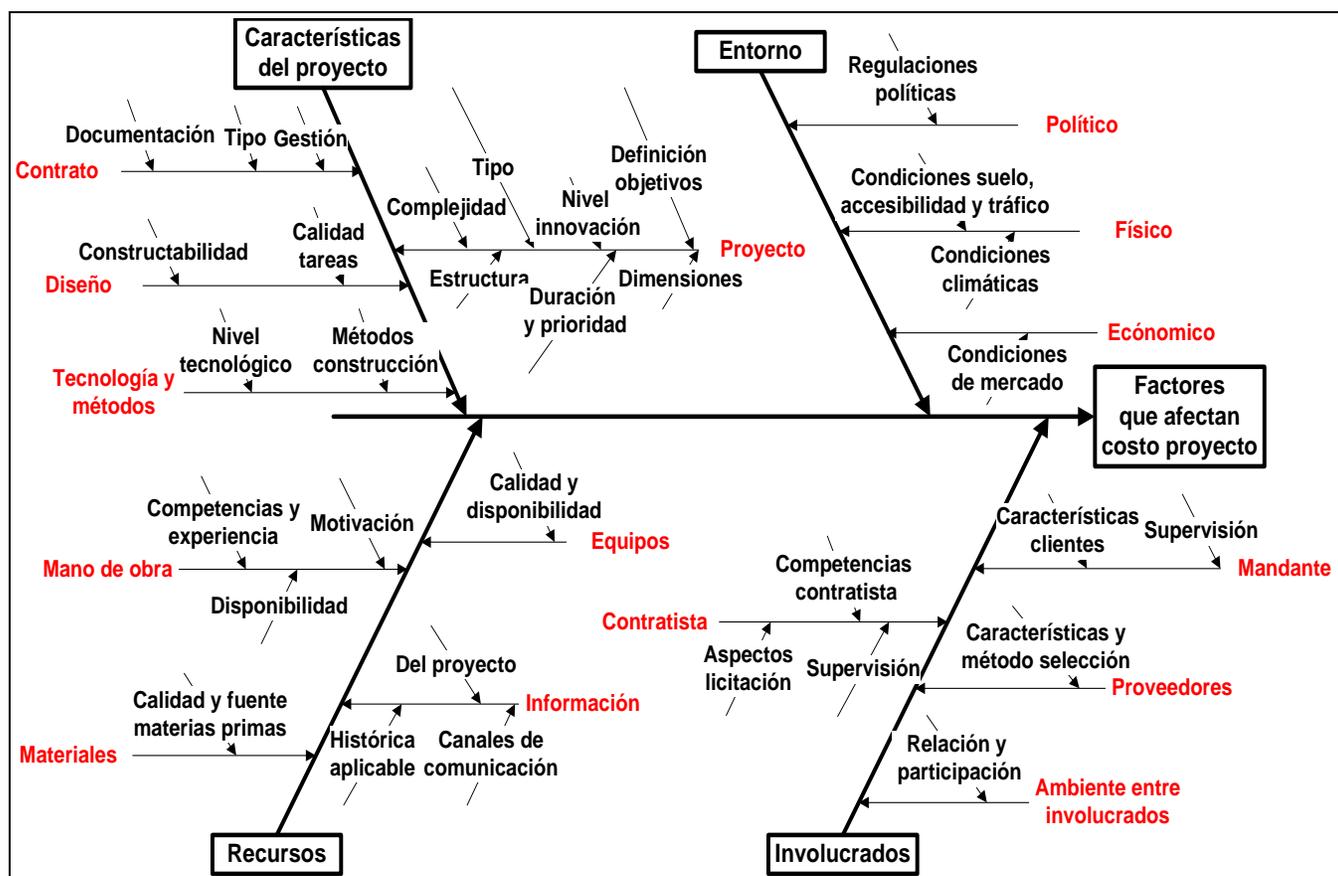


Figura 4-2: Factores que afectan los costos o rendimientos de proyectos de construcción (33 factores)

Fuente: Elaboración propia, basada en la revisión de literatura

- Criterio de Pareto: El 80% de los problemas de costos son causados por un 20% de los factores considerados, es decir, el 20% de 33, 6,6 factores.
- Criterio de frecuencia por autor: Siguiendo la referencia de 6,6 factores, se analiza la frecuencia por autores. Por tanto, se dejan los factores nombrados al menos por 8 autores (Figura 4-1). La frecuencia de cada factor por autor para cada factor se muestra en el Anexo B.

Tabla 4-1: Frecuencia de los 33 factores por autores

Factor nombrado con frecuencia mayor o igual a:	Cantidad de factores
1	33
2	30
3	25
4	22
5	13
6	10
7	9
8	6
9	5
10	3

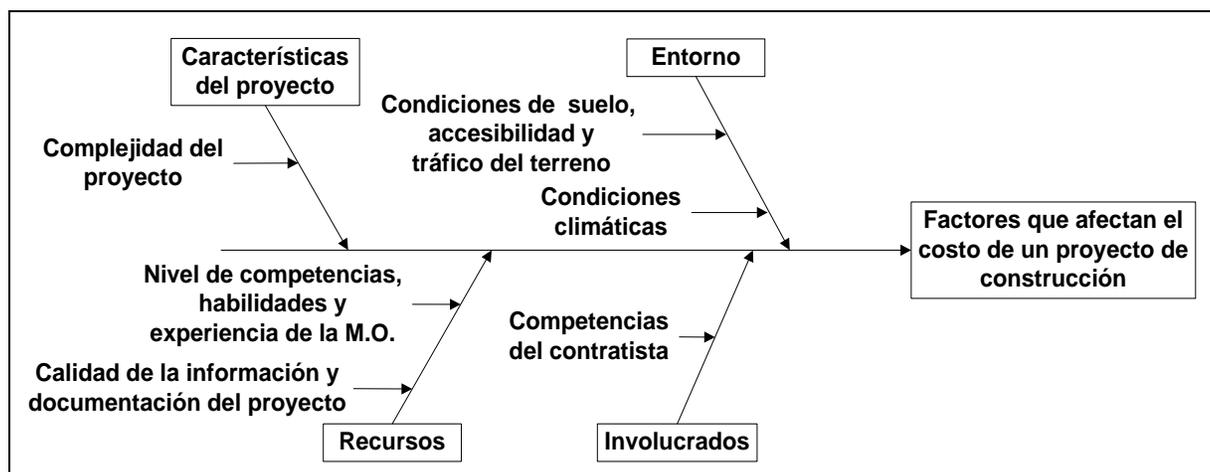


Figura 4-3: Factores que afectan los costos o rendimientos de proyectos (6 factores)

Fuente: Elaboración propia, basada en la revisión de literatura

4.3 Listado definitivo de factores

A partir de las entrevistas descritas en el capítulo anterior, se obtiene lo siguiente:

- Los entrevistados seleccionan 5 factores principales, dejando siempre fuera el sexto factor de competencias del contratista. El Anexo C muestra los resultados obtenidos al solicitar que seleccionen 3 de los 6 factores.
- Para establecer los aspectos relevantes a considerar por cada factor crítico, se pidió a los entrevistados que los indicaran según su experiencia. Con ello se obtuvo un listado de los principales sub factores a considerar por cada factor.

Estos 5 factores y 15 sub factores críticos se estructuran en la Figura 4-4.

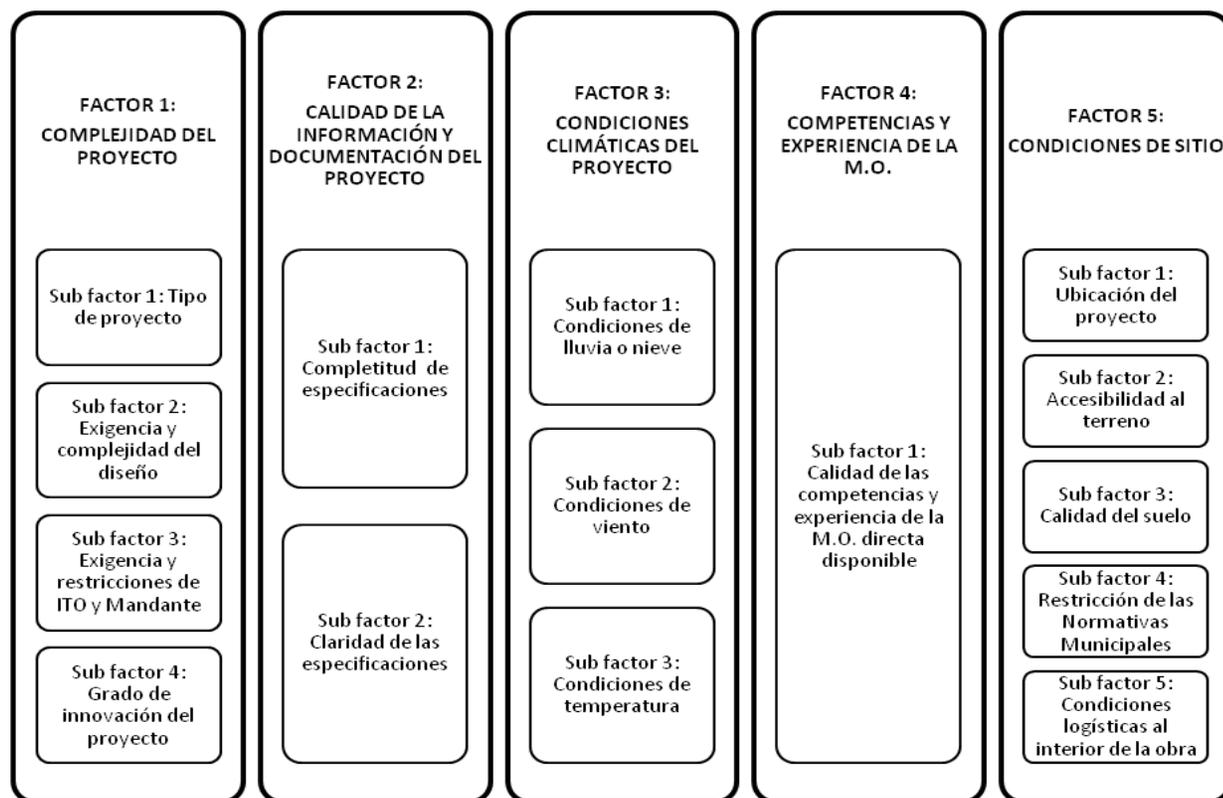


Figura 4-4: Factores y sub factores críticos de costos o rendimientos de proyectos de construcción (5 factores y 15 sub factores)

Fuente: Elaboración propia

4.4 Resumen de factores cualitativos identificados

El primer paso para definir un criterio de incorporación de aspectos cualitativos al proceso de estimación de costos, consiste en definir los aspectos que se propone considerar.

La metodología utilizada para determinar los factores de contexto más críticos (aquellos que tienen la mayor influencia sobre los rendimientos y los costos de los proyectos de construcción) fue la siguiente:

- Definir un listado extenso de factores a partir de una revisión bibliográfica (aproximadamente 200 factores, de 26 autores).
- Ordenar, clasificar y fusionar aspectos semejantes, según criterio de afinidad. Se obtienen 33 factores, clasificados de acuerdo a Proyecto, Entorno, Recursos e Involucrados.
- Acotar este listado a través de la utilización conjunta de los criterios de frecuencia mínima de autores y de Pareto. El resultado son 5 factores principales.
- Validar los factores obtenidos y definir los principales aspectos a considerar por cada uno, a través de entrevistas a expertos estimadores de costos de la industria de la construcción. Como resultado de esto, se elimina el factor Competencias del contratista, por lo que se definen como genéricos los factores:
 - F1: *Complejidad del proyecto (4 sub factores).*
 - F2: *Calidad de la información y documentación del proyecto (2 sub factores).*
 - F3: *Condiciones climáticas del proyecto (3 sub factores).*
 - F4: *Competencias y experiencia de la M.O (1 sub factor).*
 - F5: *Condiciones de sitio (5 sub factores).*

5. MODELO DE CONTEXTO

5.1 Descripción del Modelo de Contexto

El Modelo de Contexto se realizó para definir el contexto en el que se desarrolla un proyecto de construcción. Está conformado principalmente por una matriz de factores y sub factores, además de las condiciones asociadas a cada uno de estos (Tabla 5-1), componentes que se describen a continuación.

Tabla 5-1: Estructura genérica del Modelo de Contexto propuesto

Factores de contexto	Sub factores de contexto	Variable por sub factor	Definición de condición	Valor asociado a la condición	Proyectos de construcción			
					P_1	P_2	...	P_z
f_1	sf_{11}	V_{11}	$def. cond._{111}$	1	p	1		2
			$def. cond._{112}$	2				
						
	sf_{12}	V_{12}	$def. cond._{121}$	1	1	q		q
						
			$def. cond._{12q}$	q				
...						
f_2	sf_{21}	V_{21}	$def. cond._{211}$	1	r	1		1
						
			$def. cond._{21r}$	r				
...						
...				
f_n	sf_{n1}	V_{n1}	$def. cond._{n11}$	1	1	1		3
				
	sf_{nm}	V_{nm}	$def. cond._{nm1}$	1	1	k		1

Fuente: Elaboración propia

La estructura genérica del Modelo de Contexto compone de:

- *Factores y sub factores de contexto*: Variables críticas de contexto identificadas. De forma genérica se proponen 5 factores y 15 sub factores de contexto, descritos en el capítulo anterior. Como se verá posteriormente en detalle, este listado puede ser modificado de acuerdo al criterio y experiencia de cada organización.
- *Variable por sub factor*: Como los 15 sub factores de contexto del modelo propuesto son variables cualitativas, los valores que pueden tener corresponden a las definiciones de condiciones de contexto posibles. Estas definiciones de condiciones alternativas se construyen en base una variable por sub factor, que indica los aspectos más relevantes que la determinan. Las variables del Modelo de Contexto propuesto se desarrollaron con la información levantada en las entrevistas realizadas (ver Tablas 5-2, 5-3, 5-4, 5-5 y 5-6).

Tabla 5-2: Variables por sub factor-Complejidad del proyecto

Factor: Complejidad del proyecto	
<i>Sub factor</i>	<i>Variable que define las condiciones posibles</i>
Tipos de proyecto	Proyectos que realiza la empresa según su grado de complejidad.
Exigencia y complejidad del diseño estructural y arquitectónico	Simplicidad y variabilidad de la geometría del diseño estructural y arquitectónico, pues tiene relación directa con la repetición y aprendizaje posibles.
Nivel de exigencia y restricciones de ITO o mandante	Cantidad y frecuencia de documentación, procedimientos, manuales o protocolos exigidos en relación a la seguridad, y calidad o medio ambiente, pues afecta la continuidad de avance.
Grado de innovación del proyecto	Unicidad del diseño, materiales, tecnología o metodología, para la empresa o para el mercado en general, por los expertos disponibles, etc.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-3: Variables por sub factor-Calidad de la información y documentación del proyecto

Factor: Calidad de la información y documentación del proyecto	
<i>Sub factor</i>	<i>Variable que define las condiciones posibles</i>
Compleitud de las especificaciones	Avance de ingeniería, en relación a la información que se requiere para hacer el estudio del proyecto.
Claridad de las especificaciones	Grado de auto explicación y coherencia de la información disponible en las especificaciones.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-4: Variables por sub factor-Condiciones climáticas del proyecto

Factor: Condiciones climáticas del proyecto	
<i>Sub factor</i>	<i>Variable que define las condiciones posibles</i>
Lluvia o nieve	Frecuencia de ocurrencia dentro de la duración del proyecto, que implique la detención de la obra
Viento	Frecuencia de ocurrencia de vientos por sobre la velocidad permitida para realizar maniobras de montaje al aire libre.
Temperatura	Tiempo de exposición a temperaturas extremas (sobre 30° o bajo 0°) en relación a la duración del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-5: Variables por sub factor-Competencias y experiencia de la mano de obra

Factor: Competencias y experiencia de la mano de obra	
<i>Sub factor</i>	<i>Variable que define las condiciones posibles</i>
Calidad de las competencias y experiencia de la M.O. disponible	Experiencia y competencias de la M.O. directa, justificada a través de la experiencia en obras anteriores con la empresa o con documentación asociada (CV, certificaciones o finiquito anterior).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-6: Variables por sub factor-Condicion de sitio

Factor: Condiciones de sitio	
<i>Sub factor</i>	<i>Variable que define las condiciones posibles</i>
Ubicación del proyecto	Distancia a un centro productivo, por efecto sobre el transporte de insumos y mano de obra.
Accesibilidad al terreno	Nivel de tráfico y características físicas del acceso, por los tiempos de espera que se puedan generar al ingresar o salir de la obra.
Calidad del suelo	Tipo de suelo y profundidad del nivel freático, pues requiere actividades extras, demoras, etc.
Restricción de las normativas municipales	Imposición de horarios de emisión de ruido o tránsito, dado que afecta la jornada de trabajo y el flujo exterior cercano a la obra.
Condiciones de logística al interior de la obra	Regularidad de la topografía, conectividad entre puntos importantes de la obra o tamaño del espacio interior, pues afectan el flujo interior de la obra.

Fuente: Elaboración propia

- *Definiciones de contexto:* El propósito de las definiciones de valores posibles por cada sub factor, es proveer información que caracterice aproximadamente las condiciones en que se desarrollará o ejecutará el proyecto en estudio, ya que con una descripción convencional en términos cuantitativos, sería muy complejo de hacer, o probablemente quedaría mal definido (Baloi y Price, 2003). Por tanto, para definir el contexto de un proyecto histórico o a estimar, el estimador debe seleccionar una de las alternativas de condición definidas para cada sub factor, según la situación que mejor lo represente.
- *Valor asociado a la condición:* Por otro lado, cada condición tiene asociado un número entero positivo, el que posteriormente servirá para calcular la similitud entre el proyecto bajo estudio, y los proyectos de la base de datos histórica. Luego, por cada sub factor serán ordenadas las condiciones de más a menos favorable, para lo que se les asignarán números desde el 1 en adelante

(mientras más desfavorable sea la condición posible, mayor será el número asociado).

Para visualizar mejor el Modelo de Contexto, se muestran ejemplos de su aplicación a dos sub factores de contexto (ver Tabla 5-7 y Tabla 5-8). El Modelo de Contexto desarrollado para los 5 factores y los 15 sub factores críticos de contexto se muestra en el Anexo D.

Tabla 5-7: Condiciones posibles para Grado de innovación del proyecto

Factor 1: Complejidad del Proyecto	
Sub factor	Condiciones posibles (ordenadas de menos a más favorable)
Grado de innovación del proyecto	Proyecto con diseño, materiales, tecnología o metodología de ejecución muy diferente a los realizados por la empresa o por la industria en general, por lo que es bastante difícil conseguir personal con el conocimiento adecuado o reutilizar experiencias pasadas .
	Proyecto con diseño, materiales, tecnología y metodología compuesta por algunos aspectos novedosos y otros semejantes a los realizados con anterioridad por la empresa o en la industria en general, por lo que es necesario buscar expertos sólo en algunas materias. Existe conocimiento pasado para reutilizar en varios aspectos.
	Proyecto con diseño, materiales, tecnología y metodología de ejecución bastante similar a otros realizados por la empresa o en la industria en general, por lo que existen múltiples expertos disponibles y es posible reutilizar conocimiento pasado en la mayoría de los componentes de la obra.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-8: Condiciones posibles para Claridad de las especificaciones

Factor 2: Calidad de la Información y Documentación del Proyecto	
Sub factor	Condiciones posibles (ordenadas de menos a más favorable)
Claridad de las especificaciones	Las especificaciones entregadas tienen incoherencias , aspectos que no quedan bien definidos o información ambigua en muchos componentes o en partes críticas del proyecto.
	Las especificaciones entregadas tienen incoherencias , aspectos que no quedan bien definidos o información ambigua en pocos componentes o en partes que no son críticas del proyecto.
	Las especificaciones entregadas se auto explican y son coherentes entre sí, por lo que no genera dudas ni problemas de interpretación.

Fuente: Elaboración propia

5.2 Resumen del Modelo de Contexto propuesto

Se diseñó un modelo con el objeto de establecer de forma más objetiva y consistente el contexto de ejecución de los proyectos de construcción. El Modelo de Contexto genérico propuesto se compone de los factores y sub factores críticos definidos en el capítulo anterior, además de las alternativas posibles de condición por cada sub factor. Estas definiciones de alternativas de contexto corresponden a los valores que pueden tomar los sub factores, puesto que son variables cualitativas, y se construyeron en base a las entrevistas realizadas a los estimadores de costos.

De esta manera, para cada proyecto histórico o proyecto que se requiere estimar, se puede establecer su contexto de ejecución, a través de la selección por sub factor de las definiciones que mejor se ajustan al proyecto en cuestión.

6. METODOLOGÍA DE INCORPORACIÓN DE FACTORES CUALITATIVOS A LA ESTIMACIÓN DE COSTOS

La metodología propuesta define la forma de estructurar la información de los proyectos históricos, y establece un criterio para seleccionar y entregar la información de los proyectos históricos más relevantes para la estimación del nuevo proyecto.

La metodología está basada, por una parte en el Modelo de Contexto definido, y por otra, en un método para determinar la similitud entre proyectos de construcción. Las funciones principales de esta son:

- 1) La estructuración de la información de proyectos históricos: Referida a la conformación de la base de datos histórica de proyectos.
- 2) El procesamiento y entrega de la información: Especificación de las funciones de selección, recuperación y utilización de la información histórica disponible para la estimación de un proyecto en particular.

6.1 Estructuración de la información de proyectos históricos

Para estructurar la información histórica, el estimador primero debe realizar ajustes al Modelo de Contexto genérico definido, con el objeto de enfocarlo a la realidad y a los tipos de proyectos de construcción de su organización o empresa.

Estos ajustes se realizan a:

- Factores de contexto: sacar, incorporar o descomponer factores o sub factores de contexto propuestos de forma genérica.
- Condiciones: precisar la definición de las condiciones posibles, agregar nuevas condiciones posibles, sacar las que no aplican a su realidad o descomponer con mayor detalle las propuestas.

Segundo, la organización debe conformar y retroalimentar permanentemente con información real una Base de Datos histórica de proyectos compuesta por tres tipos de información (Figura 6-1).

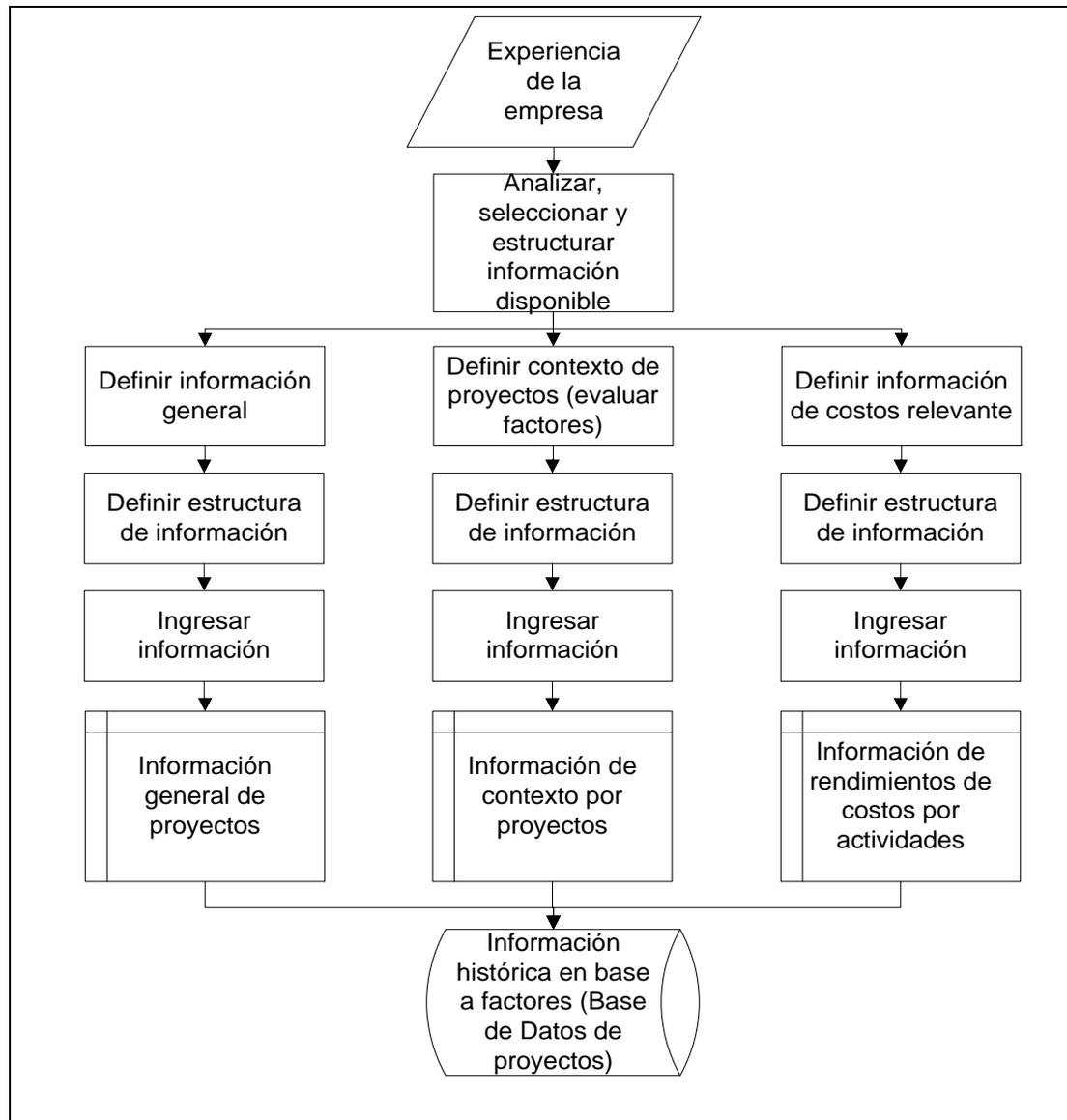


Figura 6-1: Procedimiento para la Estructuración de la información

Fuente: Elaboración propia

- Información general del proyecto: Nombre del proyecto, mandante, fechas de inicio y término estimada y real, ubicación, costo estimado y real, y superficie. El estimador puede agregar la información que considere necesaria.
- Información de contexto por proyecto: Definición del contexto de ejecución de cada proyecto, a través de la utilización del Modelo de Contexto definido y ajustado previamente.
- Información de costos reales por actividad: El precio unitario de las actividades o partidas se determina en base a 3 aspectos que se deben documentar (Ver ejemplo de Tabla 6-1):
 - Tamaño de la actividad: Cantidad de unidades que se deben realizar de la actividad o partida en relación a la unidad de control de avance asociada.
 - Recursos utilizados para su ejecución: cantidad y tipo de recursos utilizados para el desarrollo de la actividad en relación a la unidad de cada recurso.
 - Precio unitario de cada recurso utilizado: Precio por unidad de recurso que se utilizó. Este valor es un input para la estimación, y debe ser ingresado previa cotización en cada estimación.

Una vez definida la estructura de la información en la base de datos, es posible definir por cada proyecto los rendimientos históricos de actividades en base a los recursos utilizados para su ejecución. De esta forma, se evita que los rendimientos queden en función de los precios, dado que es un aspecto que varía en el tiempo y por condiciones que pueden ser externas al proyecto.

$$\text{Rendimiento}_{ij} = \frac{\text{Cantidad requerida del recurso}_i}{\text{Cantidad de unidades de partida}_j}$$

Tabla 6-1: Ejemplo de información de costo real por actividad

Cód.	Nombre Partida	Cantidad partida	Unidad partida
H.A.L.	Colocación hormigón armado de losa	100	m3

Cód.	Recursos Partida	Cantidad recurso	Unidad recurso	Rendimiento por recurso	Unidad rendimiento
1	Maquinaria y equipos:				
1.1	Bomba de hormigón	105	m3	1,05	[m3/m3]
1.2	Vibrador de inmersión	40	HM	0,4	[HM/m3]
2	Materiales:				
2.1	Hormigón H-30 954010 (24h)	105	m3	1,05	[m3/m3]
2.2	Fierro doblado A6342H	8200	kg	82	[kg/m3]
2.3	Arriendo moldaje metálico	50	m2	0,5	[m2/m3]
3	Mano de obra:				
3.1	Ayudante	450	HH	4,5	[HH/m3]
3.2	Maestro 1 ^a	150	HH	1,5	[HH/m3]
3.3	Capataz	100	HH	1	[HH/m3]

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, por cada tipo de información requerida, se debe recolectar y adecuar a un formato similar los datos disponibles. Luego, se debe definir una estructura de ordenamiento de la misma.

Posteriormente, se debe ingresar la información histórica requerida y disponible al repositorio de datos. La integración estructurada de esta información compone la base de datos histórica de proyectos.

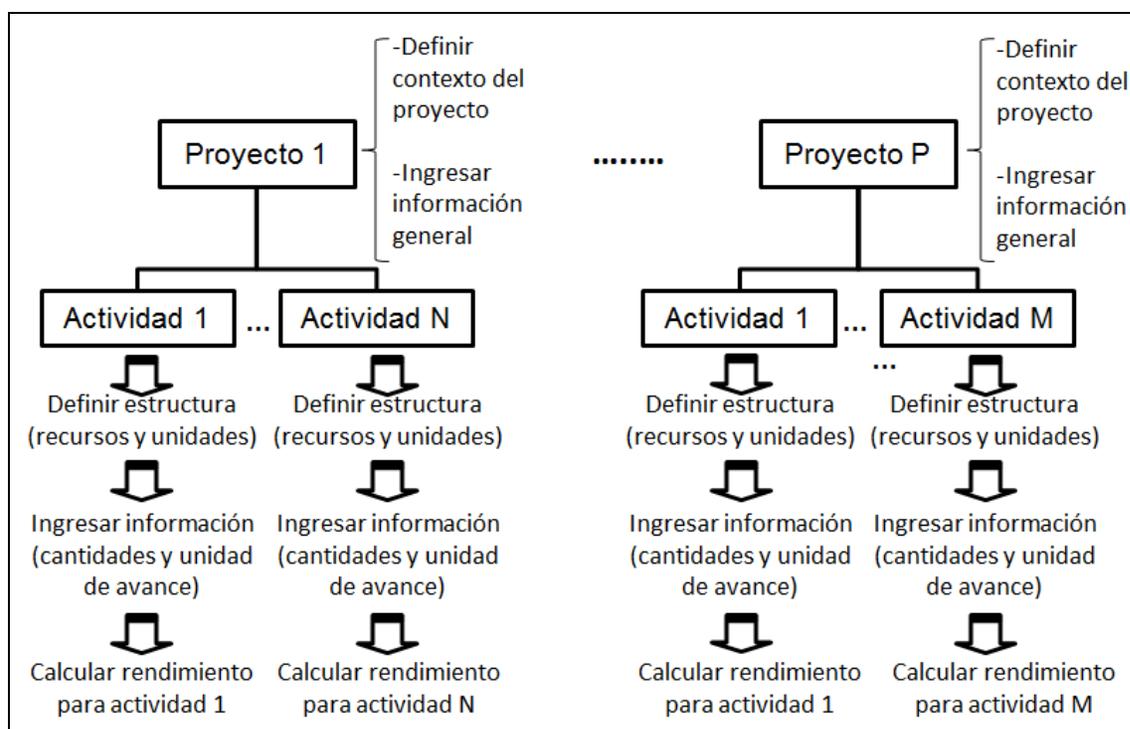


Figura 6-2: Procedimiento para la Estructuración de la información

Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la Figura 6-2, la información de contexto y la información general es a nivel de proyecto, es decir, es común para cada actividad perteneciente al proyecto. En cambio, la información de costos es a nivel de actividad, pues los tipos y cantidad de recursos utilizados se diferencian por cada actividad.

Pon tanto, cada proyecto guardado tiene una estructura definida por las actividades que contempló su ejecución. A su vez, cada actividad del proyecto, posee una estructura asociada a los tipos de recursos requeridos para su desarrollo.

6.2 Procesamiento y recuperación de la información

El procesamiento y recuperación de la información de costos se basa en la definición y utilización de un criterio de selección de proyectos históricos, compuesto por una metodología para determinar la similitud entre los contextos de ejecución de los mismos. El objetivo es recuperar la información histórica real de rendimientos de proyectos con la situación más semejante a la prevista para el nuevo proyecto, de manera de servir de apoyo en la toma de decisiones relacionadas con la modificación y reutilización de estos.

Los ajustes que debe realizar el estimador en esta etapa son:

- Definir los pesos relativos de los factores y sub factores de contexto, necesarios para la aplicación del criterio de similitud entre proyectos.
- Realizar diseño y ajustes de contenidos y formato de los reportes según lo que se requiera.
- Definir un valor de similitud mínima requerida entre el proyecto a estimar y los proyectos históricos.

La aplicación de la metodología propuesta, requiere que primero se defina el contexto en que será realizado el nuevo proyecto (basado en el Modelo de Contexto), para luego hacer uso de la información histórica al estimar los rendimientos de sus actividades. Esto implica seleccionar por cada sub factor, la condición que mejor representa el contexto.

Como cada una de estas condiciones por seleccionar tiene asociado un número, la metodología asocia automáticamente a este proyecto los números correspondientes a las condiciones elegidas.

Con estos números es posible determinar la similitud existente entre el nuevo proyecto a estimar, y cada uno de los proyectos que componen la Base de Datos histórica. Este proceso es la base de la selección, ajuste y utilización de la información disponible y se explica con más detalle en el punto 6.2.1.

Luego, se entregan reportes con información general y con los rendimientos de actividades de los proyectos históricos seleccionados según los resultados de similitud.

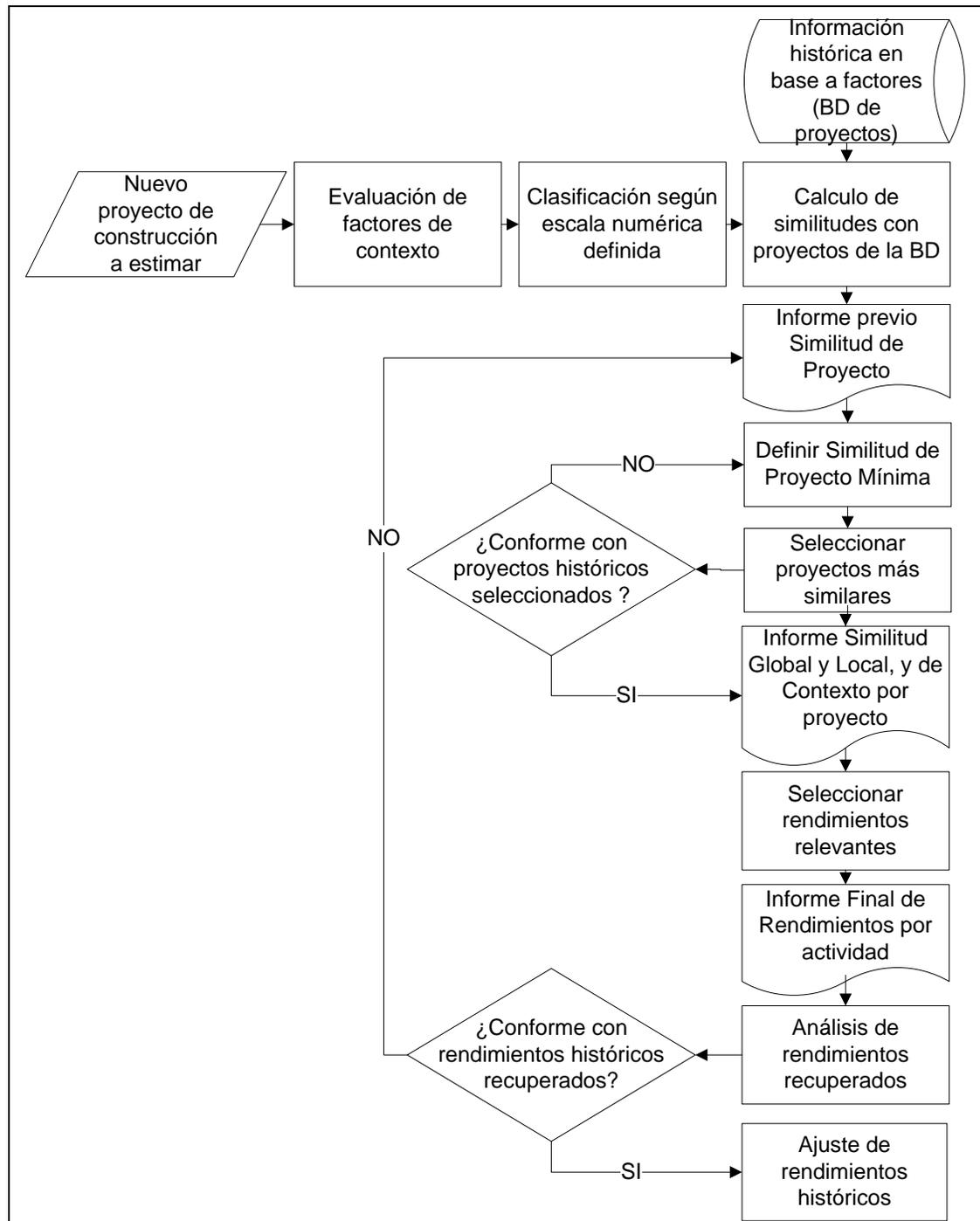


Figura 6-3: Procedimiento para Procesamiento y recuperación de la información

Fuente: Elaboración propia

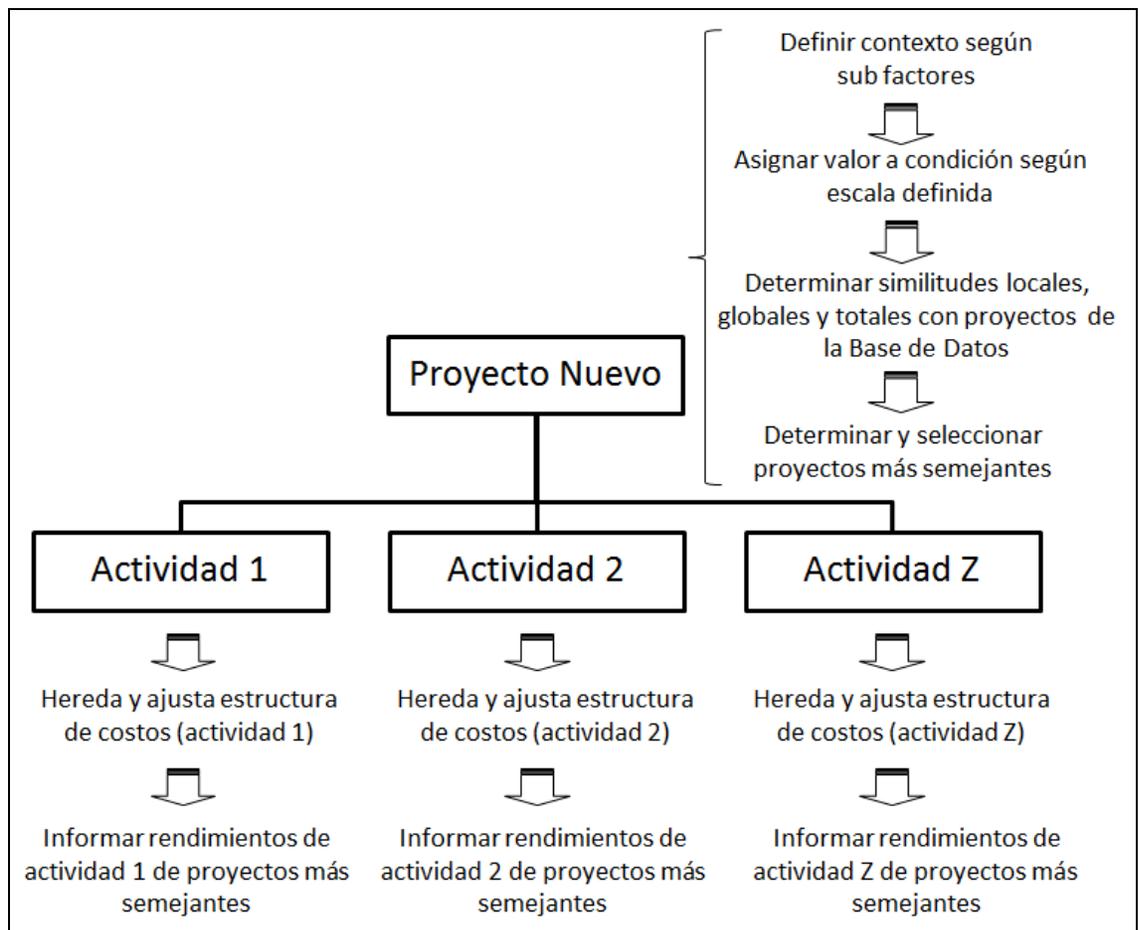


Figura 6-4: Procedimiento para Procesamiento y recuperación de la información

Fuente: Elaboración propia

Previo a la determinación de similitud, el estimador debe definir la lista de actividades pertenecientes al nuevo proyecto que desea estimar.

Como indica la Figura 6-4, la similitud se determina a nivel de proyectos y en base a los contextos de ejecución definidos. De acuerdo a la información histórica disponible más semejante, las actividades a estimar heredan una estructura de recursos propuesta, que puede ser ajustada por el estimador.

Finalmente, cada actividad perteneciente al nuevo proyecto, recibe información de rendimientos históricos de los proyectos de construcción con contextos más semejantes, además de información referente a la semejanza detallada y evaluación de contexto asociados. A medida que se aplica la metodología y se analiza la información recuperada, es posible volver a definir la Similitud de Proyecto mínima, con el fin de recuperar proyectos de acuerdo a la necesidad del estimador y la calidad de la información disponible.

6.2.1 Criterio de Similitud entre proyectos

La determinación de la similitud entre proyectos se basa en el uso del criterio utilizado por Serpell (2010) y por Chou (2009), donde la similitud global es construida sobre un número de llamadas funciones de similitud local, una por cada atributo descriptivo del proyecto involucrado. De esta forma, la similitud global entre dos casos es calculada como la suma según pesos de las similitudes locales.

Para la metodología propuesta, se determina primero la Similitud Local entre sub factores, posteriormente la Similitud Global entre factores y finalmente, la Similitud entre proyectos.

$$\begin{aligned}
 \text{Sim Local } (P_{ij}, Q_{ij}) &= 1 - \frac{\text{dist}(V_{Pij}, V_{Qij})}{R_{\max}} \\
 &\Downarrow \\
 \text{Sim Global } (P_j, Q_j) &= \frac{\sum_{i=1}^n wsf_i * \text{Sim Local } (P_{ij}, Q_{ij})}{\sum_{i=1}^n wsf_i} \\
 &\Downarrow \\
 \text{Sim Proyecto } (P, Q) &= \frac{\sum_{i=1}^n wf_i * \text{Sim Global } (P_i, Q_i)}{\sum_{i=1}^n wf_i}
 \end{aligned}$$

•*Similitud Local (a nivel de sub factores de contexto):*

$$Sim Local (P_{ij}, Q_{ij}) = 1 - \frac{dist(V_{Pij}, V_{Qij})}{R_{max}} = \frac{Abs(V_{Pij} - V_{Qij})}{R_{max}}$$

P: Proyecto input (el que se desea estimar).

Q : Es uno de los proyectos de la base de datos históricos.

i: Es un sub factor individual que pertenece al factor j.

j: Es un factor individual.

dist (V_{Pij}, V_{Qij}): Abs(V_{Pij} - V_{Qij})

Abs: Valor absoluto

Rmax: Máximo valor de la base de datos para el sub factor dado – mínimo valor de la base de datos para el sub factor dado

V_{Pij}: Es el valor asociado a la condición del sub factor i perteneciente al factor j del proyecto P.

V_{Qij}: Es el valor asociado a la condición del sub factor i perteneciente al factor j del proyecto Q.

Sim Local: Es la función de similitud entre proyectos, a nivel de sub factor.

•*Similitud Global (a nivel de factores de contexto):*

$$Sim Global (P_j, Q_j) = \frac{\sum_{i=1}^n wsf_i * Sim Local (P_{ij}, Q_{ij})}{\sum_{i=1}^n wsf_i}$$

P : Proyecto input (el que se desea estimar).

Q : Es uno de los proyectos de la base de datos histórica.

n: Es el número de sub factores de contexto que pertenecen al mismo factor

i: Es un sub factor individual de 1 a n, que pertenecen al factor j.

wsfi: Es la función del peso relativo del sub factor de contexto i.

Sim Global: Es la función de similitud entre proyectos, a nivel de factor.

•Similitud de Proyecto (a nivel de proyecto):

$$Sim\ Proyecto\ (P,Q) = \frac{\sum_{i=1}^n wf_i * Sim\ Global\ (P_i,Q_i)}{\sum_{i=1}^n wf_i}$$

P : Proyecto input (el que se desea estimar).

Q : Es uno de los proyectos de la base de datos históricos.

n: Es el número de factores de contexto (5 genéricos, si no se agrega o saca alguno).

i: Es un factor individual de 1 a n.

wfi: Es la función del peso del factor de contexto i.

Sim Global: Es la función de similitud entre factores.

Para visualizar mejor la determinación de la similitud, se muestra un pequeño ejemplo del cálculo de similitud entre un proyecto A y otro B, con el supuesto de que sólo hay 2 factores de contexto relevantes.

Tabla 6-2: Ejemplo de contexto de proyecto A y proyecto B

Factores de contexto	Peso relativo factor	Sub factores de contexto	Peso relativo de sub factor	Definición de condición	Valor de la condición	Proyectos	
						P_A	P_B
f_1	0,3	sf_{11}	0,1	<i>def. cond.</i> _{.111}	1	1	1
				<i>def. cond.</i> _{.112}	2		
		sf_{12}	0,9	<i>def. cond.</i> _{.121}	1	3	1
				<i>def. cond.</i> _{.122}	2		
<i>def. cond.</i> _{.123}	3						
f_2	0,7	sf_{21}	1	<i>def. cond.</i> _{.211}	1	2	4
				<i>def. cond.</i> _{.212}	2		
				<i>def. cond.</i> _{.213}	3		
				<i>def. cond.</i> _{.214}	4		

Fuente: Elaboración propia

$$Sim Local (A_{11}, B_{11}) = 1 - \frac{dist(V_{A11}, V_{B11})}{R_{max}} = 1 - \frac{1 - 1}{2 - 1} = 100\%$$

$$Sim Local (A_{12}, B_{12}) = 1 - \frac{dist(V_{A12}, V_{B12})}{R_{max}} = 1 - \frac{3 - 1}{3 - 1} = 0\%$$

$$Sim Local (A_{21}, B_{21}) = 1 - \frac{dist(V_{A21}, V_{B21})}{R_{max}} = 1 - \frac{4 - 2}{4 - 1} = 33\%$$



$$Sim Global (A_1, B_1) = \frac{\sum_{i=1}^2 wsf_i * Sim Local (A_{ij}, B_{ij})}{\sum_{i=1}^2 wsf_i} = 0,1 * 100\% + 0,9 * 0\% = 10\%$$

$$Sim Global (A_2, B_2) = \frac{\sum_{i=1}^1 wsf_i * Sim Local (A_{ij}, B_{ij})}{\sum_{i=1}^1 wsf_i} = 1 * 33\% = 33\%$$



$$Sim Proyecto (A, B) = \frac{\sum_{i=1}^2 wf_i * Sim Global (A_i, B_i)}{\sum_{i=1}^2 wf_i} = 0,3 * 10\% + 0,7 * 33\% = 26\%$$

6.2.2 Reportes de información al estimador

La metodología contempla el desarrollo de al menos dos tipos de reportes:

1) Reportes necesarios para la estimación de costos de un nuevo proyecto:

- *Reporte preliminar de proyectos históricos:* Se muestra al estimador el resumen de similitudes entre el proyecto a estimar y todos los que contiene la base de datos histórica (mostrados en orden de similitud decreciente).

- *Reporte de rendimientos por actividades solicitadas:* Informe con valor máximo, mínimo y promedio de rendimientos por actividades a estimar, obtenidos de resultados reales de proyectos más similares (hasta el valor de corte mínimo de similitud de proyecto establecido). En este también se entrega el detalle de similitud y la evaluación de contexto por proyecto, para conocer las causas de las diferencias.

En base a éstos reportes, el estimador realiza un análisis y estima los rendimientos asociados a cada actividad del nuevo proyecto. Este análisis debe contemplar: el nivel de similitud entre proyectos, el nivel de dificultad del contexto en sí, y el tamaño de la actividad.

2) Reportes para análisis posterior al término de un proyecto:

- *Reporte de comparación entre lo estimado y lo real:* Se entrega información de rendimientos estimados y reales. Para contar con los rendimientos reales, se requiere previa retroalimentación de la base de datos con los resultados efectivamente obtenidos luego de la ejecución del proyecto estimado.

Si existe una diferencia importante entre los rendimientos previstos y los reales se deben analizar las causas asociadas a estas desviaciones. Si estas causas se deben a falencias del actual esquema definido, se deben realizar los ajustes correspondientes. Estos ajustes pueden implicar modificar el modelo de contexto, es decir, los factores, sub factores o definiciones de condiciones utilizadas, o modificar la metodología de incorporación de estos, referido a los pesos relativos de factores y sub factores o el nivel de semejanza mínimo de proyecto considerado.

En otros casos, las causas pueden deberse a que algún aspecto previsto del contexto no se cumplió en la realidad; a que falta enriquecer la base de datos histórica en cuanto a la calidad o cantidad de proyectos y datos; a la utilización inadecuada de la información entregada por la metodología, en caso de que no se consideren los aspectos relevantes en su totalidad para definir los nuevos rendimientos; o simplemente a aspectos externos que son impredecibles, tales como la ocurrencia de terremotos u otros eventos de estas características.

6.3 Resumen de la metodología propuesta

La metodología desarrollada busca definir criterios que permiten incorporar el contexto de ejecución de los proyectos de construcción al proceso de estimación de costos. Esto se realiza a través de la utilización de los principales factores cualitativos de contexto que ejercen influencia sobre los costos y rendimientos.

La metodología indicada se compone a modo general del Modelo de Contexto definido en el capítulo anterior y de la utilización de un método para calcular la similitud entre los contextos de ejecución de los proyectos de construcción.

Esta metodología describe dos aspectos relevantes para su aplicación adecuada:

- *La estructuración de la información requerida de los proyectos históricos*, correspondiente a la conformación de la Base de Datos. Esta se compone de la información general de los proyectos, la información del contexto de ejecución del mismo y la información de costos reales (a través de esta se define el rendimiento por actividad). Previo a esto, se recomienda a cada empresa que realice los ajustes correspondientes a los factores y sub factores de contexto genéricos, además de las condiciones alternativas definidas por cada uno, con el fin de adecuar la metodología a su realidad.

- *El procesamiento y recuperación de la información*, indica que la utilización de la información histórica debe considerar el contexto de ejecución de los proyectos, dado que este ejerce una influencia importante sobre los rendimientos que se obtienen. Por tanto, al estimar los rendimientos de un nuevo proyecto, primero se deben seleccionar los proyectos históricos con el contexto más semejante. Segundo, para la utilización de los rendimientos recuperados de estos, se debe considerar un ajuste debido a las diferencias de contexto con el nuevo proyecto, indicadas por el método utilizado para calcularla.

7. APLICACIÓN DE METODOLOGÍA PROPUESTA EN UNA EMPRESA

Para validar la aplicabilidad de la metodología, se utilizó información real obtenida de una empresa que desarrolla proyectos de montaje industrial para mineras. El trabajo de recolección y ordenamiento de la información requerida, además de los ajustes necesarios al Modelo de Contexto y metodología propiamente, se desarrolló en conjunto con un Ingeniero *Trainee*, supervisado por Jefe de Departamento de Estudios de Proyectos.

En este capítulo se presenta una pequeña descripción de la empresa con la que se trabajó, una descripción paso a paso de las actividades realizadas para aplicar la metodología propuesta y los principales resultados que se obtuvieron de esta.

7.1 Descripción de la empresa

Tabla 7-1: Descripción de empresa

Año de fundación	1989
Tipos de proyectos que realiza	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción y actualización de plantas mineras e industriales. • Servicios de mantenimiento y operaciones de plantas mineras e industriales.
Facturación anual aprox.	US\$ 50 millones
Cantidad de trabajadores	1.000-1.500 contratados, 150 staff
Gestión de la Calidad	Sistema de Aseguramiento de Calidad basado en ISO 9001.
Seguridad y medio ambiente	Ganadora de múltiples galardones en Prevención de Riesgos a nivel nacional (mejores índices de Seguridad de la Industria Chilena).

Fuente: Basado en datos de página web de la empresa

7.2 Aplicación de la metodología

Para aplicar la metodología propuesta, el esquema define dos aspectos fundamentales y sobre los que se establece el correcto funcionamiento del mismo: la estructuración de la información histórica, y el procesamiento y entrega de la información real disponible, para ser utilizada en una nueva estimación (Figura 7-1). En cada una de estas, el estimador o equipo de estimadores debe desarrollar ajustes iniciales a los componentes propuestos de forma genérica, ir continuamente retroalimentando la información con nuevos proyectos, y finalmente, realizar permanentes mejoras a los aspectos que se requiera.

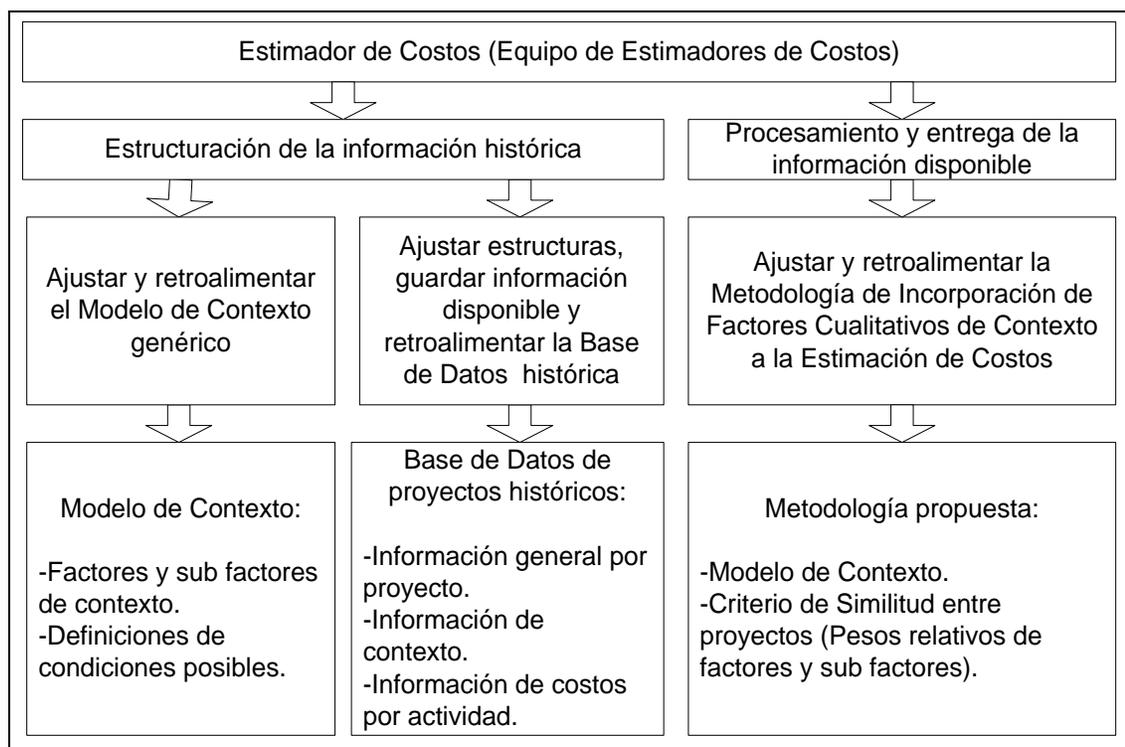


Figura 7-1: Esquema de aplicación de la metodología propuesta

Fuente: Elaboración propia

7.2.1 Estructuración de la información

a) Ajustes al Modelo de Contexto.

Los ajustes al Modelo de Contexto genérico presentado en los capítulos anteriores pueden ser de dos tipos: 1) a los factores y sub factores de contexto considerados, y 2) a las definiciones de condiciones posibles definidas. Los ajustes iniciales realizados al aplicar la metodología en la empresa se describen a continuación:

- *Ajustes a factores y sub factores de contexto de acuerdo a la industria y proyectos:*

Tabla 7-2: Ajustes de empresa a factores y sub factores de contexto generales

<i>Factores o sub factores agregados</i>	
Factor o sub factor	Justificación
Factor: Disponibilidad de equipos. Sub factor: Disponibilidad de equipos (calidad y cantidad).	Los equipos disponibles para la ejecución de la obra, afectan directamente la productividad y tiempos de espera en obras de montaje.
Sub factor: Plazo disponible para ejecutar el proyecto (exigencia e importancia).	El nivel de exigencia e importancia atribuida al plazo del proyecto (multas), determina las metodologías y recursos a utilizar.
Sub factor: Régimen de turnos (tipo de turno de la mano de obra directa).	Los tipos de turno determinan los días la productividad real de la M.O. (por cansancio, por búsqueda de materiales al volver, etc.)
Sub factor: Organización sindical (trabajadores afiliados o no a una organización sindical).	Los sindicatos pueden definir días de huelga o tiempos de espera.
Sub Factor: Altitud.	La altitud afecta directamente el rendimiento de la mano de obra directa.

Tabla 7-2: (Continuación) Ajustes de empresa a factores y sub factores de contexto
generales

<i>Factores o sub factores eliminados</i>	
Factor o sub factor	Justificación
Sub factor: Exigencia y complejidad del diseño estructural y arquitectónico.	Porque la complejidad del diseño se asocia a las actividades a ejecutar.
Sub factor: Normativas Municipales.	Porque no aplican en los lugares donde desarrollan proyectos (faenas mineras).

<i>Factores o sub factores separados</i>	
Factor o sub factor	Justificación
Sub factor: Lluvia y nieve en 2 (lluvia y nieve).	Porque consideran mejor tener los efectos desagregados.
Sub factor: Condiciones de logística en 3 (topografía, conectividad y espacio interior).	Porque consideran mejor tener los efectos desagregados.

Fuente: Elaboración propia

La Figura 7-2 muestra los 6 factores y 21 sub factores que quedan luego de realizar el primer ajuste con la empresa.

- *Ajustes a definición de condiciones posibles:* Se eliminan algunas condiciones propuestas de forma genérica porque no aplican a su realidad, se definen las condiciones para los factores o sub factores agregados o separados (en base a la variable que la determina), y se mejoran otras según su experiencia.

Tabla 7-3: Ajustes de empresa a condiciones posibles de sub factores de contexto

<i>Sub factor</i>	<i>Condiciones eliminadas</i>
Nivel de Exigencia y Restricciones de ITO y mandante	Mejor condición
Plazo disponible para ejecutar el proyecto	Mejor condición
Claridad de las especificaciones	Mejor condición
Disponibilidad de equipos	Peor condición

<i>Sub factor</i>	<i>Condiciones agregadas</i>
Sub factor Disponibilidad de equipos	Variable: calidad y cantidad de equipos disponibles
Plazo disponible para ejecutar el proyecto	Variable: ajuste e importancia atribuida al cumplimiento del plazo establecido (multas)
Régimen de turnos	Variable: turnos típicos de la M.O. directa
Sindicato	Variable: M.O. directa afiliada o no a una organización sindical
Altitud	Variable: rangos de altitudes

<i>Sub factor</i>	<i>Condiciones agregadas</i>
Tipo de proyecto	Corresponder a los proyectos realizados por la empresa
Lluvia y Nieve	Antes se encontraban juntos en sub factor Lluvia o Nieve
Topografía, Conectividad y Espacio interior o interferencia	Antes se encontraban juntos en sub factor Condiciones de logística al interior de la obra
Viento	Se presentan o no vientos con velocidad que implique parar maniobras de montaje
Temperatura	Presencia de temperaturas extremas y fluctuación diaria
Ubicación del proyecto	Tiempo de traslado a centro productivo, en vez de distancia
Calidad del suelo	Sacar nivel freático, pues esto genera una actividad adicional (agotamiento), más que disminuir la productividad o rendimiento

Fuente: Elaboración propia

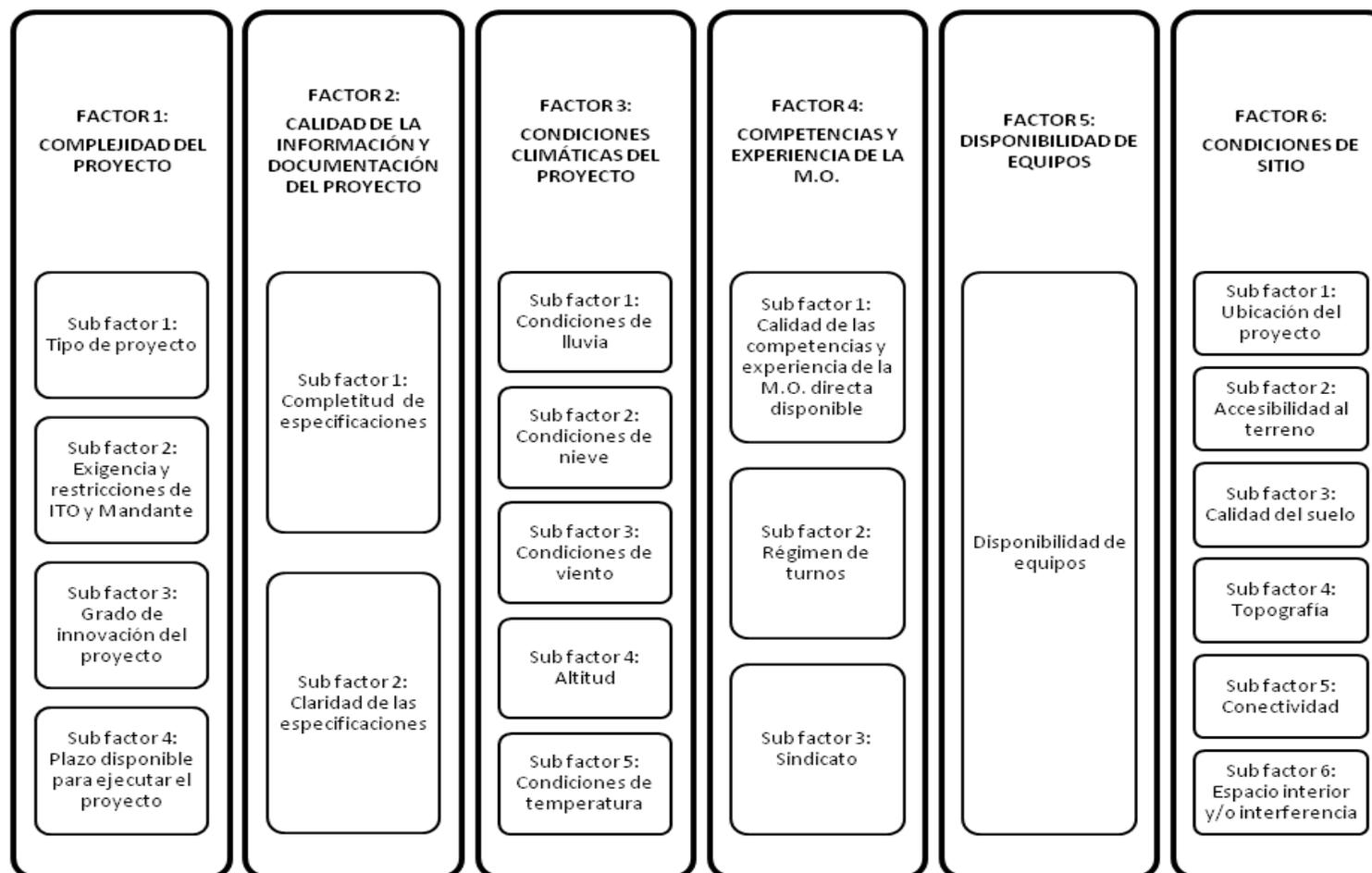


Figura 7-2: Ajuste a factores y sub factores de contexto

Fuente: Elaboración propia

b) Construcción de base de datos de proyectos históricos.

Para ello se realizaron las siguientes actividades:

- *Búsqueda y ordenamiento de proyectos históricos disponibles*: Búsqueda de proyectos disponibles y unificación de formato de la información. La empresa dispone de 7 proyectos con los datos requeridos, de los que se utilizarán 6 para estructurar la base de datos histórica, y 1 como prueba de funcionamiento de la metodología (Tabla 7-4). Los proyectos históricos consideran 14 actividades diferentes (Tabla 7-5 y Tabla 7-6).

Tabla 7-4: Listado de proyectos históricos disponibles

Código	Nombre Proyecto	Resumen descripción
P1	Ampliación Mineroducto a 8"	Construcción y/o modificación de 6 estaciones de válvulas del Mineroducto de concentrado 8".
P2	Construcción Truck Shop	Contrato EPC abordado en Consorcio con otra empresa. Incluye la Ingeniería, Suministros y Construcción de todas las obras requeridas para el Taller de Camiones.
P3	Construcción Planta Flotación de Arenas	Montaje de planta de flotación de arenas, en la que se flotarán las arenas de los relaves frescos de una planta concentradora, para recuperar parte del cobre remanente
P4	Proyecto Hipógeno	Como parte del proyecto Hipógeno para procesamiento de mineral sulfurado, se requiere habilitar bodegas y un sistema de carga de concentrados a bodega de barco en dependencias del Puerto de Coquimbo.
P5	Montaje de Red de Incendio	Montaje de la red de Incendio de una planta Concentradora y los trabajos misceláneos asociados.
P6	Proyecto Estación de Ciclones	Reubicación de estación de Ciclones a una cota superior a la actual. Para esto, se debe construir una estación de bombeo a la salida de la planta concentradora y planta de flotación.
P-P	Proyecto Truck Shop	Contrato para la Construcción y Puesta en Marcha de la Ampliación de Taller de Camiones Mina.

Fuente: Basado en documentación de la empresa

Tabla 7-5: Listado de actividades de proyectos históricos

Especialidad	Actividad	Unidad
Movimiento de tierra	Excavación estructural	m ³
	Excavación en zanja	m y m ³
	Hormigón de fundación	m ³
Obras Civiles	Hormigón de muros y vigas	m ³
	Hormigón de radier	m ³
	Montaje estructura liviana	kg
Estructura metálica	Montaje estructura mediana	kg
	Montaje soportes	kg
Montaje mecánico	Montaje de bombas	un
<i>Pipping</i>	Montaje cañería acero carbono 2" a 4"	m
Electricidad e instrumentación	Instalación conduit	m
	Tendido cables CU malla tierra	m
	Montaje equipos menores	un
	Montaje equipos mayores	un

Fuente: Basado en documentación de la empresa

Tabla 7-6: Datos de actividades por proyecto histórico

Actividad	Unidad	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P-P
Excavación estructural	m3	X	X	X	X		X	
Excavación en zanja	m3	X						
Excavación en zanja	m	X	X			X	X	X
Hormigón de fundación	m3	X	X	X	X	X	X	X
Hormigón de muros y vigas	m3		X	X	X		X	X
Hormigón de radier	m3	X			X		X	X
Montaje estructura liviana	kg	X	X		X		X	X
Montaje estructura mediana	kg		X	X			X	X
Montaje soportes	kg	X				X	X	
Montaje de bombas	un	X	X		X			
Montaje cañería acero carbono 2" a 4"	m		X	X	X	X		
Instalación conduit	m	X		X	X		X	X
Tendido cables CU malla tierra	m	X	X	X	X		X	X
Montaje equipos menores	un	X	X		X			X
Montaje equipos mayores	un	X	X		X			

Fuente: Basado en documentación de la empresa

- *Búsqueda de información general de proyectos históricos:* Nombre del proyecto, mandante, fechas de inicio y término real, ubicación, costo estimado y real. El estimador puede agregar las que considere necesarias (ver Tabla 7-7).

Tabla 7-7: Información general de proyectos históricos

N°	P1		P2	P3	P4	P5	P6
Nombre proyecto	Ampliación Mineroducto a 8"		Construcción Truck Shop	Construcción Planta Flotación de Arenas	Proyecto Hipógeno	Proyecto Montaje Red de Incendio	Proyecto Estación de Ciclones
Tipo de contrato	Suma alzada y serie de precios unitarios fijos		Contrato EPC abordado en consocio	Suma alzada y serie de precios unitarios	Suma alzada y serie de precios unitarios	Serie de precios unitarios	Suma alzada
Comuna	Pica	Iquique	Sierra Gorda	Nogales	Coquimbo	Calama	Nogales
Región	Tarapacá		Antofagasta	Valparaíso	Coquimbo	Antofagasta	Valparaíso
Distancia de referencia	200 km al O de Iquique	60 km al S de Iquique	A 180 km de Antofagasta y a 100 km de Calama	120 Km. al N de Santiago	56 km de La Serena	40 km al N de Calama y a 240 km al NE de Antofagasta	135 km al NE de Santiago

Fuente: Basado en documentación de la empresa

- *Determinación del contexto de los proyectos históricos:* Para cada proyecto histórico del que se tenga la información completa, se seleccionan las definiciones que mejor representan el contexto en que mayoritariamente fue ejecutado (resultados en Anexo E).
- *Determinación de información de rendimientos por actividad:* Por cada actividad se requiere el tamaño con su unidad de avance y la cantidad de

recursos utilizados para su ejecución, con su unidad de medición. En esta aplicación se considera el recurso que utilizan en la empresa para estimar rendimientos, es decir, las HH por actividad. Esta información se encuentra disponible para las actividades y proyectos mostrados en la Tabla 7-6.

7.2.2 Procesamiento y recuperación de la información

a) Ajustes al criterio de similitud

Consiste en la definición de los pesos relativos de factores y sub factores de contexto. Estos se determinan de acuerdo a la percepción de la importancia relativa de su efecto sobre el rendimiento obtenido. Para ello se aplica una encuesta vía correo electrónico a expertos dentro de la empresa, la que se compuso de dos etapas:

- En la primera etapa se pide a 6 personas del Departamento de Estudios con más de 10 años de experiencia en la industria de la construcción (ver Tabla 7-8), que indiquen su percepción de la importancia relativa de cada factor y sub factor (resultados en Anexo F).

Tabla 7-8: Experiencia de personas que definen pesos relativos de factores y sub factores de contexto

Persona N°	1	2	3	4	5	6
Experiencia en la industria (años)	10	12	30	23	18	10
Años en la empresa (años)	0,3	3	1,5	11	12	4

Fuente: Basado en entrevistas realizadas

- En la segunda etapa, se envían los resultados obtenidos a cada encuestado, y se solicita entregar un nuevo valor de percepción de peso relativo, considerando ahora la primera opinión entregada por todos (resultados en Anexo G).

Los pesos relativos de factores y sub factores de contexto definitivos se determinan como el promedio de los valores de la segunda encuesta. La Tabla 7-9 muestra los resultados obtenidos.

La definición de los pesos relativos pudo haberse definido a través de un *focus group* o por medio de un estudio Delphi, en el que se presentaran distintas situaciones de contexto en base a los factores y se solicitara una estimación de rendimiento. Posteriormente, mediante la aplicación de una regresión podrían obtenerse los pesos relativos. En este caso particular no se realizó con esta metodología porque:

- Se consideró complejo y largo que los encuestados entregaran un rendimiento estimado como consecuencia de los factores de manera integrada, dado que la mayoría analiza y considera estos impactos de forma independiente.
- No se busca obtener los pesos relativos en función de una actividad particular, sino referido a nivel de proyecto.
- Se contaba con una muestra reducida de personas disponibles para ser encuestadas, por lo que los resultados no contarían con validez estadística.

Tabla 7-9: Pesos relativos de factores y sub factores de contexto

Factor	Peso factor	Sub factor	Peso sub factor
Complejidad del proyecto	25,0%	Tipo de proyecto	30,0%
		Exigencias de ITO y mandante	19,2%,
		Innovación del proyecto	20,0%,
		Plazo disponible	30,8%
Información del proyecto	9,0%	Complejidad especificaciones	60,0%
		Claridad especificaciones	40,0%
Condiciones climáticas	25,0%	Condición de lluvia	18,2%
		Condición de nieve	34,2%
		Condición de viento	12,8%
		Altitud	26,3%
		Condición de temperatura	8,6%
Competencias y experiencia M.O.	14,0%	Experiencia de la M.O.D	50,0%
		Régimen de turnos	33,3%
		Sindicato	16,7%
Equipos	12,0%	Disponibilidad de equipos	100,0%
Condiciones de sitio	15,0%	Ubicación del proyecto	30,0%
		Accesibilidad al terreno	10,0%
		Calidad del suelo	9,2%
		Topografía	11,7%
		Conectividad	22,5%
		Espacio interior y/o interferencias	16,7%

Fuente: Elaboración propia, basado en encuestas aplicadas

b) Aplicación del sistema propuesto a un caso de prueba.

Para probar la metodología, como se indicó con anterioridad, se utiliza un proyecto de prueba (P-P) como nuevo proyecto de construcción a estimar (Taller de Camiones). Para ello, luego de ingresar su información general, se

siguen las actividades descritas en el Procedimiento de Procesamiento y Recuperación de la Información (Figura 6-3).

- *Definición del contexto:* Consiste en la evaluación del contexto del proyecto P-P, según la alternativa que mejor representa su situación de ejecución. Posterior a esto, se ingresa la información de cantidad a realizar por cada actividad que considera el proyecto en cuestión (resultados en Anexo E).
- *Clasificación según escala numérica definida:* La metodología de forma automática asocia los valores que corresponden a la selección.
- *Determinación de similitudes:* Se calculan las Similitudes Locales a nivel de sub factor, Similitudes Globales a nivel de factor, y las Similitudes a nivel de proyecto, usando los pesos relativos determinados previamente en la empresa (resultados en Anexo H).
- *Informe general previo:* Se muestran los proyectos históricos ordenados de mayor a menor similitud total con el proyecto a estimar. Se muestran las Similitudes Globales y de Proyecto (Tabla 7-10).

Tabla 7-10: Resumen de Similitud entre proyectos históricos y proyecto de prueba

Factor	Nombre	Peso (%)	Similitud entre Proyectos de BD y P-P					
			P1	P2	P3	P4	P5	P6
			Similitud Global con P-P (%)					
1	Complejidad del proyecto	25	75	82	89	17	89	89
2	Calidad de la información del proyecto	9	70	100	30	30	30	100
3	Condiciones climáticas del proyecto	25	100	58	27	33	65	46
4	Condiciones de la mano de obra	14	75	75	78	83	100	61
5	Disponibilidad de equipos	12	100	100	0	0	100	100
6	Condiciones de sitio	15	35	69	71	73	56	59
Similitud de Proyecto con P-P (%)			78	77	53	38	76	72

Fuente: Elaboración propia

- *Determinación de proyectos más similares:* De acuerdo a los resultados obtenidos, y con un porcentaje de Similitud de Proyecto mínimo de 70%, los proyectos que se deberían considerar para realizar la estimación de rendimientos del proyecto de prueba P-P son: P1, P2, P5 y P6.

La Figura 7-3 muestra como se pueden representar gráficamente las Similitudes Globales para cada proyecto histórico disponible. La Figura 7-4 muestra la misma representación, incluyendo únicamente los proyectos seleccionados.

- *Informe final de rendimientos:* Se entrega un informe final con rendimientos históricos de las actividades requeridas, para los proyectos más semejantes a nivel de proyecto. Además se muestra un detalle de similitud local y global, para conocer las diferencias de contexto (Tabla 7-11).

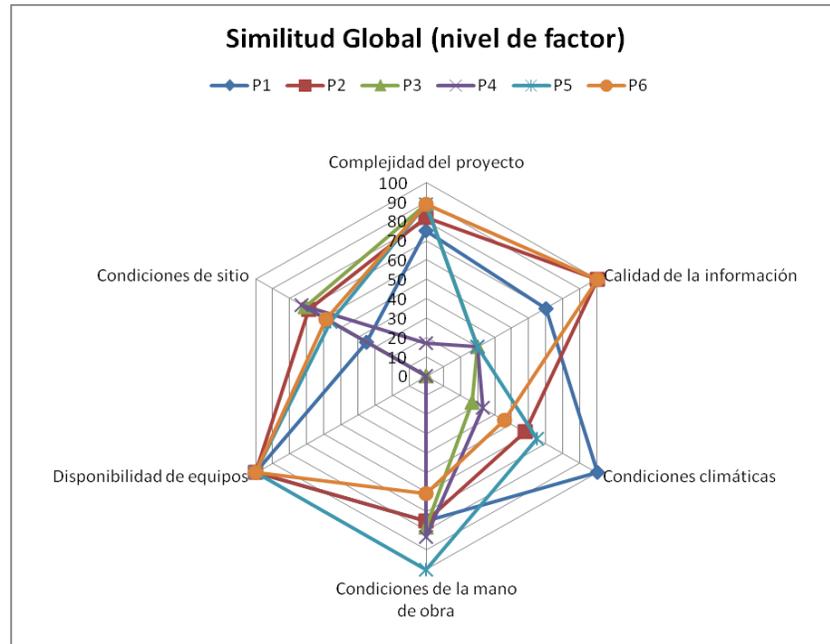


Figura 7-3: Similitud Global de todos los proyectos disponibles

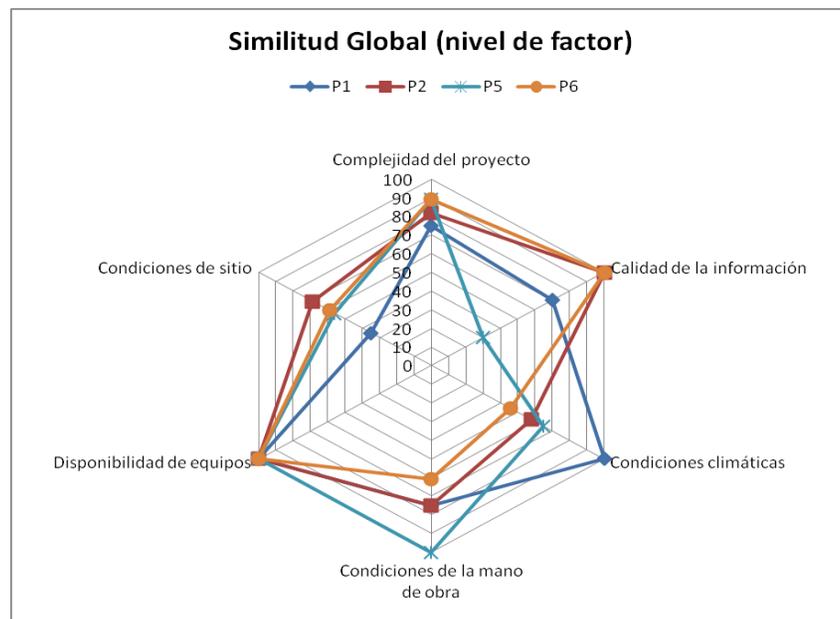


Figura 7-4: Similitud Global de los proyectos más similares

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-11: Resumen de Similitud de proyectos históricos más similares

Factor	Nombre	Peso (%)	Similitud entre Proyectos de BD y P-P			
			P1	P2	P5	P6
			Similitud Global con P-P (%)			
1	Complejidad del proyecto	25	75	82	89	89
2	Calidad de la información del proyecto	9	70	100	30	100
3	Condiciones climáticas del proyecto	25	100	58	65	46
4	Condiciones de la mano de obra	14	75	75	100	61
5	Disponibilidad de equipos	12	100	100	100	100
6	Condiciones de sitio	15	35	69	56	59
Similitud de Proyecto con P-P (%)			78	77	76	72

Fuente: Elaboración propia

Por cada actividad que se requiera estimar, se entrega de cada proyecto semejante:

- El tamaño real de la actividad realizada, en su unidad correspondiente.
- Los tipos de recursos utilizados (para el ejemplo realizado, sólo se considera el recurso de HH por actividad).
- Por cada recurso se entrega la cantidad utilizada, con su unidad y rendimiento correspondientes.

El análisis de la información entregada luego de aplicar la metodología se muestra con detalle en el capítulo siguiente.

7.3 Principales aspectos de la aplicación de la metodología

Se aplicó la metodología de incorporación de los factores cualitativos de contexto, a una empresa que desarrolla proyectos de construcción, mantenimiento y operación de plantas mineras e industriales. Para ello, se desarrollaron paso a paso,

las actividades descritas en el capítulo 6, donde se describe la metodología propuesta.

Inicialmente, se desarrolló la estructuración de la información, es decir, se conformó la base de datos con proyectos históricos. En este paso, se definieron previamente los ajustes a la metodología genérica propuesta. Para ello la empresa:

- Agregó un factor de contexto (Disponibilidad de equipos) y 5 sub factores (*Disponibilidad de equipos, Plazo disponible, Régimen de turnos, Organización sindical y Altitud*); eliminó 2 sub factores (*Exigencia y complejidad del diseño y Normativas municipales*); y separó los sub factores que contenían más de un aspecto a evaluar.
- Definió los ajustes a las definiciones de contextos propuestas y a los aspectos agregados, con el fin de adecuarlas a su realidad.

Con estos ajustes realizados, se desarrolló una base de datos con 6 proyectos históricos, la que se compone de:

- La información general requerida de cada proyecto.
- La evaluación del contexto de ejecución real por proyecto, según los 6 factores y los 21 sub factores definitivos de la empresa.
- La información de rendimientos para 14 actividades consideradas, de 6 especialidades diferentes (basada solo en el recurso mano de obra, medido en HH).

A continuación, se realizó el procesamiento y recuperación de la información, es decir, la utilización de la información histórica disponible. Previo a esto, se realizaron los ajustes correspondientes a esta función, los que se componen de definir los pesos relativos de los factores y sub factores de contexto definitivos. Los factores más críticos según la ponderación realizada, son Complejidad del proyecto (25,0%) y Condiciones climáticas del proyecto (25,0%).

Para validar la aplicabilidad de la metodología desarrollada, se ingresa un séptimo proyecto que contaba con la información requerida, denominado Proyecto de Prueba P-P. Se ingresó los 3 tipos de información requerida de este: información general, evaluación del contexto de ejecución estimado y cantidad por cada una de las actividades que se requiere estimar (según su unidad de avance).

Como resultado final, el estimador obtiene:

- Informe general previo, donde se muestran todos los proyectos históricos existentes, con su Similitud de Proyecto con el proyecto a estimar (ponderación de similitudes según pesos definidos). El estimador debe definir un valor mínimo de este aspecto, para filtrar los proyectos y recuperar la información más adecuada para ser reutilizada.
- Informe final de rendimientos, donde se indica para los proyectos más semejantes filtrados, las Similitudes Locales (a nivel de sub factor), las Similitudes Globales (a nivel de factor), la evaluación de contextos asociada, y los rendimientos históricos por actividad.

El capítulo siguiente indica con mayor detalle como utilizar la información entregada por la metodología utilizada.

8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

El análisis de resultados obtenidos a través del desarrollo de la investigación se compone de tres aspectos descritos a continuación. Los dos primeros, hacen referencia a un análisis de los resultados obtenidos hasta ahora por la empresa, y el tercer punto, se refiere a una revisión de los resultados obtenidos con la metodología propuesta en sí. Los tres componentes del análisis que incluye este capítulo son:

- Primero, se analiza la relación existente entre el contexto de ejecución de los proyectos históricos y los rendimientos obtenidos en cada uno. Es decir, a través del estudio de los rendimientos reales de los 6 proyectos disponibles en la empresa, se analiza si predomina la tendencia de utilizar menos recursos a medida que el contexto se vuelve más favorable.
- Posteriormente, se revisa la exactitud de las estimaciones de rendimientos realizadas hasta ahora por el Departamento de Estudios de la empresa. Para ello, se realiza una comparación entre los rendimientos reales y los rendimientos estimados a nivel de actividad, por cada proyecto disponible. A partir de esto, se analiza si existe alguna relación entre la calidad de la estimación obtenida hasta ahora y la dificultad asociada al contexto del proyecto.
- Finalmente, se muestra un análisis de la aplicación de la metodología propuesta a través de la utilización de proyectos reales de la empresa, y se indican los criterios de utilización de la información histórica obtenida. En este punto, se muestra también un resultado de estimación propuesta para el proyecto de prueba P-P, la que se realiza con las limitaciones de datos que se tienen.

8.1 Relación entre los rendimientos y el contexto de ejecución

En este punto, se busca analizar el efecto que tiene la condición de ejecución de un proyecto, sobre la cantidad de recursos requeridos para su ejecución, es decir, si la utilización de estos recursos disminuye a medida que el contexto del proyecto es más favorable.

Para este análisis, primero se calcula un indicador del contexto de ejecución por cada proyecto histórico, el que se basa en los mismos factores, sub factores y condiciones definidos en la metodología. El indicador se denomina Índice de Contexto de Proyecto y se utiliza para ordenar los proyectos históricos según condición menos a más favorable (ver Figura 8-1 y Tabla 8-1). Para el ordenamiento realizado, se considera que a medida que el Índice de Contexto Total aumenta, el contexto asociado al proyecto es más favorable, y viceversa.

El procedimiento para determinar el Índice de Contexto de Proyecto consta de dos pasos y se describe a continuación:

$$\begin{aligned}
 \text{Índice de Contexto Global } (P_i) &= \frac{\sum_{j=1}^n wsf_j * \text{Evaluación } (P_{ij})}{\sum_{j=1}^n wsf_j} \\
 &\Downarrow \\
 \text{Índice de Contexto de Proyecto } (P) &= \frac{\sum_{i=1}^n wf_i * \text{Índice de Contexto Global } (P_i)}{\sum_{i=1}^n wf_i}
 \end{aligned}$$

- *Índice de Contexto Global ICG (a nivel de factores de contexto)*: Se determina con la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de Contexto Global } (P_i) = \frac{\sum_{j=1}^n wsf_j * \text{Evaluación } (P_{ij})}{\sum_{j=1}^n wsf_j}$$

Donde:

P : Proyecto input (al que se desea evaluar el contexto).

n : Es el número de sub factores que pertenecen al mismo factor

i: Es un sub factor individual de 1 a n, que pertenecen al factor j.

wsf_i: Es la función del peso relativo del sub factor de contexto i.

Evaluación (E) : Es el valor de condición del proyecto, por cada sub factor

- *Índice de Contexto de Proyecto ICP (a nivel de proyecto)*: Se determina con la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de Contexto de Proyecto (P)} = \frac{\sum_{i=1}^n w f_i * \text{Índice de Contexto Global (P}_i)}{\sum_{i=1}^n w f_i}$$

Donde:

P : Proyecto input (al que se desea evaluar el contexto).

n : Es el número de factores de contexto

i : Es un factor individual de 1 a n.

wf_i: Es la función del peso del factor de contexto i.

Índice Contexto Global : Es la función para definir el contexto e un proyecto, a nivel de factor.

De acuerdo con el indicador propuesto y con los resultados mostrados en la Tabla 8-1, notamos que de los 6 proyectos disponibles en la empresa, P2 es el proyecto histórico que fue ejecutado en la condición menos favorable (posee el menor valor de ICP=1,69). El caso opuesto ocurre con P4, puesto que según el indicador de contexto, fue desarrollado en la condición más favorable (posee el mayor valor de ICP=2,44).

Notar como referencia, que la peor condición posible para ejecutar un proyecto tendría un ICP=1, y ocurriría si en cada sub factor de la metodología descrita se selecciona siempre la condición menos favorable. A su vez, la mejor condición de ejecución de un proyecto tendría un ICP=2,88, y se daría si en cada sub factor se selecciona siempre la condición más favorable.

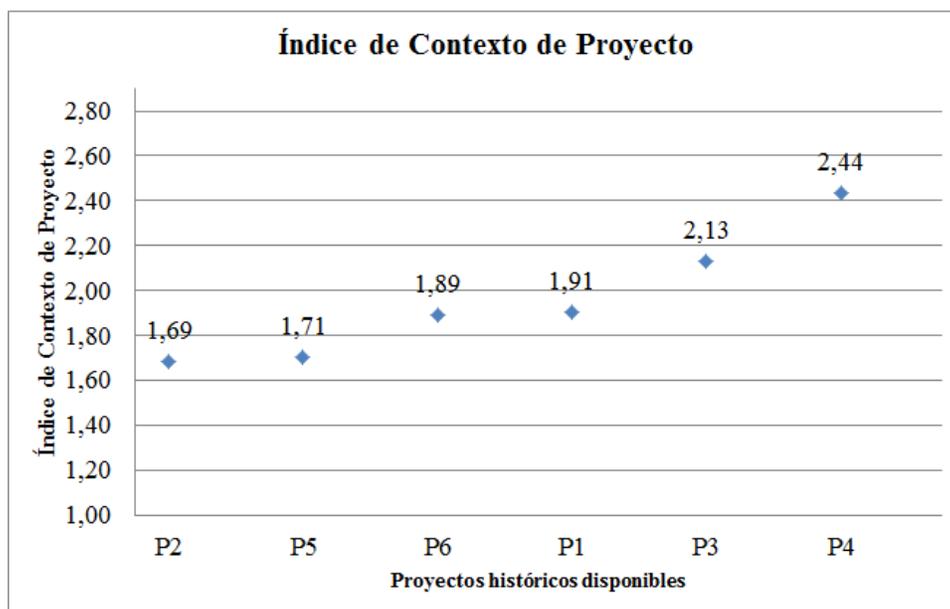


Figura 8-1: Índice de Contexto de Proyecto para proyectos históricos

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, con los proyectos ordenados según contexto menos a más favorable: *P2*, *P5*, *P6*, *P1*, *P3* y *P4*, se analiza por cada actividad si ocurre una disminución de utilización de recursos (rendimientos) a medida que mejora el contexto de ejecución del proyecto. Esta tendencia se denominó Tendencia 1 y se cumple para 10 de las 14 actividades que se analizaron (Figura 8-2). La tendencia contraria se denominó Tendencia 2 y se presenta en 4 de las 14 actividades

analizadas (Figura 8-3). Cabe destacar que estos últimos casos corresponden a actividades que no cuentan con más de 3 datos de rendimientos.

Tabla 8-1: Índice de Contexto Total para cada proyecto histórico

P2		P5		P6		P1		P3		P4		
E	ICG											
1	1,4	2	1,7	2	1,7	4	2,3	2	1,7	5	3,1	
1		1		1		1		1		2		
3		3		3		3		3		3		
1		1		1		1		1		2		
2	1,6	3	2,6	2	1,6	3	2,2	3	2,6	3	2,6	
1		2		1		1		2		2		
2	2,2	4	2,5	3	2,7	4	2,0	2	2,7	3	2,9	
3		3		3		2		3		3		
1		1		1		1		1		2		2
2		2		3		1		3		3		3
2		1		3		2		3		3		3
2	1,5	1	1,0	1	1,8	2	1,5	1	1,7	1	1,2	
1		1		3		1		3		1		
1		1		2		1		1		2		
1	1,0	1	1,0	1	1,0	1	1,0	2	2,0	2	2,0	
1	2,1	1	1,1	2	1,8	4	2,1	2	2,2	2	2,0	
3		1		1		1		3		2		
1		2		1		1		1		3		3
3		1		1		1		3		1		1
3		1		3		1		3		3		3
2		1		1		2		1		1		1
ICP=1,69		ICP=1,71		ICP=1,89		ICP=1,91		ICP=2,13		ICP=2,44		

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se busca analizar el efecto que tiene la cantidad ejecutada de cada actividad sobre los rendimientos obtenidos. Para esto, en las mismas Figuras 8-2 y 8-3 se destaca por cada actividad, los rendimientos asociados a las cantidades extremas realizadas. Con este objetivo:

- Se encierra en **círculos** los rendimientos asociados a pequeñas cantidades realizadas.
- Se encierra en **rectángulos** los rendimientos de las actividades de gran cantidad.

De esta forma se busca de visualizar el efecto de la repetición y el correspondiente aprendizaje, sobre los rendimientos promedio obtenidos. Según los gráficos, es posible notar que algunos rendimientos más bajos que la tendencia (mayor utilización unitaria de recursos), podrían deberse a la cantidad reducida de la actividad. Esta situación se visualiza en los gráficos de las actividades Excavación estructural y Montaje de estructura liviana. Situación similar ocurre con algunos rendimientos más altos que la tendencia (menor utilización unitaria de recursos), dado que puede deberse al gran tamaño de la actividad ejecutada. Estos casos se observan en los gráficos de rendimientos de las actividades Excavación estructural, Hormigón de fundación, Hormigón de muros y vigas, Montaje de estructura liviana, Montaje de cañerías y Excavación en zanja (m³).

A través de este análisis, es posible verificar que en la mayoría de las actividades estudiadas de los 6 proyectos disponibles, existe una relación inversamente proporcional entre la bondad del contexto de un proyecto y la cantidad de recursos que se requiere para su ejecución. Es decir, para gran parte de las actividades estudiadas, existe una menor utilización de recursos a medida que el contexto de ejecución de los proyectos se vuelve más favorable. Por tanto, se fundamenta la utilización de un criterio de selección y ajuste de rendimientos históricos, basado en la similitud existente entre los contextos de los proyectos.

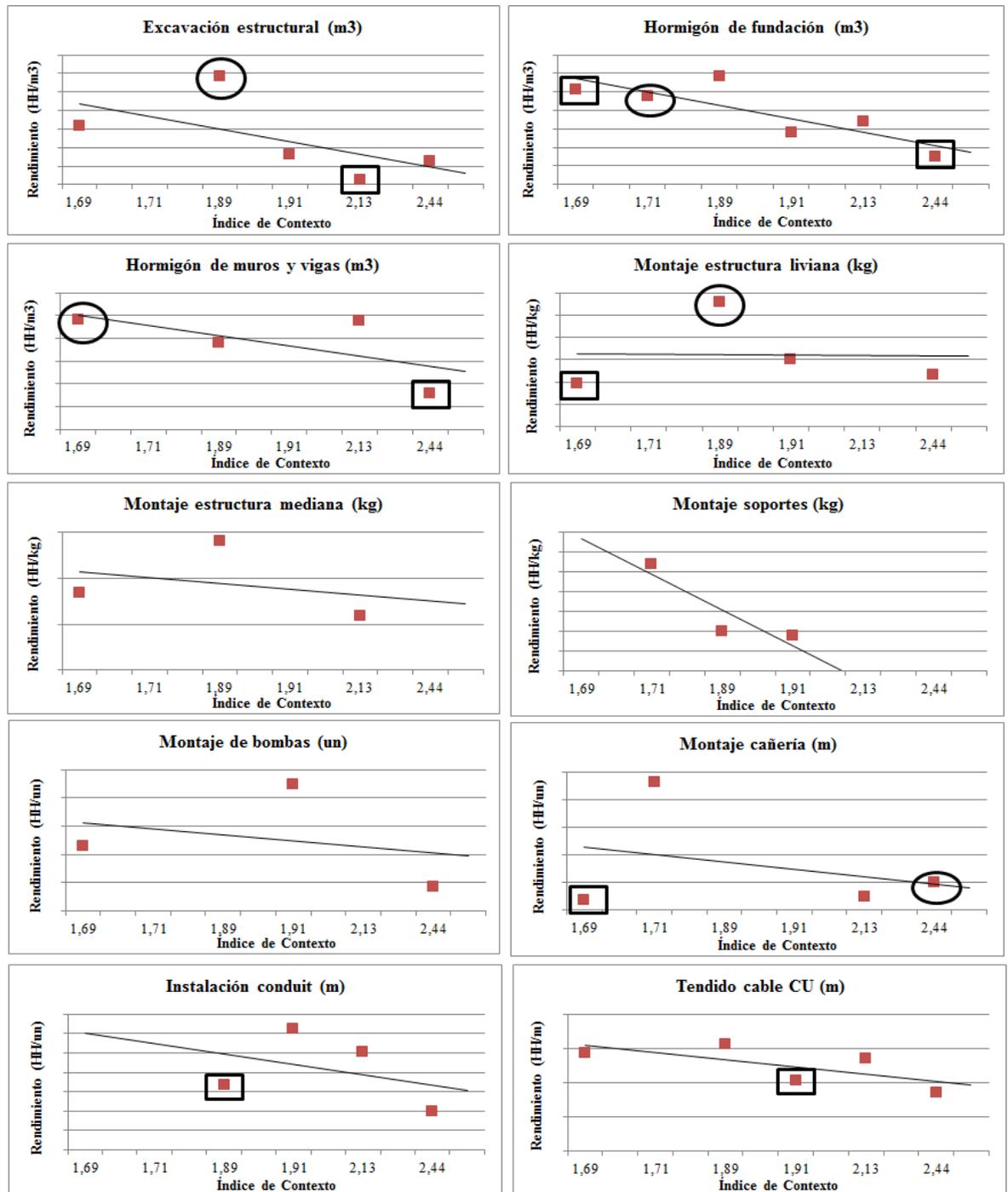


Figura 8-2: Rendimientos vs Índice de Contexto Total por proyecto-Tendencia 1

Fuente: Elaboración propia

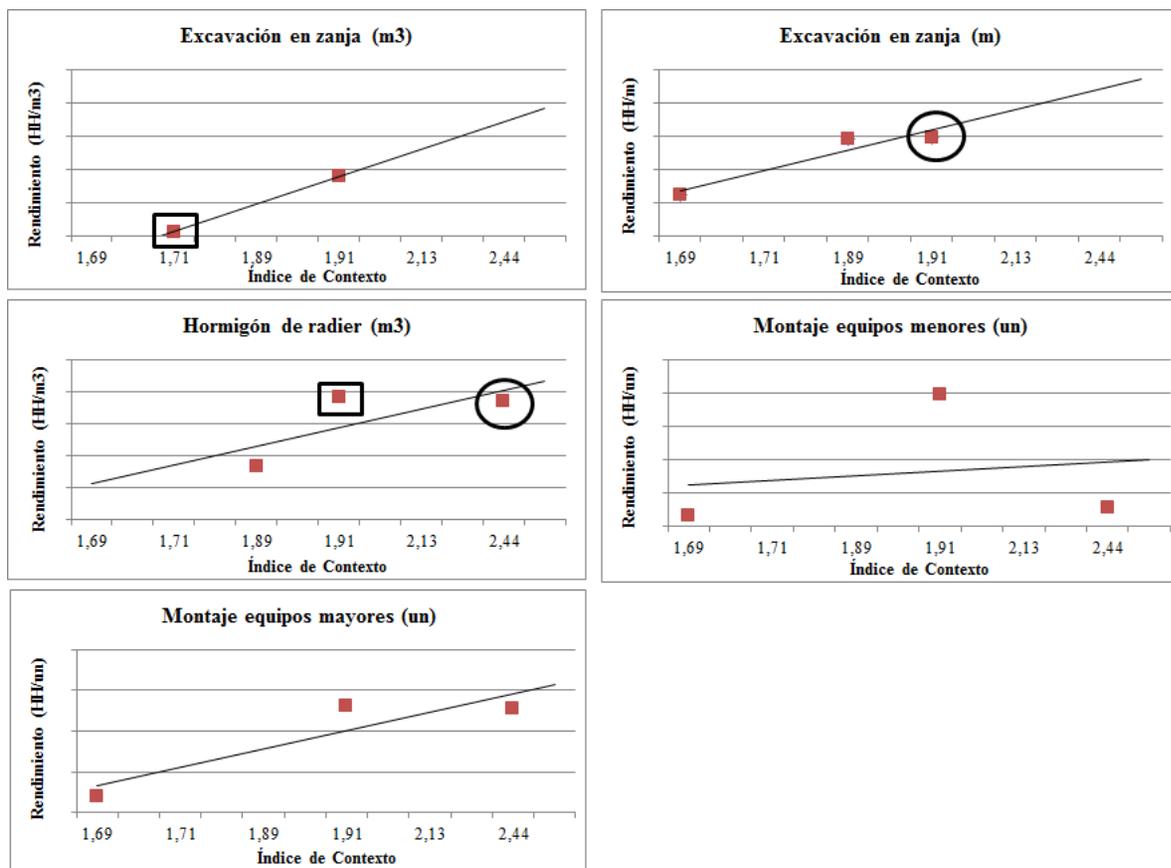


Figura 8-3: Rendimientos vs Índice de Contexto Total por proyecto-Tendencia 2

Fuente: Elaboración propia

8.2 Análisis de actuales resultados de estimación de la empresa

En el segundo análisis realizado, se estudia la exactitud de las estimaciones de rendimientos obtenida hasta ahora por la empresa. Para ello, se determina por cada actividad estimada, un factor de productividad (FP) que se calcula de la siguiente manera:

$$FP = \text{Factor de Productividad} = \frac{\text{Rendimiento real}}{\text{Rendimiento estimado}}$$

Al considerar los valores de FP de las actividades del estudio (Tabla 8-2), notamos que por cada proyecto las sub estimaciones (FP<1, sin color) son más frecuentes que las sobre estimaciones (FP>1, destacado con color gris). Este aspecto es consistente con el sesgo positivo indicado en la literatura.

Tabla 8-2: Coeficiente FP por actividad de los proyectos

Actividad	Unidad	FP P1	FP P2	FP P3	FP P4	FP P5	FP P6	FP P-P
Excavación estructural	m3	0,95	2,16	1,04	2,50		8,19	
Excavación en zanja	m3	1,09						
Excavación en zanja	m	1,07	1,79			1,65	6,35	0,33
Hormigón de fundación	m3	1,68	2,14	1,02	0,98	1,32	1,27	2,05
Hormigón de muros y vigas	m3		1,73	1,38	1,21		1,03	1,07
Hormigón de radier	m3	1,12			7,90		3,21	8,34
Montaje estructura liviana	kg	1,51	0,95		1,05		1,86	1,40
Montaje estructura mediana	kg		1,40	0,37			1,99	2,50
Montaje soportes	kg	1,20				3,36	1,41	
Montaje de bombas	un	1,52	1,74		1,52			
Montaje cañería acero carbono 2" a 4"	m		1,32	1,45	0,59	4,60		
Instalación conduit	m	1,40		1,25	0,44		0,93	0,47
Tendido cables CU malla tierra	m	1,00	0,94	2,60	0,73		3,01	1,78
Montaje equipos menores	un	1,13	2,71		0,95			0,33
Montaje equipos mayores	un	1,75	2,32		0,94			

Total de actividades estimadas	12	11	7	11	4	10	9
Actividades sub estimadas por proyecto (Cantidad y %)	10 (83%)	9 (91%)	6 (82%)	5 (45%)	4 (100%)	9 (90%)	6 (67%)
Actividades sobre estimadas por proyecto (Cantidad y %)	2 (17%)	2 (9%)	1 (18%)	6 (55%)	0 (0%)	1 (10%)	3 (33%)

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, notamos que la mayoría de los proyectos que fueron ejecutados en condiciones más desfavorables de acuerdo al Índice de Contexto de Proyecto (P2, P5, P-P y P6), presentan un mayor porcentaje de actividades sub estimadas, además de tener las desviaciones más altas. En esta misma línea, notamos que el proyecto con mejor condición asociada P4, es el que posee el menor porcentaje de actividades sub estimadas.

Estos resultados podrían indicar que actualmente se desarrolla una consideración inadecuada del efecto del contexto de ejecución de los proyectos sobre los rendimientos esperados. Específicamente, podríamos concluir que la estimación de rendimientos se vuelve más compleja cuando el contexto del proyecto se aleja de una condición típica o favorable.

8.3 Análisis de aplicación de la metodología propuesta

El tercer análisis de resultados realizado, tiene relación con una revisión en profundidad de la información histórica recuperada a partir de la aplicación de la metodología descrita en el capítulo anterior.

8.3.1 Descripción del criterio de utilización de la información

Luego de estructurar la información disponible de acuerdo a los factores de contexto críticos, es posible seleccionar y considerar los rendimientos más adecuados para ser reutilizados en la estimación de nuevos proyectos, en función de la similitud de su contexto de ejecución

Sin embargo, dada la unicidad de los proyectos de construcción, difícilmente será posible encontrar proyectos históricos idénticos al nuevo en todos los factores evaluados. Por esta razón, a partir de un nivel de Similitud de Proyecto mínimo, se recomienda identificar los aspectos que generan las diferencias de contexto y

definir a partir de estos los ajustes a los rendimientos recuperados de la base de datos.

Para definir los ajustes requeridos, la metodología indicada entrega al estimador dos tipos de información a considerar, clasificadas de acuerdo a su nivel de detalle (Figura 8-4):

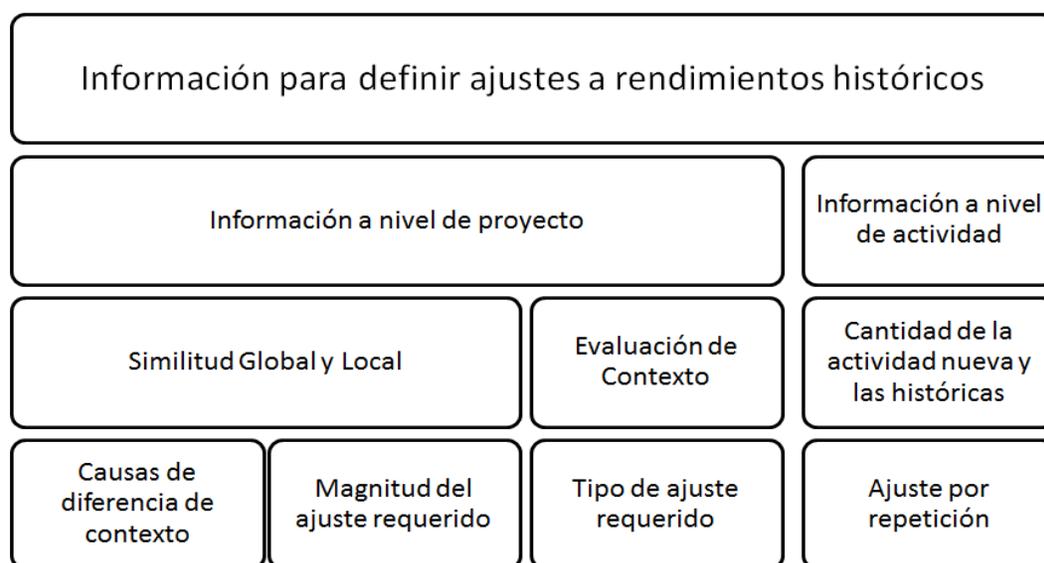


Figura 8-4: Utilización de la información histórica según metodología propuesta

Fuente: Elaboración propia

a) *Información a nivel de proyecto.*

Como la evaluación de factores y sub factores considerados es a nivel de proyecto, los ajustes que se deben realizar a los rendimientos históricos por el contexto asociado, se basan en la misma información para todas las actividades pertenecientes a un mismo proyecto.

Los ajustes por este concepto se realizan considerando lo siguiente:

- Similitud Global y Local: Por medio de esta información, es posible identificar los aspectos de los proyectos históricos que presentan diferencias con el proyecto a estimar. Esto permite identificar **qué factores o sub factores** obligan a ajustar los rendimientos históricos, y **la magnitud** asociada a estos ajustes. Esto último, porque a menor nivel de similitud, mayor debe ser el ajuste que define es estimador a los rendimientos, y viceversa.
- Evaluación de contexto: Esta información permite definir si las diferencias de contexto percibida por la similitud calculada, provienen de condiciones más o menos favorables, en relación al proyecto a estimar. Esto permite identificar el **tipo de ajuste que requieren** los rendimientos históricos, pues mejores condiciones deberían tener mejores rendimientos, y viceversa.

b) *Información a nivel de actividad.*

A mayor tamaño de la actividad, el rendimiento promedio resultante debería ser mejor, dado que es posible aumentar el aprendizaje por la repetición. Por tanto, otra variable a considerar por el estimador para establecer los ajustes de rendimientos históricos, es la **cantidad** de la actividad realizada en el pasado y la que se requiere estimar.

Esta información depende de cada actividad estudiada y de los rangos de cantidad definidos como bajos y altos por cada una, por tanto se clasifica como información a nivel de actividad.

8.3.2 Análisis de la aplicación de la metodología

A continuación se presenta el análisis de información a **nivel de proyecto**, realizada a partir de la aplicación de la metodología con los proyectos disponibles en la empresa.

a) Análisis de Similitud Global

Inicialmente, de acuerdo a la Similitud Global, es posible notar que los 4 proyectos históricos más similares a P-P (P1, P2, P5 y P6) tienen alta similitud y baja dispersión en relación a los factores Disponibilidad de Equipos (100%, 100%, 100% y 100% respectivamente) y Complejidad del proyecto (75%, 82%, 89% y 89% respectivamente). Al contrario, los factores Calidad de la información (70%, 100%, 30% y 100% respectivamente) y Condiciones climáticas (100%, 58%, 65% y 46% respectivamente) son los que presentan mayores diferencias de similitudes.

Por tanto, en términos globales, al utilizar la información histórica como referencia para estimar el proyecto P-P:

- No se deberían considerar ajustes a información histórica motivada por contextos del factor Disponibilidad de equipos, dado que todos tienen Similitud Global máxima.
- Los ajustes en relación al factor Complejidad del proyecto serán menores, y similares en magnitud para todos los proyectos históricos.
- Los ajustes en relación al resto de los factores serán diferenciados en magnitud por cada proyecto histórico.

b) Análisis de Similitud Local y evaluaciones del contexto

A continuación se presenta un análisis de Similitudes Locales, para determinar que sub factores generan las diferencias de contexto entre los proyectos, la magnitud de la diferencia existente y si esta se debe a una mejor o peor condición asociada.

i. Análisis de resultados de factor Complejidad del proyecto

A nivel de Similitud Global, con respecto al sub factor Complejidad del proyecto, se tiene que los proyectos más semejantes a P-P son P5 y P6 (89%), y luego se encuentran P2 (82%) y P1 (75%).

Si se considera la Similitud Local de este mismo factor (Figura 8-5), se tiene que P1, P2, P5 y P6 tienen la misma similitud en relación a los sub factores Exigencia del ITO o mandante, Grado de innovación y Plazo disponible para la ejecución del proyecto. Para el primero y tercero de estos, la semejanza con P-P es de un 100%, por lo que no deben existir ajustes de rendimientos históricos relacionados. Para el segundo sub factor, la semejanza baja a un 50%, esto dado que P-P tiene un Grado de innovación mayor que estos 4 proyectos históricos.

Por tanto, la diferencia de Similitud Global se encuentra en la evaluación del sub factor Tipo de proyecto para P1 y P2. P1 corresponde a la ampliación de una estructura existente (mineroducto), por lo que es más favorable que P-P, y P2 es un proyecto de Ingeniería, Suministro y Construcción de todas las obras requeridas para el Taller de Camiones, por lo que es un tipo de proyecto más difícil.

Por tanto, ajustes de rendimientos históricos en cuanto al factor de Complejidad de proyecto deben ser:

- A todos los proyectos en forma pareja, en relación al mayor grado de Innovación del proyecto P-P.
- A P1 y P2, por ser proyectos de menor y mayor complejidad respectivamente, en relación a P-P.

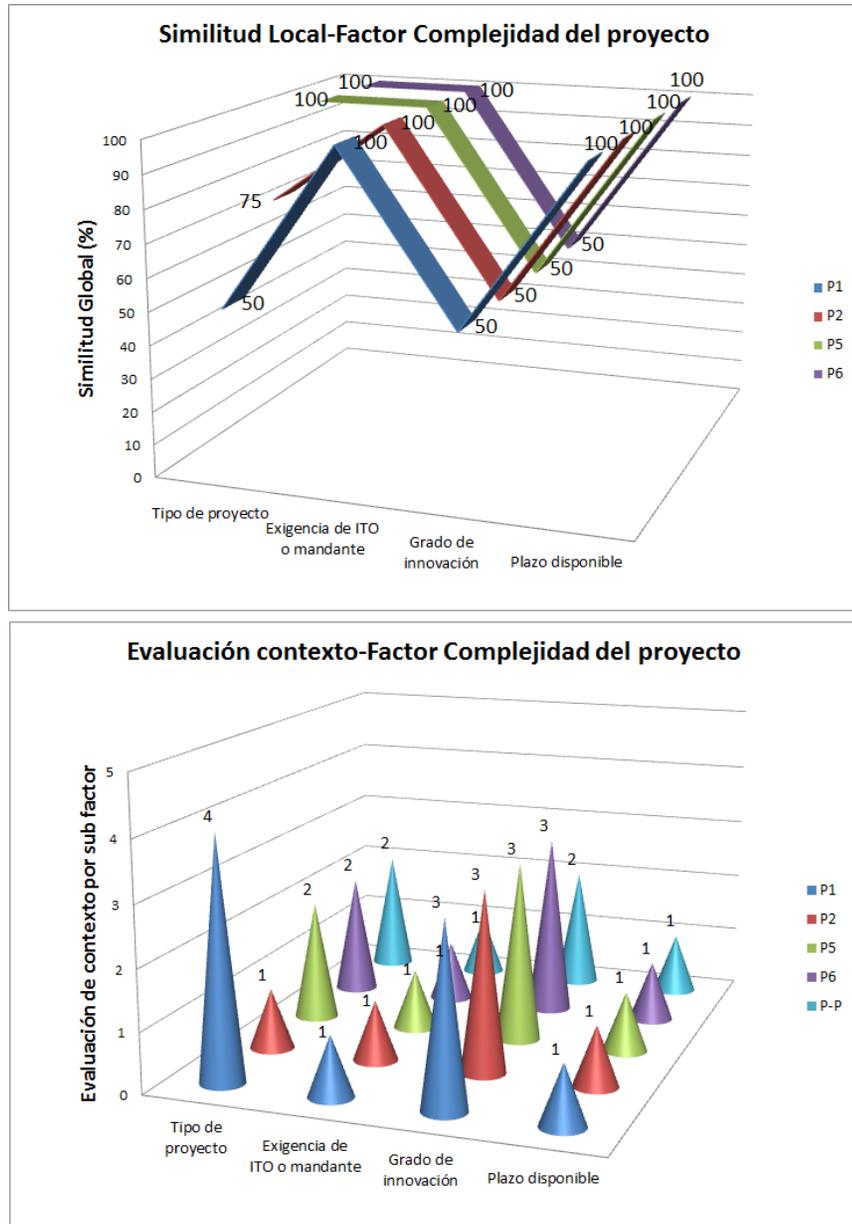


Figura 8-5: Similitud Local y contexto-Factor Complejidad del proyecto

Fuente: Elaboración propia

ii. Análisis de resultados de factor Información del proyecto

A nivel de Similitud Global, con respecto al sub factor Información del proyecto, se tiene que los proyectos más semejantes a P-P son P2 y P6 (100%), y luego tenemos P1 (70%) y P5 (30%).

La información de Similitud Local del mismo sub factor (Figura 8-6) indica que P1 y P5 tienen una mejor condición que P-P en cuanto a la Completitud de las especificaciones. Por tanto, la menor Similitud Global de P5 está dada por la Similitud Local mínima en el sub factor Claridad de las especificaciones.

Por tanto, ajustes de rendimientos en cuanto al factor de Calidad de Información del proyecto deben ser:

- A P1 y P5 por contar con información más completa de especificaciones que el proyecto P-P.
- A P5 por ser un proyecto con mejor claridad de información que P-P.

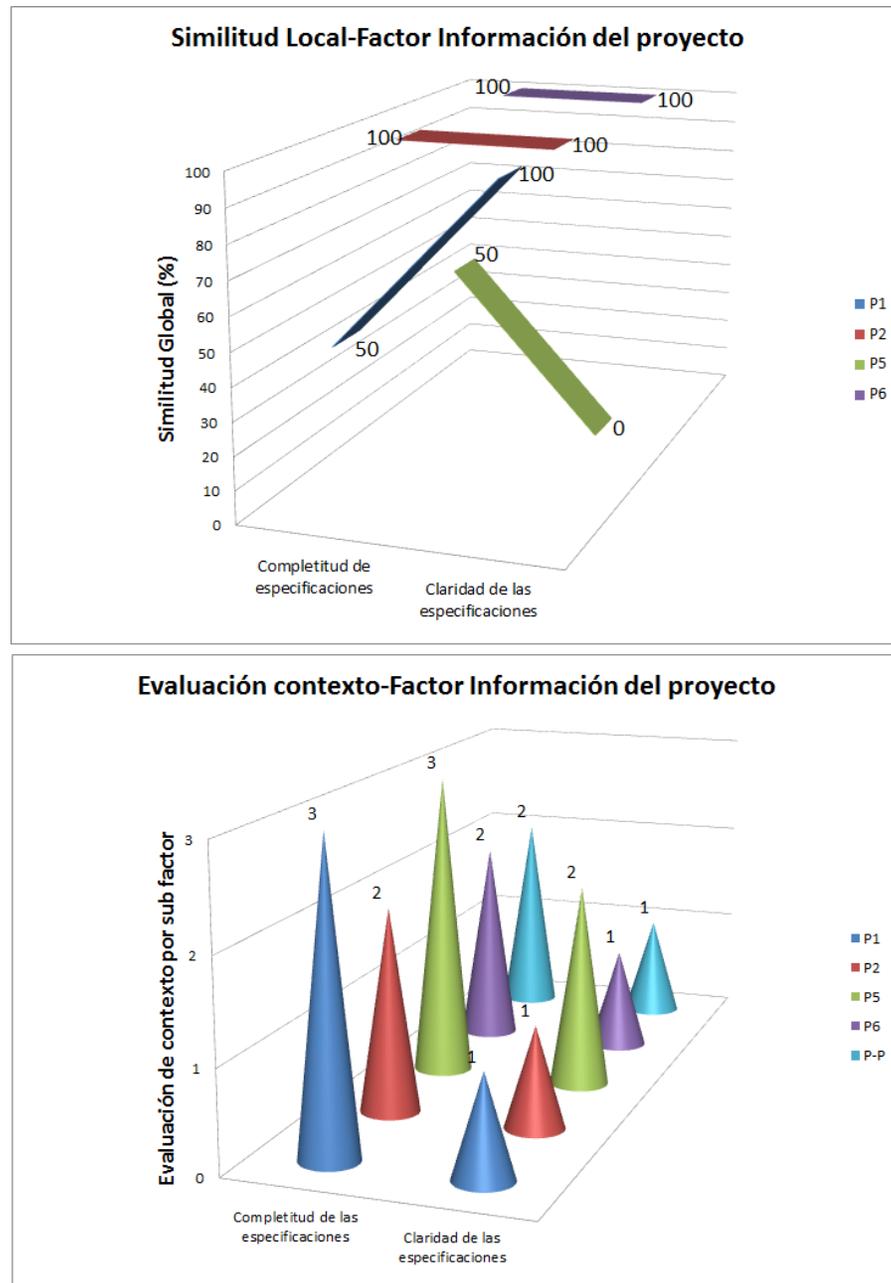


Figura 8-6: Similitud Local y contexto-Factor Información del proyecto

Fuente: Elaboración propia

iii. Análisis de resultados de factor Condiciones climáticas del proyecto

Según la Similitud Global del factor Condiciones climáticas, el proyecto más semejante a P-P es P1 (100%), y luego tenemos a P5 (65%), P2 (58%) y P6 (46%).

Al analizar la información de Similitud Local del factor (Figura 8-7), notamos que P1 tiene un 100% de coincidencia en todos los aspectos climáticos con P-P, dado que ambos se ubican en la misma minera (condición climática más desfavorable de los 4 proyectos históricos). Además, la totalidad de estos proyectos tienen las mismas condiciones de viento que P-P, por lo que no habría ajustes de rendimientos por este aspecto.

P2, P5 y P6 tienen Similitud Local de 50% en cuanto al sub factor Nieve, pues todos fueron evaluados como lugares de ocurrencia nula o escasa de nieve.

En relación al sub factor de Lluvia, se tiene una Similitud Local de 67% para P6 y de 33% para P2. Ambos proyectos se desarrollaron en lugares que tienen más mm de agua caída anuales que P-P.

Por otro lado, P5 y P6 tienen un 50% de Similitud Local en relación al sub factor Temperatura. La diferencia es que P5 tiene peor condición que P-P, dado que tiene temperaturas anuales extremas con alta variación diaria, y P6 al contrario, tiene temperaturas anuales moderadas, y una baja fluctuación diaria, por tanto, mejor condición que P-P.

Finalmente, P2 y P5 tienen un 50% de Similitud Local en cuanto al sub factor Altitud, pues ambos se encuentran en rango medio de altitud (2.300 msnm y 3.000 msnm respectivamente), a diferencia de P-P que tiene la condición más desfavorable. En relación al mismo sub factor, P6 tiene Similitud mínima (0%), pues su altitud está dentro del rango más favorable (se ubica a 600 msnm).

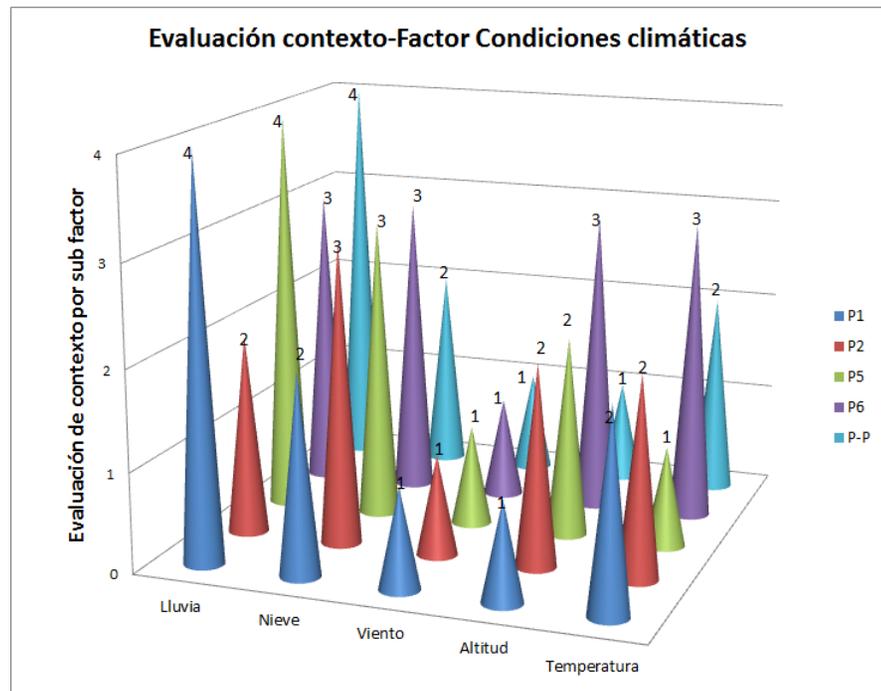
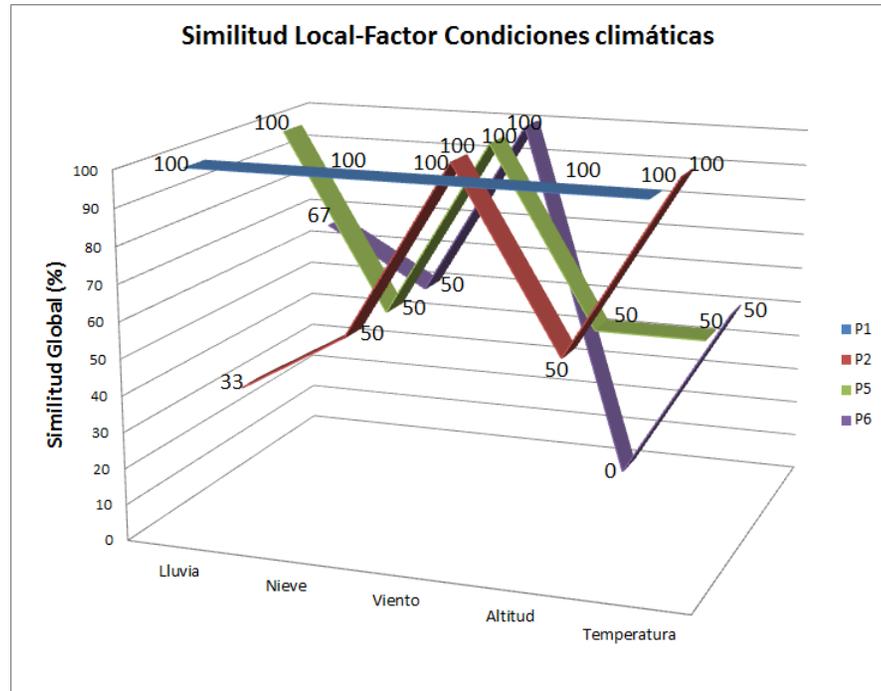


Figura 8-7: Similitud Local y contexto-Factor Condiciones climáticas

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, ajustes de rendimientos en cuanto al factor de Condiciones climáticas deben ser:

- A P2, P5 y P6 por tener mejores condiciones de Nieve que el proyecto P-P.
- A P2 y P6 por tener mayor cantidad de agua caída por año que el sector del proyecto P-P.
- A P5 y P6, por ser proyectos de peor y mejor condición de temperatura respectivamente, en relación a P-P.
- A P2 y P5, pues tienen condiciones más desfavorables y favorables respectivamente, en relación a P-P.

A nivel general, P6 tiene asociada la mejor condición climática y el menor grado de Similitud Global, por tanto, los rendimientos de actividades de este proyecto deberían ser ajustados en mayor magnitud en relación a este factor.

iv. Análisis de resultados de factor Condiciones de mano de obra

A nivel de Similitud Global, con respecto al sub factor Condiciones de mano de obra, se tiene que los proyectos más semejantes a P-P son P5 (100%), luego P1 y P2 (75%) y finalmente P6 (61%).

P1 y P2 tiene Similitud Local (Figura 8-8) de un 50% asociado al sub factor Competencias y experiencia de la M.O., pues tienen mejor condición asociada que el proyecto P-P. Esta es la única de contexto asociada a este factor para P1 y P2.

Por otro lado, P6 también tiene mejor condición que P-P, pero asociada al Régimen de turnos y al Sindicato (5 x2), donde tiene una Similitud Local de 33% (los otros proyectos semejantes tienen régimen de turno de 14x7). Junto con esto, lo que determina el menor grado de Similitud Global existente entre P6 y P-P, es

su Similitud Local mínima en relación al sub factor Sindicato, dada porque P6 es el único proyecto donde la mano de obra no se encuentra afiliada a un sindicato.

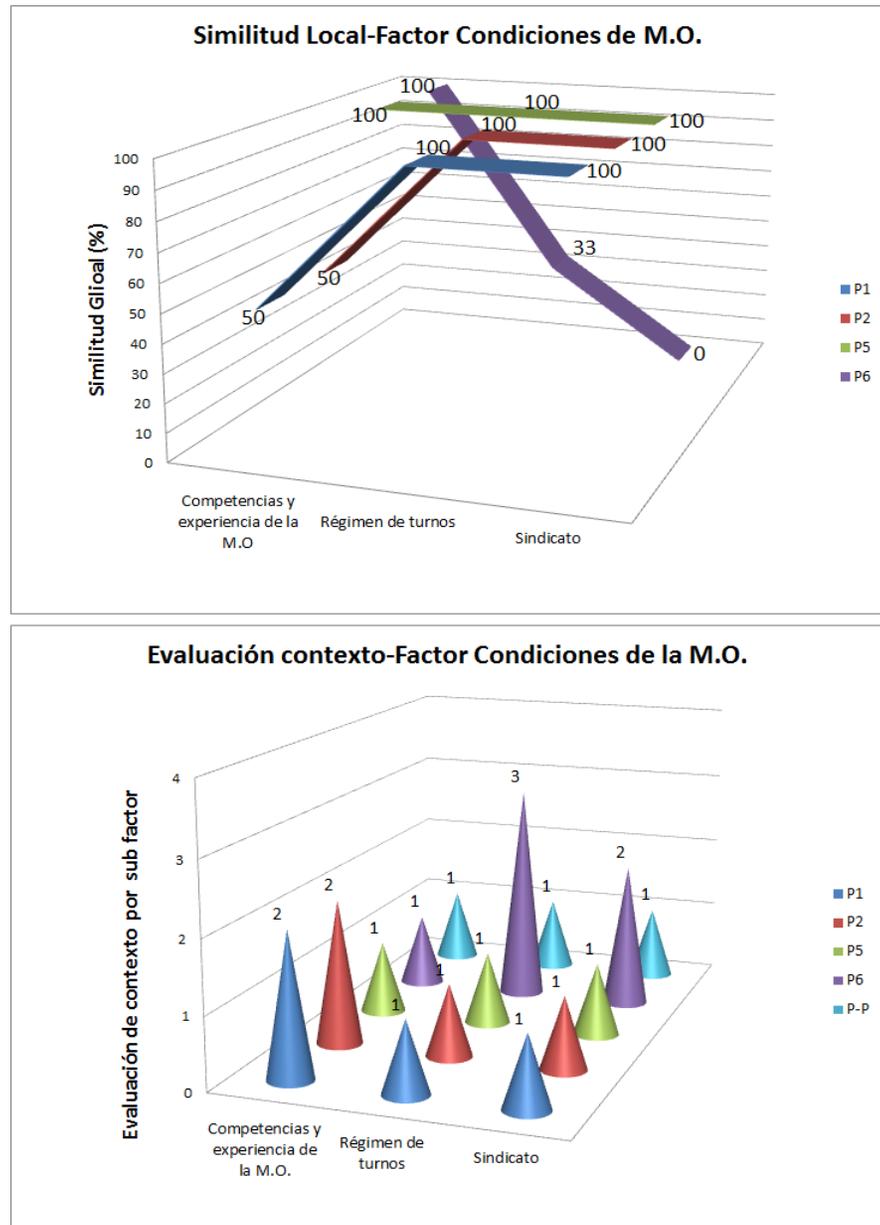


Figura 8-8: Similitud Local y contexto-Factor Condiciones de la M.O.

Fuente: Elaboración propia

Entonces, los ajustes de rendimientos en cuanto al factor de Condiciones de mano de obra deben ser:

- A P1 y P2 por tener mano de obra directa de mejor calidad que el proyecto P-P.
- A P6 por tener mejores condiciones que el proyecto P-P, en relación a los sub factores Régimen de turnos y Sindicato.

v. Análisis de resultados de factor Disponibilidad de equipos

En relación al factor Disponibilidad de equipos, la evaluación indica que todos los proyectos históricos tienen Similitud Global y Local máxima con P-P (Figura 8-9). Por tanto, no debería existir ajuste de rendimientos asociado a este factor.

vi. Análisis de resultados de factor Condiciones de sitio

De acuerdo a la Similitud Global del factor Condiciones de sitio, se tiene que el proyecto más semejante a P-P es P2 (69%), y a continuación se encuentran P6 (59%), P5 (56%) y P1 (35%). Por tanto, en relación a este factor, todos los rendimientos de los proyectos pasados deberían ser ajustados antes de ser utilizados en la estimación de P-P, en relación a la siguiente información:

La Similitud Local (Figura 8-10) de 50% indica que sólo P6 no coincide con la característica del sub factor Ubicación, pues este se ubica a menos tiempo de traslado de un centro productivo. Esto implica un ajuste para P6.

En relación al sub factor Accesibilidad, todos los proyectos tienen Similitud Local de 50% con P-P. P1, P2 y P6 están evaluados con una condición más desfavorable, a diferencia de P5, que es el único que tiene una mejor condición al respecto.

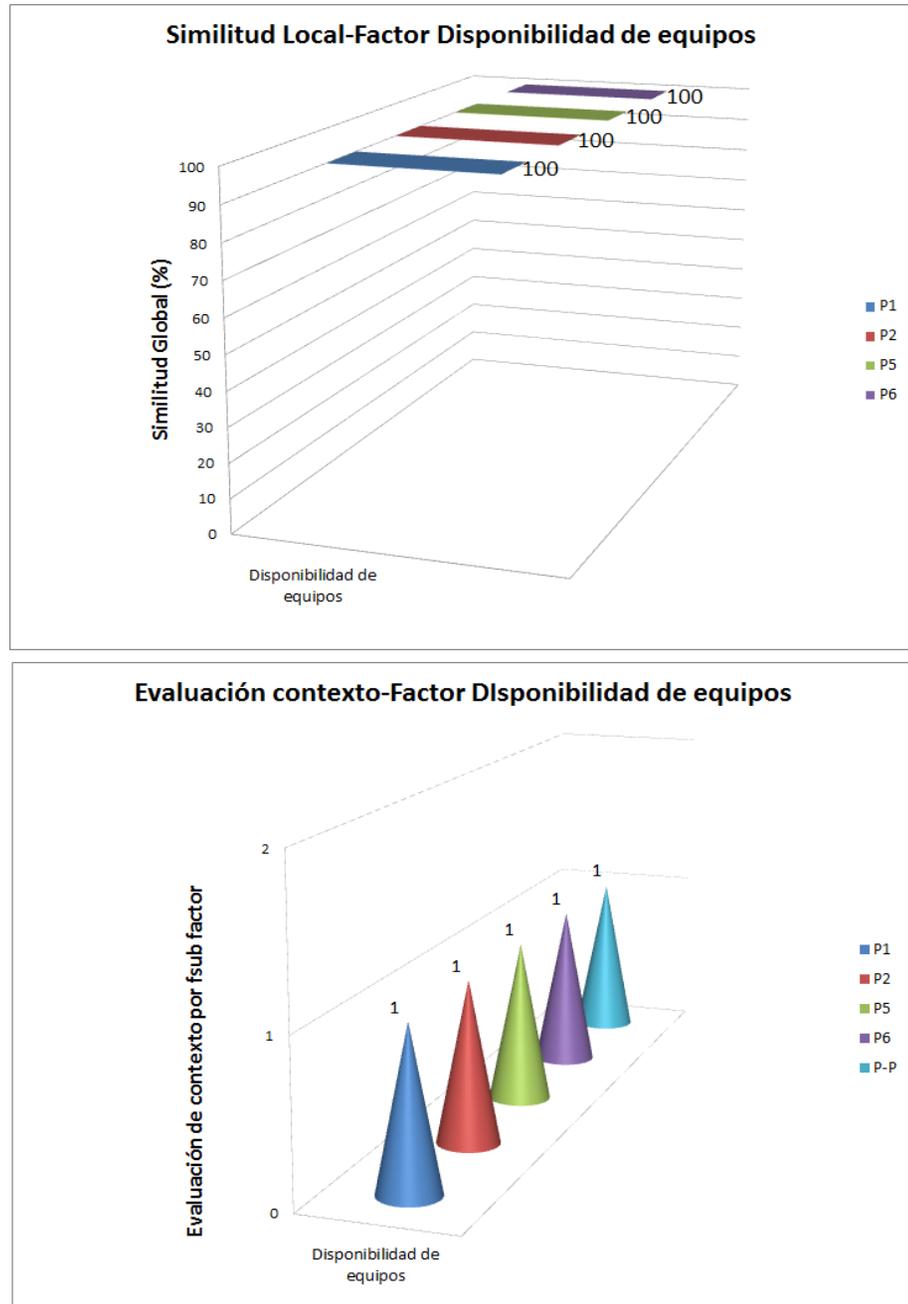


Figura 8-9: Similitud Local y contexto-Factor Disponibilidad de equipos

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al sub factor Calidad del suelo, todos los proyectos tienen diferente evaluación en relación a P-P. P1, P2 y P6 tienen Similitud Local mínima, pues el tipo de suelo tiene la peor condición expuesta. P5 tiene una Similitud Local mayor (50%), pero también posee una mejor condición de suelo asociada.

La Similitud Local del sub factor Topografía indica que P1, P5 y P6 tienen Similitud Local 0%, pues tienen una peor condición en relación a P-P.

Para P1 y P5 se tiene la misma situación de Similitud Local mínima, pues tienen asociada la peor condición de las tres alternativas posibles en relación al sub factor Conectividad.

Finalmente, de acuerdo al sub factor Conectividad y espacio interior, la Similitud Local indica que P1 y P2 fueron desarrollados en espacios de trabajo de tamaño suficiente, a diferencia de P-P que tiene condiciones limitadas al igual que P5 y P6, debido a que se desarrollaban en sectores actualmente en operación o con instalaciones próximas.

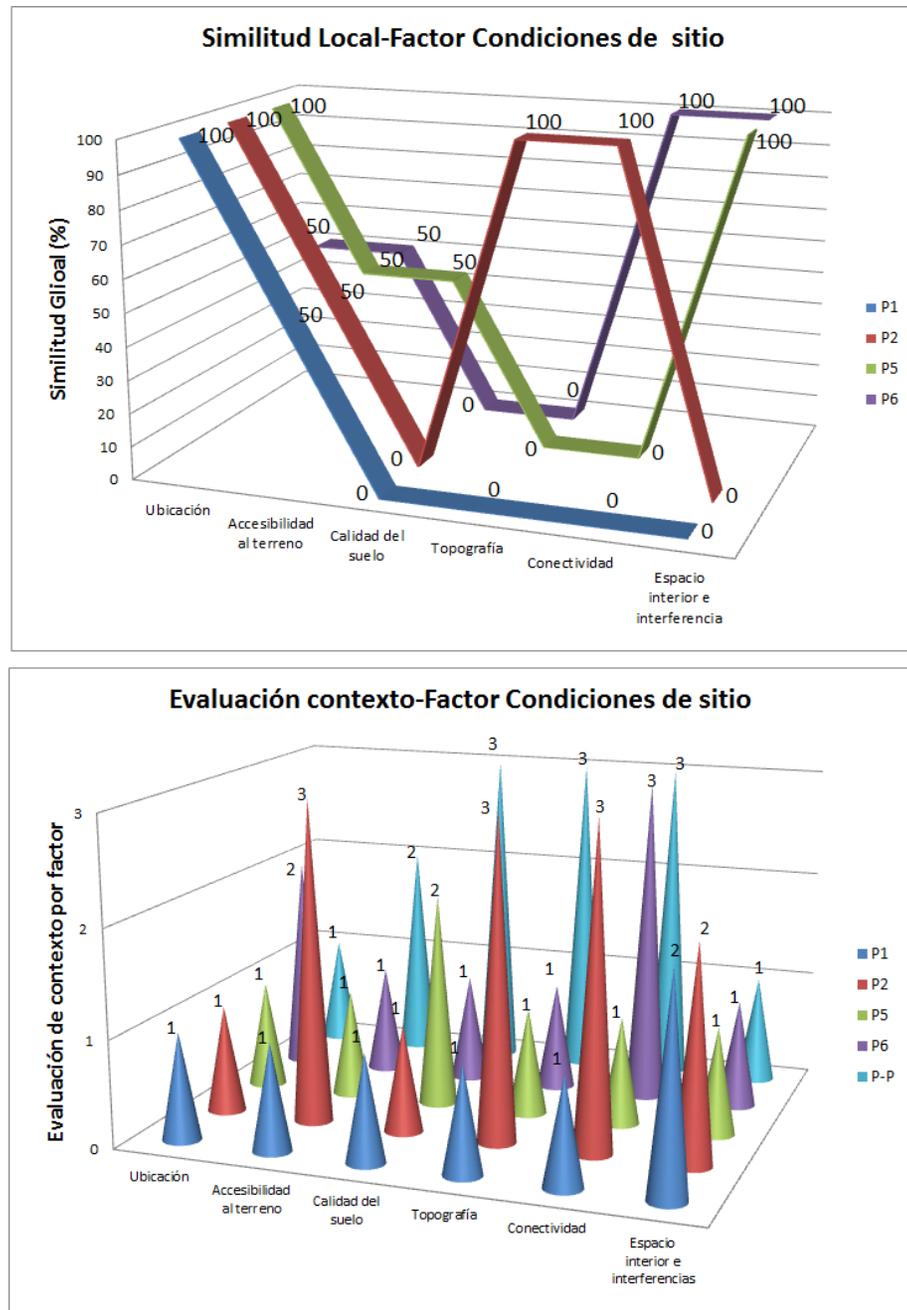


Figura 8-10: Similitud Local y evaluación de proyectos semejantes-Factor Condiciones de sitio

8.3.3 Aplicación simplificada a la estimación de rendimientos

Aun cuando el alcance de la metodología descrita no incluye la determinación de un valor recomendado de rendimiento estimado por actividad, sino más bien entregar la información adecuada y ordenada para servir de base en una estimación, se realiza una utilización simplificada de la información recuperada de rendimientos.

El rendimiento utilizado se determinó sólo considerando la información de Similitud de Proyecto, puesto que los ajustes a partir de similitudes más detalladas (Global y Local) podrían ser determinados contando con:

- Una base de datos histórica real de una gran cantidad de proyectos.
- La experiencia y juicio de uno o varios expertos estimadores de costos.

De acuerdo con estas limitantes, se recomienda por cada actividad que integra el proyecto de Prueba P-P, utilizar como rendimiento estimado el promedio de los rendimientos disponibles de los proyectos con Similitud de Proyecto seleccionados (P1, P2, P5 y P6).

Para ello, se debe considerar que no todos los proyectos históricos cuentan con un valor real para la actividad a estimar. La Tabla 8-3 muestra las actividades del proyecto P-P que cuentan con información real y estimada para contrastar, y los rendimientos reales disponibles por cada proyecto histórico.

Tabla 8-3: Datos históricos de rendimiento por actividad de proyectos históricos

Actividad	Unidad	P1	P2	P5	P6	P-P
Excavación estructural	m3	X	X		X	
Excavación en zanja	m3	X				
Excavación en zanja	m	X	X	X	X	X
Hormigón de fundación	m3	X	X	X	X	X
Hormigón de muros y vigas	m3		X		X	X
Hormigón de radier	m3	X			X	X
Montaje estructura liviana	kg	X	X		X	X
Montaje estructura mediana	kg		X		X	X
Montaje soportes	kg	X		X	X	
Montaje de bombas	un	X	X			
Montaje cañería acero carbono 2" a 4"	m		X	X		
Instalación conduit	m	X			X	X
Tendido cables CU malla tierra	m	X	X		X	X
Montaje equipos menores	un	X	X			X
Montaje equipos mayores	un	X	X			

Fuente: Elaboración propia

A continuación de la estimación de rendimientos indicada, se determina el mismo Factor de Productividad descrito con anterioridad con el fin de comparar los resultados obtenidos hasta ahora por la empresa con los obtenidos de la aplicación de la metodología. La Tabla 8-4 muestra el Factor de Productividad actual y el Factor de Productividad de la metodología, donde se destaca con color gris las actividades subestimadas. Las fórmulas de cálculo son:

$$FP \text{ actual} = \frac{\text{Rendimiento real}}{\text{Rendimiento estimado por empresa}}$$

$$FP \text{ metodología} = \frac{\text{Rendimiento real}}{\text{Rendimiento estimado por metodología}}$$

→ FP metodología

$$= \frac{\text{Rendimiento real}}{\left(\frac{\text{Rend. real P1} + \text{Rend. real P2} + \text{Rend. real P5} + \text{Rend. real P6}}{4} \right)}$$

Tabla 8-4: Coeficiente FP por actividad de los proyectos

Actividad	FP actual de P-P	FP metodología de P-P
Excavación en zanja 2	0,33	0,12
Hormigón de fundación	2,05	0,51
Hormigón de vigas y muros	1,07	2,04
Hormigón de radier	8,34	1,57
Montaje de estructura liviana	1,40	0,39
Montaje de estructura mediana	2,50	0,45
Instalación de conduit	0,47	0,18
Tendido de cables CU malla tierra	1,78	0,96
Montaje equipos menores	0,33	0,12
Total de actividades estimadas por proyecto	9	9
Actividades sub estimadas por proyecto (Cantidad y %)	6 (67%)	2 (22%)
Actividades sobre estimadas por proyecto (Cantidad y %)	3 (33%)	7 (78%)

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados de FP obtenidos, notamos que al considerar para la estimación la información real para la estimación de rendimientos, y por otro lado,

filtrar la información histórica de acuerdo a la similitud del contexto de los proyectos, es posible obtener para el proyecto de prueba P-P una menor cantidad de actividades con sub estimación de rendimientos.

Considerando la limitación de datos, no es posible comprobar con mayor cantidad de ejemplos la bondad de la estimación simplificada. Sin embargo, al aumentar la retroalimentación de la base de datos histórica con más proyectos reales, es posible definir un límite de Similitud de Proyecto más estricta que la actualmente utilizada (70%). Con esta condición, los ajustes relacionados con la información de similitudes más detalladas tenderían a ser menor en magnitud y cantidad de sub factores.

8.4 Principales resultados obtenidos del análisis realizado

El análisis de resultados obtenidos realizado se compone de tres aspectos, los que se describen a continuación.

Primero, se analiza la relación existente entre el contexto de ejecución de los proyectos históricos y los rendimientos obtenidos en cada uno. A través de este análisis, basado en la utilización de un Índice de Contexto de Proyecto, es posible verificar que en la mayoría de las actividades estudiadas de los 6 proyectos disponibles, existe una relación inversamente proporcional entre la bondad del contexto de un proyecto y la cantidad de recursos que se requiere para su ejecución. Por tanto, para gran parte de las actividades estudiadas, existe una menor utilización de recursos a medida que el contexto de ejecución de los proyectos se vuelve más favorable.

Posteriormente, se revisa la exactitud de las estimaciones de rendimientos realizadas hasta ahora por el Departamento de Estudios de la empresa. Para ello, se

calcula por cada actividad de los 7 proyectos disponibles (6 proyectos históricos y 1 proyecto de prueba) un indicador denominado Factor de Productividad. Este indicador se determina como el cociente entre el rendimiento real y el rendimiento estimado.

Aun cuando la cantidad de proyectos de la muestra analizada es de tamaño reducido, es posible notar, en consistencia con lo indicado en la literatura, que para estos 7 proyectos son más frecuentes las sub estimaciones de actividades ($FP < 1$) que las sobre estimaciones ($FP > 1$). En esta misma línea, los problemas de exactitud en cuanto a la frecuencia y la magnitud de la desviación, son mayores para los proyectos que fueron realizados en condiciones menos favorables, según el Índice de Contexto de Proyecto descrito en el análisis anterior (P2, P5, P-P y P6). Estos resultados podrían indicar que actualmente el Departamento de Estudios desarrolla una consideración inadecuada del efecto del contexto de ejecución de los proyectos sobre los rendimientos esperados. Y en términos más precisos, podríamos concluir que el actual método de estimación de rendimientos utilizado por la empresa presenta un peor desempeño cuando el contexto del proyecto a estimar se aleja de una condición normal o favorable.

Finalmente, se muestra un análisis de la aplicación de la metodología propuesta a un caso de prueba, Proyecto P-P. El proceso de recuperación de la información histórica disponible, indica que dada la Similitud de Proyecto mínima requerida con el P-P, sólo es adecuado reutilizar los rendimientos reales de los proyectos P1, P2, P5 y P6. A continuación, y dada la gran variabilidad de proyectos de construcción existentes, el estimador debe ajustar los datos recuperados. Este ajuste, tiene origen en dos aspectos:

- *Las diferencias de contexto del proyecto en sí (A nivel de proyecto):* Notamos que para los 4 proyectos, existe mayor similitud con P-P en aspectos

relacionados con la Complejidad del proyecto y Disponibilidad de equipos, por lo que sólo deben asociarse ajustes menores. En cambio, para el resto de los factores, los proyectos históricos presentan diferente grado de similitud con P-P. Esto implicará analizar las Similitudes Globales, Locales y las evaluaciones del contexto, para determinar las fuentes de diferencia y si esta se genera por una condición más o menos favorable.

- *La cantidad de la actividad estimada (A nivel de actividad):* El estimador debe considerar también que el rendimiento se ve afectado por la cantidad de unidades realizadas, dado que determina el nivel de repetición y aprendizaje.

Una estimación simplificada de rendimientos para las actividades del proyecto P-P, de acuerdo a la consideración exclusiva de los rendimientos reales de los proyectos más semejantes, indica que es posible obtener una menor cantidad de actividades subestimadas. Este resultado no se puede validar, dada la cantidad limitada de proyectos históricos.

9. DESARROLLO Y APLICACIÓN DEL PROTOTIPO

Con el objeto de presentar la metodología propuesta, se ha desarrollado un prototipo computacional cuyo objetivo es entregar herramientas que sirvan de apoyo a los estimadores para la predicción de rendimientos de actividades de un nuevo proyecto de construcción.

Este prototipo o Sistema de Incorporación del Contexto en la Estimación de Costos, en adelante SICEC, permitirá establecer y adecuar los criterios de estructuración, selección y recuperación de la información histórica de acuerdo a su grado de pertinencia en una nueva estimación. Esta pertinencia se determina en función de la similitud de contexto de ejecución entre el proyecto nuevo y cada uno de los proyectos pasados, en base a los factores y sub factores cualitativos críticos establecidos.

De esta forma, un estimador podrá disponer de información real, ordenada y completa, que servirá como base para determinar las diferencias relevantes entre los contextos de ejecución de los proyectos y establecer así, los ajustes a los rendimientos históricos necesarios para su reutilización.

El desarrollo del prototipo computacional se estructura en dos partes. En primer lugar, la creación de un modelo y base de datos, acorde a los requerimientos particulares de una empresa. En segundo lugar, el desarrollo de la aplicación computacional propiamente tal. Este capítulo describe los aspectos más importantes del diseño, construcción y operación del sistema SICEC.

9.1 Propósito

SICEC es un prototipo computacional que muestra en detalle la forma de aplicar la metodología propuesta y el alcance de la misma. Está orientado a entregar al

usuario información histórica relevante en la estimación de rendimientos de actividades para nuevos proyectos de construcción.

9.2 Alcance

SICEC es una aplicación web que incluye las siguientes funcionalidades básicas:

- Ingreso de información real: Permite el enriquecimiento de la base de datos con información histórica referente a proyectos realizados.
- Captación histórica para la estimación: Permite la recuperación de rendimientos históricos, obtenidos en base a la similitud de contexto entre el nuevo proyecto y los proyectos reales de la base de datos.
- Ajuste de Metodología: Permite ajustar los parámetros de la metodología genérica propuesta, en función de la realidad de la empresa o proyectos en cuestión.

Con estas consideraciones, es posible definir el alcance de SICEC en base a los siguientes puntos:

- Capacidad de recolectar información para poblar la base de datos creada. Para esto se ha diseñado una interfaz de recolección de datos.
- Permitir la actualización de la base de datos a medida que nueva información se encuentra disponible, como por ejemplo: proyectos terminados recientemente, resultados de actividades completadas, datos útiles presentes en la industria, etc.
- Cálculo de Similitudes Locales, Globales y a nivel de Proyecto, entre un proyecto ingresado para estimar, y el total de los proyectos contenidos en la base de datos histórica.
- Elaboración de reportes pertinentes.

9.3 Arquitectura del Sistema

Los módulos de servicio implementados para SICEC son 3 (Figura 9-1) y corresponden a las funciones requeridas para aplicar la metodología descrita:

- Ingreso de Proyectos Reales: Ingreso de información real para construir o complementar la base de datos histórica.
- Estimación de Nuevos Proyectos: Ingreso del proyecto que se requiere estimar para disponer de la información histórica relevante. Este módulo entrega reportes con información relevante para estimar los rendimientos.
- Ajuste de la Metodología de incorporación del contexto propuesta: Realización de todos los ajustes que la metodología define. Estos se pueden realizar a las ponderaciones o pesos relativos de factores y sub factores de contexto, a los factores o sub factores incluidos y considerados, y finalmente, a las definiciones alternativas de contexto por cada sub factor.

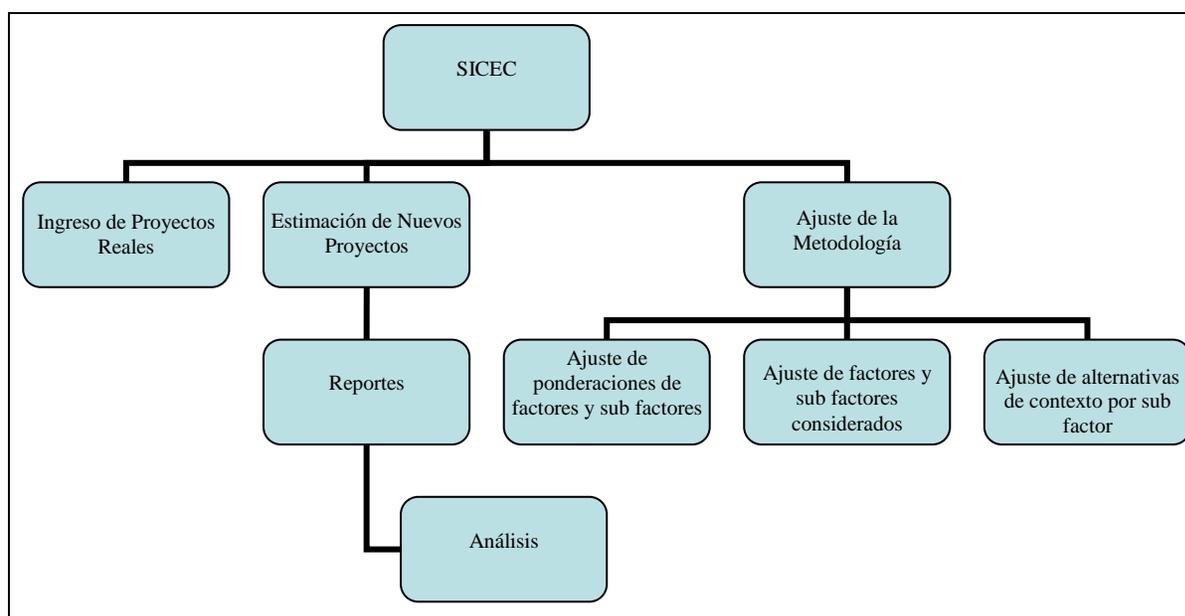


Figura 9-1: Módulos de servicio implementado para SICEC

Fuente: Elaboración propia

En referencia a la arquitectura lógica, SICEC ha sido desarrollado en base a los lineamientos generales provistos por el patrón MVC: Modelo-Vista-Controlador. Este paradigma de diseño orienta el desarrollo a la identificación y tratamiento particular del modelo de realidad, la vista de modelo y el controlador del mismo en forma independiente. La Figura 9-2 muestra cómo estas partes se relacionan entre sí para dar vida a un software funcional.

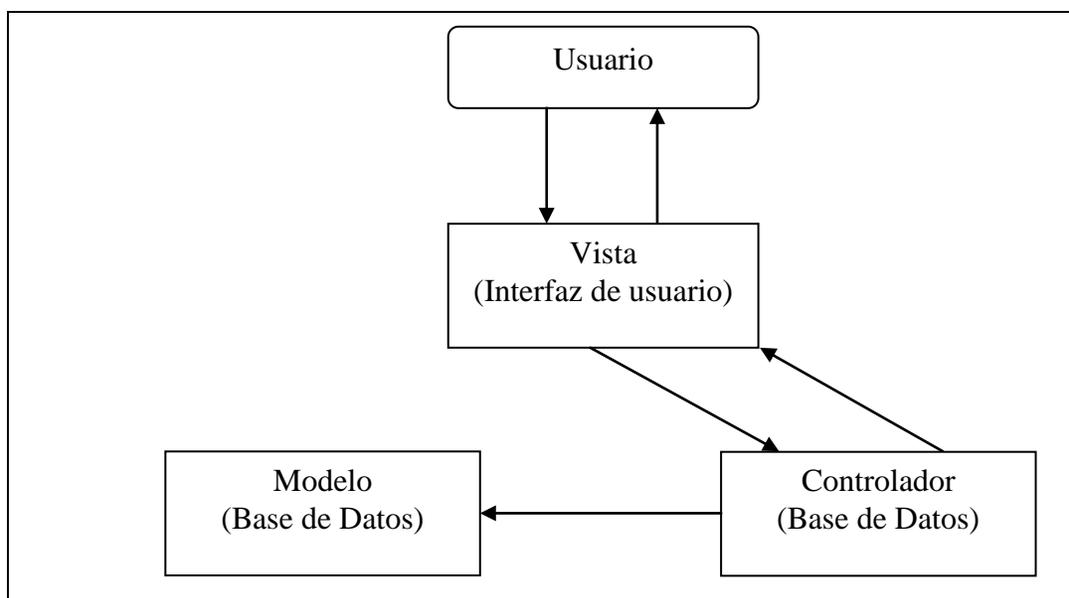


Figura 9-2: Modelo-Vista-Controlador

Fuente: Elaboración propia

El usuario interactúa con la vista o interfaz de usuario ingresando información de proyectos, ajustes, etc. La vista o interfaz notifica al controlador de software de la solicitud que el usuario haga y lleva a cabo las acciones correspondientes, que en general corresponderán a actualizar la información contenida en la base de datos. Con esto la vista es notificada por el controlador y se actualiza con la nueva información obtenida desde el modelo (Base de Datos).

9.4 Diseño e implementación de la Base de Datos

Se desarrolló una base de datos en SQL Server, bajo la siguiente metodología (Figura 9-3):

En primer lugar, se modeló la información requerida, para lo que se utiliza la herramienta del Modelo Entidad-Relación (Anexo I). Esto facilita la identificación de las entidades, sus propiedades y las relaciones importantes presentes en el sistema de información.

A continuación, el Modelo Entidad-Relación fue llevado a un modelo particular para construir bases de datos, denominado Modelo Relacional (Figura 9-4). Este permite modelar los problemas reales y administrar los datos de forma dinámica.

Finalmente, se pasó la información estructurada a un sistema de almacenamiento real, es decir, se crea la Base de Datos Relacional. Esta fue desarrollada en SQL Server, gestor de bases de datos de Microsoft.

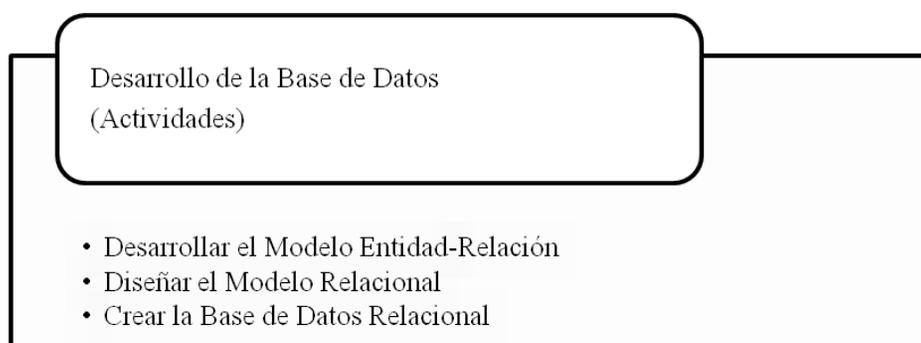


Figura 9-3: Actividades para desarrollar la Base de Datos

Fuente: Elaboración propia

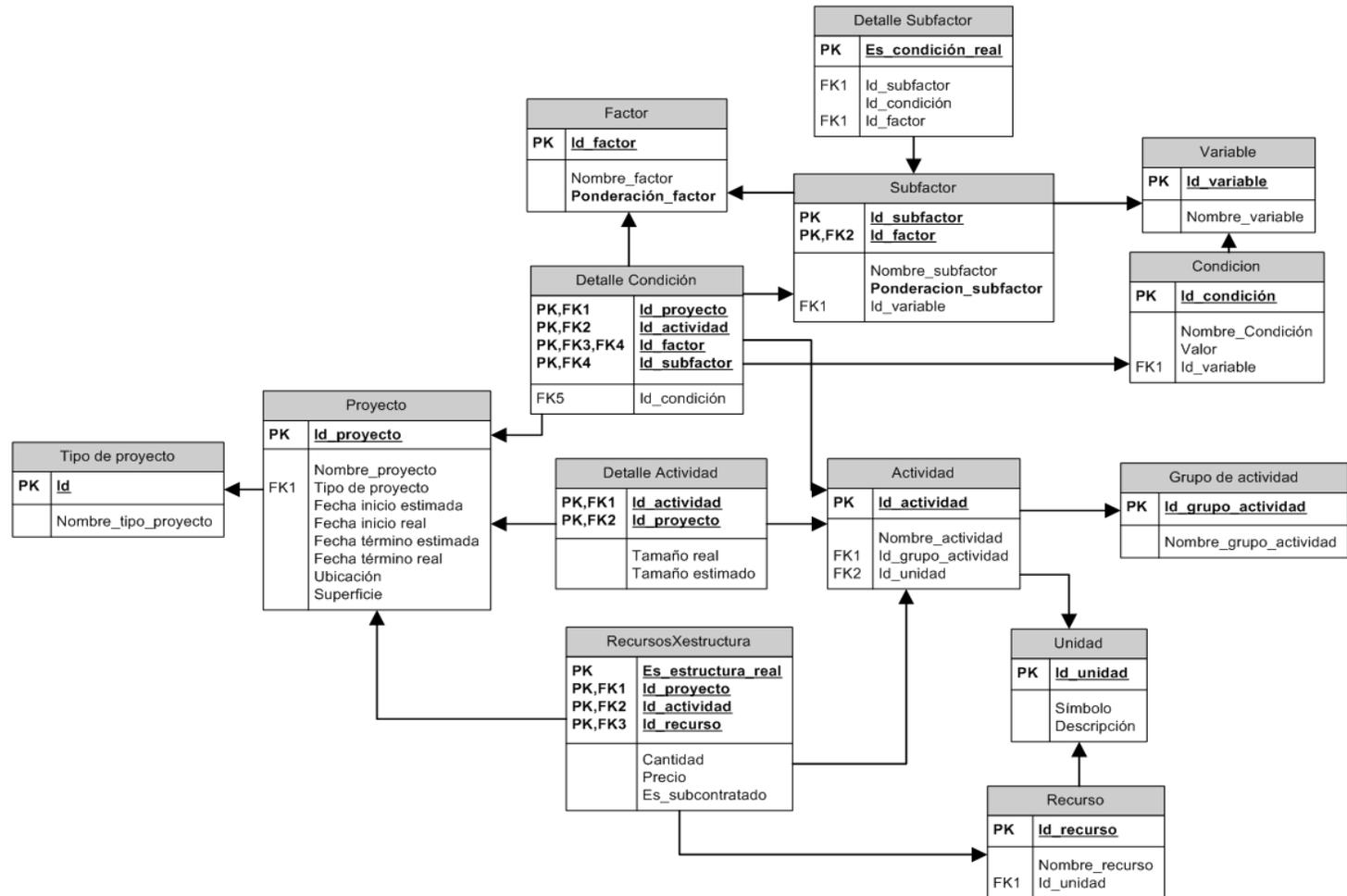


Figura 9-4: Modelo Relacional

Fuente: Elaboración propia

9.5 Funcionamiento y aplicación del prototipo

Al iniciar el prototipo, el usuario tiene 3 opciones posibles a seguir, las que fueron descritas en la Arquitectura del Sistema (Figura 9-5).

- Ingresar un Proyecto Realizado.
- Estimar un Nuevo Proyecto.
- Ajuste de Metodología.

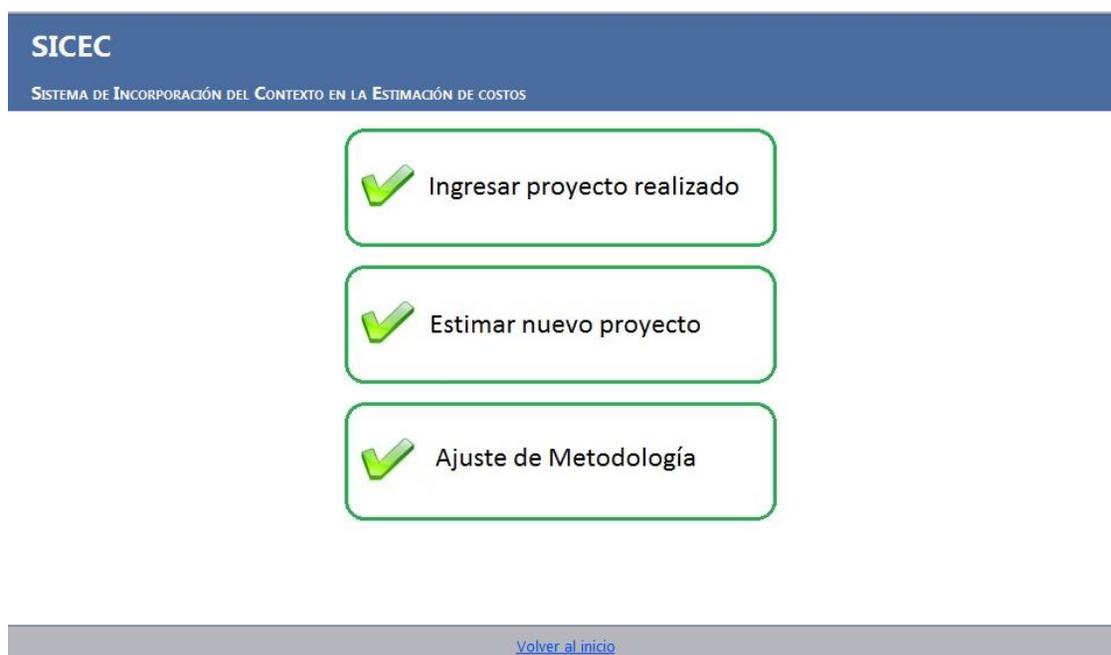


Figura 9-5: Funciones iniciales del prototipo computacional

Fuente: Elaboración propia

9.5.1 Ajuste de metodología

La primera función del prototipo es realizar ajustes a la metodología desarrollada, los que se pueden deber a dos causas:

- a) Inicialmente, la metodología está construida en base a los factores, sub factores, variables, y condiciones genéricas, además de pesos relativos de factores y sub factores equivalentes. Por tanto, para su aplicación se deben realizar los ajustes dependiendo de la realidad de la empresa a la que se aplica.
- b) Por otro lado, a medida que se retroalimenta la base de datos con nuevos proyectos reales, se requiere calibrar la metodología para mejorar la estimación de rendimientos.

Los ajustes permitidos y los resultados entregados se muestran en la Figura 9-6.

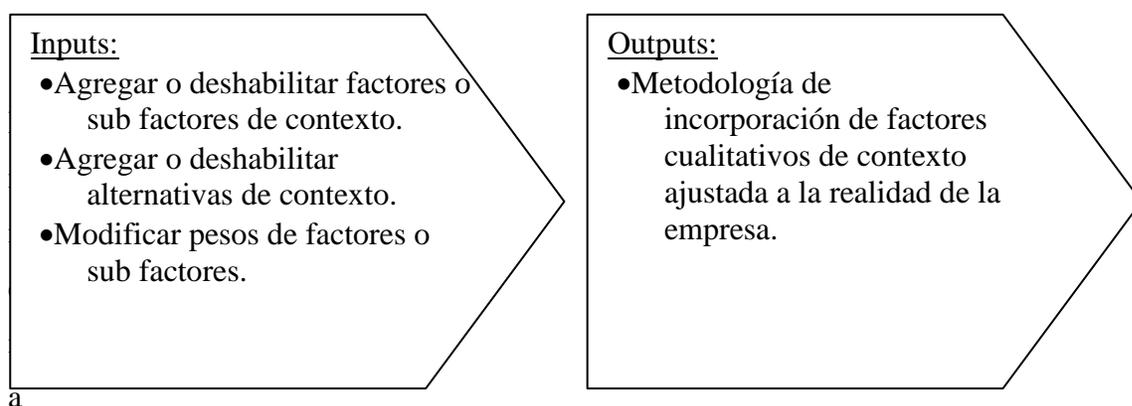


Figura 9-6: Inputs y outputs de función de ajuste

Fuente: Elaboración propia

La Figura 9-7 muestra la primera ventana de la función de ajustes. En esta es posible ingresar un nuevo factor, deshabilitar alguno de los ya ingresados, o modificar los pesos relativos asociados a estos. A su vez, la Figura 9-8 muestra la ventana de modificación de sub factores asociados al factor *Complejidad del proyecto*. Por cada sub factor, es posible ingresar un nuevo sub factor, deshabilitar alguno de los existentes, o modificar los pesos relativos asociados a estos. Por cada sub factor ingresado, se debe indicar la variable de la que dependen las

condiciones de contexto posibles. Es necesario tener en cuenta que por cada factor o sub factor ingresado o deshabilitado, se debe realizar el ajuste de pesos relativos asociados, de manera que estos sumen 1.

La Figura 9-9 muestra la ventana de modificación de condiciones de contexto para el sub factor *Grado de innovación del proyecto*. Por cada sub factor, es posible ingresar una nueva condición o deshabilitar alguna de las propuestas. Es necesario tener en cuenta que por cada condición ingresada o deshabilitada, se debe realizar el ajuste de valores asociados, de manera que estos siempre mantengan el orden de más a menos favorable.

SICEC
SISTEMA DE INCORPORACIÓN DEL CONTEXTO EN LA ESTIMACIÓN DE COSTOS

Evaluación de Contexto

[Factor: Complejidad del proyecto](#)

[Factor: Calidad de la información y documentación del proyecto](#)

[Factor: Condiciones climáticas del proyecto](#)

[Factor: Condiciones de la mano de obra](#)

[Factor: Condiciones de sitio](#)

[Factor: Disponibilidad de equipos](#)

Ingrese nuevo factor...

Guardar factor

Guardar Configuración

[Volver al inicio](#)

Ponderación:	0,25	<input checked="" type="checkbox"/> Habilitar
Ponderación:	0,09	<input checked="" type="checkbox"/> Habilitar
Ponderación:	0,25	<input checked="" type="checkbox"/> Habilitar
Ponderación:	0,14	<input checked="" type="checkbox"/> Habilitar
Ponderación:	0,15	<input checked="" type="checkbox"/> Habilitar
Ponderación:	0,12	<input checked="" type="checkbox"/> Habilitar

Figura 9-7: Ajustes a factores

Fuente: Elaboración propia



Figura 9-8: Ajustes a sub factores

Fuente: Elaboración propia



Figura 9-9: Ajustes a condiciones de sub factores

Fuente: Elaboración propia

9.5.2 Ingresar un proyecto real

La segunda función del prototipo es ingresar un proyecto real, para conformar la base de datos histórica. Este proyecto que puede o no haber sido ingresado previamente como estimado. Para esta operación, los inputs y resultados se ven en la Figura 9-10.

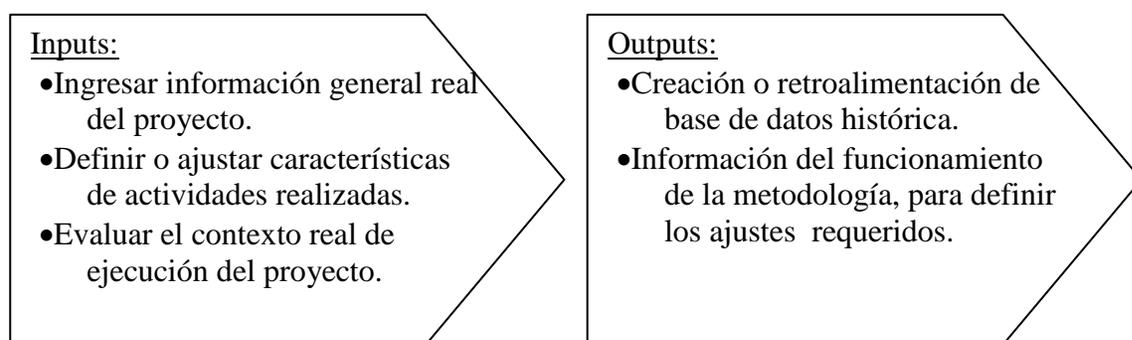


Figura 9-10: Inputs y outputs de función de ingreso de proyecto real

Fuente: Elaboración propia

La Figura 9-11 muestra la primera ventana de la función de ingreso de un proyecto real, correspondiente al ingreso de información general. Esta se compone de indicar si es Nuevo Proyecto o Proyecto con Estimación Previa, seleccionar el tipo de proyecto, indicar la fecha de inicio y término real, y la ubicación.

La Figura 9-12 muestra una ventana de la función de ingreso de proyecto real, correspondiente al ingreso de las actividades desarrolladas con la cantidad asociada, y los recursos totales utilizados en su ejecución (HH por actividad).

La Figura 9-13 muestra una ventana de la función de ingreso de un proyecto real, correspondiente al ingreso del contexto real de ejecución del proyecto.

Para ello, se escoge una de las alternativas de condición propuestas por cada sub factor.

The screenshot shows the SICEC system interface. At the top, there is a blue header with the text "SICEC" and "SISTEMA DE INCORPORACIÓN DEL CONTEXTO EN LA ESTIMACIÓN DE COSTOS". Below the header, the section is titled "Información General del Proyecto".

The form contains the following fields:

- Seleccione tipo de datos:** A dropdown menu with "Nuevo Proyecto" selected. A tooltip shows two options: "Nuevo Proyecto" and "Proyecto con estimación previa".
- Nombre Proyecto:** A text input field.
- Tipo Proyecto:** A dropdown menu with "EPC de Planta Industrial" selected.
- Fecha de Inicio Real:** A date input field.
- Fecha de Terminó Real:** A date input field.
- Ubicación:** A text input field.

At the bottom of the form, there is a blue button labeled "Guardar Proyecto".

Figura 9-11: Ingreso de información general de proyecto realizado

Fuente: Elaboración propia

The screenshot shows the SICEC system interface for activity entry. At the top, there is a blue header with the text "SICEC" and "SISTEMA DE INCORPORACIÓN DEL CONTEXTO EN LA ESTIMACIÓN DE COSTOS". Below the header, the section is titled "Ingreso de Actividades Proyecto: Ampliación Mineroducto a 8\"".

The form contains the following fields:

- No existen Actividades Ingresadas:** A text box indicating no activities have been entered.
- Grupo de Actividad:** A dropdown menu with "Obras civiles" selected.
- Actividad:** A dropdown menu with "Hormigón de fundación" selected.
- Cantidad Real:** A text input field with the value "138" entered and circled in red.
- Costo Real:** A text input field with a "Calcular" button next to it.
- RECURSO HH:** A section header.
- HH:** A text input field with the value "59" entered and circled in red.
- Costo Unitario HH:** A text input field with the value "10000" entered.

At the bottom of the form, there is a black button labeled "Ingresar Recurso".

Figura 9-12: Ingreso de actividades de proyecto realizado

Fuente: Elaboración propia

SICEC
SISTEMA DE INCORPORACIÓN DEL CONTEXTO EN LA ESTIMACIÓN DE COSTOS

Evaluación de Contexto
[Factor: Complejidad del proyecto](#)

[Subfactor: Tipo de proyecto](#)

Real Estimado	Alternativas de Condición
<input type="checkbox"/>	Proyecto EPC de plantas industriales.
<input type="checkbox"/>	Montaje de plantas industriales como Plantas de Flotación de Arenas, Plantas de Cal, Plantas de Preparación de Sal, Plantas Neutralizadoras, etc.
<input type="checkbox"/>	Construcción de obras portuarias.
<input type="checkbox"/>	Ampliación o reubicación de estructuras o equipos.
<input type="checkbox"/>	Servicios de apoyo para mantenimiento y operación de plantas mineras.

[Guardar Contexto](#)

[Subfactor: Nivel de exigencia y restricciones de ITO y mandante](#)

Real Estimado	Alternativas de Condición
<input type="checkbox"/>	Exigen múltiples y complicados procedimientos, protocolos, manuales o charlas relacionadas con la calidad, seguridad o medioambiente en relación a la industria en general, por lo que se puede predecir que impedirán avanzar de manera continua con la obra
<input type="checkbox"/>	Exigen múltiples pero simples procedimientos, protocolos, manuales o charlas relacionadas con la calidad, seguridad o medioambiente, en relación a la industria en general. Su cumplimiento podría afectar en cierto grado la continuidad de la obra

Figura 9-13: Ingreso de contexto de proyecto realizado

Fuente: Elaboración propia

9.5.3 Estimación de un proyecto

La tercera función del prototipo es estimar un proyecto. En este caso los inputs y los resultados entregados se muestran en la Figura 9-14. A modo de ejemplificar la estimación de un proyecto nuevo, se utiliza el mismo proyecto de prueba P-P descrito en el capítulo anterior.

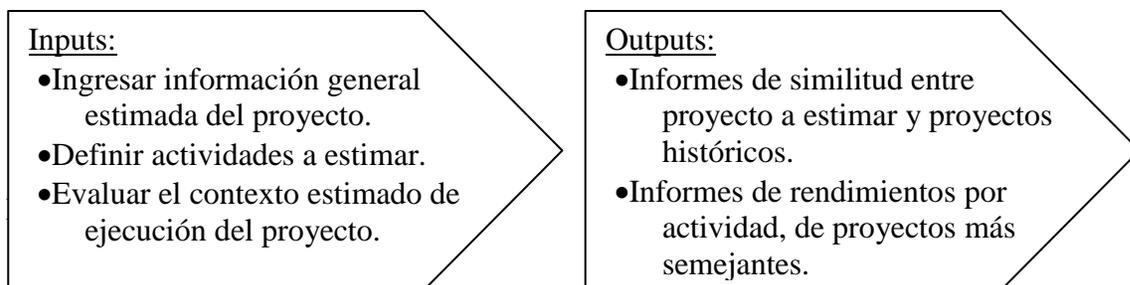


Figura 9-14: Inputs y outputs de función de estimación de un proyecto

Fuente: Elaboración propia

La primera ventana de la función estimar un proyecto, correspondiente al ingreso de su información general, y tiene la misma configuración que cuando se ingresa un proyecto real.

A continuación se realiza al ingreso de las actividades a estimar. La Figura 9-15 muestra una ventana del prototipo asociada a esto, en la que se deben ingresar todas las cantidades estimadas de las actividades pertenecientes al nuevo proyecto.

El paso que sigue, corresponde al ingreso del contexto del proyecto a estimar, el que opera de la misma forma que cuando se ingresa un proyecto real, con la diferencia de que la evaluación de contexto se realiza en la columna “Estimado”.

En Anexo J se muestran los 4 reportes que se entregan para la estimación de rendimientos del proyecto ingresado, además de la ventana de Análisis de los Rendimientos Estimados, en la que se muestra por cada actividad su cantidad estimada e ingresada con anterioridad. El usuario puede ingresar los rendimientos mínimos, esperados y máximos, además del costo unitario de HH. A continuación SICEC calcula las HH y costos totales mínimos, esperados y máximos.

SICEC					
SISTEMA DE INCORPORACIÓN DEL CONTEXTO EN LA ESTIMACIÓN DE COSTOS					
Ingreso de Actividades Proyecto: Proyecto de Prueba P-P					
Actividad	Especialidad	Cantidad Real	Cantidad Estimada	HH Reales	HH Estimadas
Excavación en zanja 2	Movimiento de Tierra	902,2			
Hormigón de fundación	Obras civiles	778			
Hormigón de muros y vigas	Obras civiles	59,91			
Hormigón de radier	Obras civiles	2354,76			
Montaje estructura liviana	Montaje de estructuras metálicas	315859			
Montaje estructura mediana	Montaje de estructuras metálicas	166825			
Instalación conduit	Instalaciones eléctricas e instrumentación	5152			
Tendido cables CU malla tierra	Instalaciones eléctricas e instrumentación	3674,64			
Montaje equipos menores	Instalaciones eléctricas e instrumentación	23,5			

[Agregar Actividad](#)

Figura 9-15: Ingreso de actividades de proyecto a estimar

Fuente: Elaboración propia

9.6 Aspectos relacionados con la implementación

SICEC es un prototipo que fue desarrollado con la plataforma ASP.NET 4.0, y la base de datos corresponde a una implementación SQL SERVER 2008.

El prototipo es de carácter demostrativo, por lo tanto en su implementación se ha supuesto que los inputs del usuario serán de tipo correcto en cada etapa. En este sentido, el prototipo no está preparado para procesar texto en casillas que solicitan información numérica. Por otra parte, se realizaron las siguientes simplificaciones para la prueba desarrollada:

- Se considera sólo el recurso Mano de obra, medido en HH.
- No se considera la existencia de actividades subcontratadas a estimar.

Finalmente, para poder implementar adecuadamente el prototipo desarrollado, previamente se requiere que la organización interesada realice un esfuerzo importante en la recolección y ordenamiento de la información requerida. Para ello, primero se necesita definir un sistema estructurado de comunicación y retroalimentación con obras, puesto que la obtención adecuada de la información real y detallada, sería la principal falencia identificada en el manejo de datos de las empresas de construcción y/o de montaje industrial.

9.7 Principales puntos del prototipo desarrollado

Se presenta el diseño, construcción y operación del sistema SICEC (Sistema de Incorporación del Contexto en la Estimación de Costos). SICEC es un prototipo computacional que permite aplicar y visualizar el funcionamiento de la metodología presentada en esta investigación, y fue desarrollado con la plataforma ASP.NET 4.0, y la base de datos corresponde a una implementación SQL SERVER 2008.

SICEC tiene implementados 3 módulos de servicio, los que son presentados paso a paso a través de un ejemplo realizado para visualizar su funcionalidad:

- Ingreso de información real: Permite el enriquecimiento de la base de datos con información histórica referente a proyectos ya realizados. Se ingresan los 6 proyectos disponibles para formar la base de datos de la empresa.
- Captación histórica para la estimación: Permite la obtención de rendimientos históricos obtenidos en base a la similitud de contexto entre el nuevo proyecto y los proyectos reales de la base de datos. Para ello, se ingresa el proyecto de Prueba P-P, y SICEC calcula las similitudes entre este y los 6 proyectos históricos. Esta función finaliza con la entrega de los 4 reportes requeridos para recuperar, analizar y reutilizar los rendimientos pasados.

- Ajuste de Metodología: Permite ajustar los componentes genéricos de la metodología, en función a la realidad de la empresa o proyectos en cuestión. Por tanto, este paso de ajustes es la primera actividad que se debe realizar al implementar el prototipo.

A través de SICEC es posible verificar la funcionalidad de la metodología propuesta, además de la posibilidad de definir una forma sistemática y estructurada para incorporar las variables cualitativas del contexto de ejecución de los proyectos, a la estimación del rendimiento de los mismos.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se desarrollan las conclusiones generales y específicas, se indican los principales aportes de la investigación y se definen algunos lineamientos para futuros estudios complementarios.

10.1 Conclusiones generales

A modo de conclusión general, es posible indicar que la estimación de costos es un proceso crítico para el éxito de un proyecto, y que esta se desarrolla generalmente en base a la estructuración y procesamiento de la información histórica, en conjunto con los criterios y experiencia de los estimadores, además de la información actualizada obtenida del mercado.

La revisión bibliográfica y las entrevistas realizadas, muestran que la estimación de rendimientos unitarios, uno de los componentes de la estimación de costos del método tradicional de estimación, se realiza principalmente a nivel de conocimiento individual, y con documentación y análisis incompleto, subjetivo y poco integrado de la experiencia pasada de la organización.

Investigaciones anteriores indican que los aspectos mencionados, además de la falta de consideración formal de los aspectos cualitativos de la condición de ejecución de los proyectos, sería uno de los causantes del mal desempeño de las estimaciones de costos ampliamente documentados.

Dado lo anterior, y en cumplimiento con el objetivo general de esta investigación, se desarrolla, describe y aplica una metodología que permite incorporar de manera formal y sistemática a la estimación de costos, los principales aspectos cualitativos que determinan el contexto de ejecución de los proyectos de construcción. Esta metodología define criterios de estructuración, selección y recuperación de la

información histórica real, logrando como consecuencia disminuir el sesgo individual en la estimación.

10.2 Conclusiones específicas por cada resultado

Mediante el desarrollo de la presente investigación, es posible dar respuesta a los 4 objetivos específicos definidos inicialmente, lo que se describe a continuación.

El primer resultado obtenido es un procedimiento genérico de estimación, el que fue construido a partir de entrevistas realizadas a una pequeña muestra de estimadores de costos de empresas que desarrollan proyectos de construcción y montaje industrial. Este procedimiento indica que existen falencias relacionadas con la estructuración y utilización de la información histórica. En relación a la estructuración de la información, resalta la falta de documentación disponible, lo que se asocia por un lado a la comunicación y retroalimentación insuficiente e informal entre el Departamento de Estudios y la Oficina Técnica de Obra, y por otro, a la carencia de formatos uniformes de recolección y ordenamiento de la información requerida. En cuanto a la actual utilización de información, es posible notar que los criterios de ajuste o selección de rendimientos, sí integran las variables cualitativas de contexto, sin embargo, no existen procedimientos formales de consideración de este, por lo que el análisis desarrollado, incluso dentro de una misma empresa, es primordialmente subjetivo e inconsistente.

El segundo resultado obtenido, corresponde al logro del primer objetivo específico definido para esta investigación. Se obtiene por tanto, un listado de los principales aspectos cualitativos a nivel de proyecto que generan variación en los rendimientos y costos de actividades de construcción, validados por empresas chilenas del sector. Este listado general se compone de 5 factores y 15 sub factores de contexto: F1. *Complejidad del proyecto*, F2. *Calidad de la información del*

proyecto, F3. Condiciones climáticas, F4. Características de la mano de obra y F5. Condiciones de sitio.

En base a los factores y sub factores críticos determinados, se propone un Modelo de Contexto, cumpliéndose así el segundo objetivo específico del presente estudio. La función de este modelo es identificar y considerar todos los aspectos cualitativos relevantes al momento de establecer el contexto de ejecución de los proyectos de construcción. Este indica que para cada proyecto histórico o a estimar, se debe seleccionar una de las definiciones de alternativa posible por cada sub factor, de acuerdo a la que mejor describa la situación en que este se realiza.

Esta forma de establecer el contexto de ejecución de los proyectos, junto con el método para determinar la similitud entre estos, son los principales componentes de la metodología propuesta para integrar los factores cualitativos de contexto a la estimación de costos. Esta permite a cada Departamento de Estudios establecer formalmente la estructuración y recuperación de la información histórica, con el fin de disponer de la información completa y uniforme que requiere al momento de reutilizar los rendimientos reales obtenidos en proyectos anteriores. Con el resultado descrito, es posible responder positivamente al tercer objetivo específico de la investigación.

Aun cuando la metodología recomienda factores, sub factores y condiciones iniciales, esta permite ser ajustada para ser flexible ante la realidad presente en cada organización o empresa. En este sentido, es posible modificar los aspectos cualitativos considerados, las condiciones alternativas posibles por cada aspecto, además de la importancia relativa asociada a cada uno (pesos relativos de factores y sub factores).

Finalmente, y para lograr el cuarto y último objetivo específico de la tesis, se desarrolla una herramienta computacional a nivel de prototipo SICEC, que permite aplicar y visualizar el funcionamiento de la metodología propuesta. Este resultado posibilita estructurar y recuperar la información histórica de forma automatizada, en consistencia con los criterios definidos. Mediante un caso estudio realizado, es posible obtener información real de una empresa que desarrolla proyectos de montaje industrial para empresas mineras, para ingresarlos al prototipo. Se trabajó con 7 proyectos históricos, de los cuales se destinan 6 para formar la base de datos histórica y 1 como proyecto de prueba.

10.3 Principales aportes de la metodología propuesta

Se concluye que la incorporación de los factores cualitativos de contexto al proceso de estimación de costos, es posible de realizar a través de la utilización del Modelo de Contexto y metodología propuestos, y que además, esto permitiría mejorar la aplicación de la información histórica, lo que se fundamenta en torno a 2 características principales:

1. *Primera característica de la metodología:* Su aplicación implica identificar y unificar los criterios de selección de la información relevante dentro de una organización, específicamente al seleccionar y ajustar los rendimientos históricos más adecuados para ser reutilizados en la estimación de un nuevo proyecto.

Esta característica implica que la metodología permite generar un modelo mental de factores para análisis y evaluación, cuyo alcance integra información de costos de todo el ciclo de vida de un proyecto. Esta característica de retroalimentación permite tomar real conciencia sobre las

variables relevantes y sus implicancias, dejando de lado las percepciones personales al respecto.

Esto permitiría que el proceso de manejo de información en la predicción fuera más consistente y menos dependiente del estimador que la realiza, lo que implica disminuir los sesgos personales de los estimadores de costos. Este aspecto se vuelve relevante si consideramos que la evidencia bibliográfica de un gran número de estudios realizados indica que las desviaciones de costos resultan no solo de la mala fortuna o influencias azarosas, sino que provienen de sesgos hacia un lado (optimismo) en las predicciones (Linder, 2005).

Por otro lado, es sabido que la experiencia de los miembros del equipo puede ser fácilmente perdida, pues se basa en el “conocimiento individual”, que en la mayoría de las compañías es transitorio (Figueiredo y Philipenko, 2010). Como la metodología estandariza y define los aspectos clave de manejo de información de costos, permite que la experiencia y conocimiento de los expertos quede explícita y guardada en la organización, y esté accesible para los que la requieren. Como consecuencia, es posible mantener y acrecentar el conocimiento implícito de los expertos dentro de la organización, y además, permite unificar los criterios a nivel de empresa, de manera que los estudios realizados por cualquier estimador del equipo se rijan por una base común.

Por último, la aplicación de la metodología propuesta permitiría fortalecer la competitividad de una organización, dado que la identificación sistemática de las mejores prácticas de utilización y distribución del conocimiento es una de las herramientas más efectivas y poderosas para este objetivo (Tupenaite et al, 2008).

2. *Segunda característica de la metodología:* Su aplicación implica la estructuración de la información histórica de costos en una base de datos organizada y su retroalimentación constante con nuevos resultados reales. Para ello se debe identificar, definir y estructurar los aspectos críticos de influencia en los rendimientos y costos, pues son la base del funcionamiento exitoso de la metodología.

Esta característica permite en primer lugar, enfocar la recolección de datos de acuerdo a la información que requiere la metodología para su funcionamiento. Este aspecto es relevante y contingente, pues en la actualidad se visualiza una falencia en cuanto a la obtención de información de los proyectos realizados. Para ello, se debe mejorar de forma paralela la comunicación existente entre el Departamento de Estudios y Oficina Técnica de Obra (Departamento de Construcción). Adicionalmente, esta característica de la metodología ofrece como externalidad positiva el mejorar cada vez más la calidad de la información disponible para nuevas estimaciones.

10.4 Recomendaciones para aplicación de la metodología propuesta

Otro de los aspectos relevantes obtenidos del desarrollo de la metodología propuesta, son los puntos críticos que se deben considerar para su aplicación exitosa. Estos puntos son:

- Mantener un seguimiento y control continuo de la obra.

La metodología requiere contar con la información real de desempeño de los proyectos. Para poder cumplir con este aspecto, primero se debe establecer un documento formal que especifique la información a la que se debe realizar seguimiento, diseño que debe contemplar todos los aspectos relevantes, como

por ejemplo: tener el nivel de detalle requerido (recursos utilizados por actividad), al menos abarcar las partidas más críticas de los proyectos (las que tienen mayor costo asociado), los tamaños reales de actividad, las cantidades y precios reales de los recursos utilizados, la evaluación de contexto corregida, las diferencias entre los aspectos estimados y reales, junto con las razones que justifican estas diferencias, entre otras.

Además, se debe asignar la responsabilidad de mantener estos datos completos y actualizados a personal que permanezca en obra, y a la persona con que se tenga continuo contacto.

- Retroalimentar el sistema con nuevos proyectos.

La información de proyectos estimados y reales, debe ser continuamente ingresada al sistema de información que se esté utilizando (base de datos). Para ello se propone utilizar la herramienta computacional diseñada.

- Ajustar continuamente la metodología utilizada.

Luego de la configuración inicial definida para el Modelo de Contexto o para la metodología de incorporación de estos factores a la estimación de costos, se debe analizar y realizar las modificaciones pertinentes para mejorar su efectividad.

10.5 Limitaciones identificadas y futuras líneas de investigación

La principal limitación identificada de la investigación, tiene relación con la cantidad reducida de información que fue posible obtener de empresas del sector de la construcción para probar el funcionamiento de la metodología.

En general, las empresas contactadas no contaban con la información que la metodología requería para ser utilizada, puesto que no disponen de información real de los proyectos, o no se encuentra a nivel de actividad (mantienen cantidad global de recursos utilizados).

La información obtenida proviene de una empresa en particular, pero está conformada por una muestra pequeña de proyectos, y que además proviene de diferentes formatos de estructuración, por lo que se tuvo que realizar ajustes para su utilización. Ejemplo de esto es que algunos proyectos tenían los datos considerando la partida de hormigones como hormigón armado, es decir, integrando las HH asociadas a moldaje, enfierradura y hormigón; y para otras sólo contenía recursos destinados a la colocación del hormigón.

Para futuras investigaciones, inicialmente se recomienda aplicar la metodología propuesta a una muestra construida con una mayor cantidad de proyectos reales, con el fin de obtener resultados con validez estadística.

Por otra parte, se propone seguir profundizando en establecer y estructurar el conocimiento asociado a la estimación de costos. Una tarea particular sería complementar el Modelo de Contexto descrito con factores a nivel de actividad, con el objeto de establecer un criterio de semejanza más detallado. Para ello, se deben seleccionar actividades críticas en cuanto a costos, y frecuentemente presentes en los proyectos de construcción. Para estas, se deben establecer aspectos propios que generan impactos relevantes en los rendimientos y costos finales. Para ello se puede integrar el Modelo propuesto con los resultados obtenidos en investigaciones más detalladas y con mayor enfoque, tales como el de Kiziltas y Akinci (2009), que tiene un enfoque similar al de la investigación, pero se enfoca en 3 actividades específicas (excavación, encofrado y hormigonado en terreno de columnas y muros).

BIBLIOGRAFIA

AACE International, Recommended Practice No. 34R-05. (2007). Basis of Estimate. *AACE International*.

Akintoye, A., & Fitzgerald, E. (2000). Survey of current cost estimating practices in the UK. *Construction Management and Economics*, 18(2), 161-172.

Al-Jibouri, S. (2003). Monitoring systems and their effectiveness for project cost control in construction. *International Journal of Project Management*, 21(2), 145-154.

Baloi, D., & Price, A. D. F. (2003). Modelling global risk factors affecting construction cost performance. *International Journal of Project Management*, 21(4), 261-269.

Bhaumik, H. (2010). Avoid cost overrun for megaprojects. *54th Annual Meeting of the American Association of Cost Engineers International*, June 27-30, 454-462.

Boussabaine. (2005). Critical determinants of construction tendering costs: Quantity surveyors' standpoint. *International Journal of Project Management*, 23(7).

Chan, S. L., & Park, M. (2005). Project cost estimation using principal component regression. *Construction Management and Economics*, 23(3), 295-304.

Cheng. (2009). Web-based conceptual cost estimates for construction projects using evolutionary fuzzy neural inference model. *Automation in Construction*, 18(2), 164-172. doi: 10.1016/j.autcon.2008.07.001

Chou, J. (2009). Web-based CBR system applied to early cost budgeting for pavement maintenance project. *Expert Systems with Applications*, 36(2, Part 2), 2947-2960.

Creedy, G. D., Skitmore, M., & Wong, J. K. W. (2010). Evaluation of risk factors leading to cost overrun in delivery of highway construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(5), 528-537.

Du, Y., & Yin, Y. (2009). Critical factors affecting management performance of enterprise agent construction projects in china. *International Conference on Management and Service Science, MASS 2009, September 20-22*, Communication University of China; Wuhan University; James Madison University; Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Sciences; IEEE Wuhan Section.

Elhag, T & Boussabaine, A, (1997), Factors affecting cost and duration, EPSRC GR/K/85001), *Research Report No. 1*, 40 Pages.

Enshassi, A., Mohamed, S., & Abushaban, S. (2009). Factors affecting the performance of construction projects in the Gaza Strip. *Journal of Civil Engineering and Management*, 15(3), 269-280.

- Linder, S. (2005). Fifty years of research on accuracy of capital expenditure project estimates: A review of the findings and their validity. *Center for Research in Controllershship and Management, WHU - Otto Beisheim Graduate School of Management, Burgplatz 2, 56179 Vallendar, Germany.*
- Figueiredo, F. C., & Philipenko, R. S. (2010). Developing and implementing a project knowledge management system (PKMS). *54th Annual Meeting of the American Association of Cost Engineers International, June 27-30, 721-731.*
- Gholami, F., Ruwanpura, J. Y., & Zadeh, M. T. (2010). Cost impact of constructability analysis in mega projects. *54th Annual Meeting of the American Association of Cost Engineers International, June 27-30, 788-803.*
- Guía del PMBOK. Tercera edición. ANSI/PMI 00-001-2004. *Project Management Institute.*
- Gkritza, K., & Labi, S. (2008). Estimating cost discrepancies in highway contracts: Multistep econometric approach. *Journal of Construction Engineering and Management, 134(12), 953-962.*
- Greves, D., & Joumier, H. (2003). Cost engineering for cost-effective space programmes. *European Space Agency Bulletin, (115), 71-75.*
- Guo, S. -. (2000). Computer-aided project duration forecasting subjected to the impact of rain. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 15(1), 67-74.*
- Honsinger, R. R., Martin, J. B., Wallace, B. W., & Wasley, S. N. (2010). Developing a long-term historical cost database. *54th Annual Meeting of the American Association of Cost Engineers International, June 27-30, 535-541.*
- Huawang, S., & Wanqing, L. (2008). The integrated methodology of rough set theory and artificial neural-network for construction project cost prediction. *2008 2nd International Symposium on Intelligent Information Technology Application, IITA, December 21-22, 60-64.*
- Hulett, D. (2009). Integrated Cost Schedule Risk Analysis. *AACE International. Morgantown WV.*
- Hyde, M. M., Orr, J. P., & Peek, M. A. (2010). Best practices by owners for controlling cost and schedules on large projects. *54th Annual Meeting of the American Association of Cost Engineers International, June 27-30, 697-709.*
- Ilbeigi, M., & Heravi, G. (2010). Forecasting construction project performance using monte-carlo simulation approach. *54th Annual Meeting of the American Association of Cost Engineers International, June 27-30, 766-787.*

- Iyer, K. C., & Jha, K. N. (2005). Factors affecting cost performance: Evidence from Indian construction projects. *International Journal of Project Management*, 23(4), 283-295.
- Jrade, A., & Alkass, S. (2007). Computer-integrated system for estimating the costs of building projects. *Journal of Architectural Engineering*, 13(4), 205-223.
- Kiziltas, S., & Akinci, B. (2009). Contextual information requirements of cost estimators from past construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(9), 841-852.
- Kwak. (2005). Conceptual estimating tool for technology-driven projects: Exploring parametric estimating technique. *Technovation*, 25(12), 1430-1436.
- Lee, J. (2008). Cost overrun and cause in Korean social overhead capital projects: Roads, rails, airports, and ports. *Journal of Urban Planning and Development*, 134(2), 59-62.
- Linder, S. (2005). Fifty years of research on accuracy of capital expenditure project estimates: A review of the findings and their validity. *Finance 0504023, EconWPA*.
- Ling, F. Y. Y., & Bui, T. T. D. (2010). Factors affecting construction project outcomes: Case study of Vietnam. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 136(3), 148-155.
- Liu, L., & Napier, Z. (2010). The accuracy of risk-based cost estimation for water infrastructure projects: Preliminary evidence from Australian projects. *Construction Management and Economics*, 28(1), 89-100.
- Lockhart, C. W., McGrath, T. C., & Rost, J. P. (2008). Innovative cost and schedule risk assessment for large transportation projects. *1st International Symposium on Transportation and Development Innovative Best Practices, TDIBP, April 24-26*, 39-44.
- Mattos, A. D., & Delarue, R. (2010). Monitoring productivity with earned value analysis - A new approach. *54th Annual Meeting of the American Association of Cost Engineers International, June 27-30*, 595-601.
- Mohamed, A., & Celik, T. (2002). Knowledge based-system for alternative design, cost estimating and scheduling. *Knowledge-Based Systems*, 15(3), 177-188.
- Nitithamyong , P., & Skibniewski , M. J. (2006). Success/Failure factors and performance measures of web-based construction project management systems: Professionals' viewpoint. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(1), 80-87.

- Olawale, Y. A., & Sun, M. (2010). Cost and time control of construction projects: Inhibiting factors and mitigating measures in practice. *Construction Management and Economics*, 28(5), 509-526.
- Pheng, L. S., & Chuan, Q. T. (2006). Environmental factors and work performance of project managers in the construction industry. *International Journal of Project Management*, 24(1), 24-37.
- Proverbs, D. G., Holt, G. D., & Olomolaiye, P. O. (1999). Method for estimating labour requirements and costs for international construction projects at inception. *Building and Environment*, 34(1), 43-48.
- Rush, C., & Roy, R. (2001). Expert judgement in cost estimating: Modelling the reasoning process. *Concurrent Engineering Research and Applications*, 9(4), 271-285.
- Sawhney, A., Walsh, K. D., & Brown IV, A. (2004). International comparison of cost for the construction sector: Towards a conceptual model. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 21(3), 151-167.
- Serpell, A. F. (1990). Improved conceptual estimating performance using a knowledge-based approach. *The University of Texas at Austin* ©1990, 299.
- Serpell, A. F. (2004). Towards a knowledge-based assessment of conceptual cost estimates. *Building Research and Information*, 32(2), 157-164.
- Serpell, A. F. (2010). Modeling projects' scopes for conceptual cost estimating. *Journal of Cost Engineering*, 52(8), 20-27.
- Serpell, A. F., & Alarcón, L. F. (2003). Planificación y Control de Proyectos
- Serpell A. F. & Alarcón L. F. (2003). Planificación y Control de Proyectos. Segunda Edición, Ediciones de la Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, p. 47.
- Shane, J. S., Molenaar, K. R., Anderson, S., & Schexnayder, C. (2009). Construction project cost escalation factors. *Journal of Management in Engineering*, 25(4), 221-229.
- Skitmore M. (2002). Raftery curve construction for tender price forecasts. *Construction Management and Economics*, 20(1), 83-89.
- Skitmore, R. M., & Ng, S. T. (2003). Forecast models for actual construction time and cost. *Building and Environment*, 38(8), 1075-1083.
- Touran, A., & Lopez, R. (2006). Modeling cost escalation in large infrastructure projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(8), 853-860.

Tupenaite, L., Kanapeckiene, J., & Naimaviciene, J. (2008). Knowledge management model for construction projects. *Computer Modelling and New Technologies*, 12(3), 38-46.

Yan, L., Chen, Z., Xie, X., & Zeng, X. (2009). Analysis of influencing factors on the management performance of expressway construction project based on DEMATEL method. *1st International Conference on Information Science and Engineering, ICISE, December 26-28*, 4198-4201.

Yean, Y. L., & Boo, J. H. S. (2001). Improving the accuracy of approximate estimates of building projects. *Building Research and Information*, 29(4), 312-318.

Yu, W. (2006). PIREM: A new model for conceptual cost estimation. *Construction Management and Economics*, 24(3), 259-270.

ANEXOS

ANEXO A: FRECUENCIA POR AUTOR DE LOS 33 FACTORES

Clasificación		Factor/Autor	Akintoye and Fitzgerald (2000)	Baloi and Price (2003)	Chan and Park (2005)	Chou (2009)	Creedy et al (2010)	Du y Yin (2009)	Elhag and Boussabaine (1997)	Enshassi et al (2009)	Gholami et al (2010)	Gkritza and Labi (2008)	Guo (2000)	Honsinger et al (2010)	Huawang y Wanqing (2008)	Hyde et al (2010)	Iyer and Jha (2005)	Lee (2008)	Ling and Bui (2010)	Mattos and Delarue (2010)	Mohamed and Celik (2002)	Olawale and Sun (2010)	Pheng and Chuan (2006)	Sawhney et al (2004)	Serpell (2004)	Shane et al (2009)	Skitmore and Ng (2003)	Yan et al (2009)	Total		
Características del proyecto	Contrato	Documentación de contrato																												2	
		Tipo de contrato							X								X						X						X		4
		Gestión de contratos						X																							1
	Proyecto	Complejidad del proyecto		X			X		X		X	X		X									X	X		X	X				10
		Tipo de proyecto			X				X																				X		3
		Nivel de innovación del proyecto											X																		1
		Características de la estructura								X							X														2
		Duración del proyecto y prioridad en tiempo					X			X			X				X								X						5
		Características de dimensión del proyecto					X			X							X	X													4
		Definición aceptada, realista y clara de objetivos y alcance	X																										X		2
	Diseño	Calidad requerida de las tareas			X					X															X						3
		Constructabilidad del diseño						X		X		X						X													4
	Tecnología y método	Nivel de tecnología del proyecto			X					X														X		X					4
		Métodos de construcción								X															X						2

Clasificación		Factor/Autor	Akintoye and Fitzgerald (2000)	Baloi and Price (2003)	Chan and Park (2005)	Chou (2009)	Creedy et al (2010)	Du y Yin (2009)	Elhag and Boussabaine (1997)	Enshassi et al (2009)	Gholami et al (2010)	Gkritza and Labi (2008)	Guo (2000)	Honsinger et al (2010)	Huawang y Wandqng (2008)	Hyde et al (2010)	Iyer and Jha (2005)	Lee (2008)	Ling and Bui (2010)	Mattos and Delarue (2010)	Mohamed and Celik (2002)	Olawale and Sun (2010)	Pheng and Chuan (2006)	Sawhney et al (2004)	Serpell (2004)	Shane et al (2009)	Skitmore and Ng (2003)	Yan et al (2009)	Total			
Recursos	Mano de obra	Competencias/habilidades y experiencia de la mano de obra		X					X	X									X	X	X	X							X	8		
		Disponibilidad de la mano de obra						X		X											X	X									4	
		Motivación de la mano de obra									X										X							X			4	
	Materiales	Calidad y fuente de materias primas disponibles		X							X												X	X								4
		Calidad y disponibilidad de equipos y maquinaria		X				X		X																		X			4	
	Información	Información y documentación del proyecto	X	X	X		X		X	X							X					X		X		X						10
		Información histórica	X					X												X					X							4
		Canales de comunicación						X																				X			2	

Clasificación		Factor/Autor
Entorno	Político	Akintoye and Fitzgerald (2000)
		Baloi and Price (2003)
	Físico	Chan and Park (2005)
		Chou (2009)
	Económico	Creedy et al (2010)
		Du y Yin (2009)
	Físico	Elhag and Boussabaine (1997)
		Enshassi et al (2009)
	Político	Gholami et al (2010)
		Gkritza and Labi (2008)
Económico	Guo (2000)	
	Honsinger et al (2010)	
Físico	Huawang y Wanqing (2008)	
	Hyde et al (2010)	
Político	Iyer and Jha (2005)	
	Lee (2008)	
Económico	Ling and Bui (2010)	
	Mattos and Delarue (2010)	
Físico	Mohamed and Celik (2002)	
	Olawale and Sun (2010)	
Político	Pheng and Chuan (2006)	
	Sawhney et al (2004)	
Económico	Serpell (2004)	
	Shane et al (2009)	
Físico	Skitmore and Ng (2003)	
	Yan et al (2009)	
		Total

ANEXO B: FRECUENCIA POR AUTOR DE LOS 6 FACTORES

Factor/Autor	Akintoye and Fitzgerald (2000)	Baloi and Price (2003)	Chan and Park (2005)	Chou (2009)	Creedy et al (2010)	Du y Yin (2009)	Elhag and Boussabaine (1997)	Enshassi et al (2009)	Gholami et al (2010)	Gkritza and Labi (2008)	Guo (2000)	Honsinger et al (2010)	Huawang y Wangqing (2008)	Hyde et al (2010)	Iyer and Jha (2005)	Lee (2008)	Ling and Bui (2010)	Mattos and Delarue (2010)	Mohamed and Celik (2002)	Olawale and Sun (2010)	Pheng and Chuan (2006)	Sawhney et al (2004)	Serpell (2004)	Shane et al (2009)	Skitmore and Ng (2003)	Yan et al (2009)	Total
Complejidad del proyecto		X			X		X		X	X		X								X	X		X	X			10
Competencias del contratista		X	X			X	X						X		X					X	X	X					9
Competencias/habilidades y experiencia de la mano de obra		X					X	X									X	X	X	X						X	8
Información y documentación del proyecto	X	X	X		X		X	X						X					X		X		X				10
Condiciones de suelo, accesibilidad y tráfico del sitio		X		X			X	X		X				X								X	X	X			9
Condiciones climáticas								X		X	X				X			X	X	X		X	X	X			10

ANEXO D: MODELO DE CONTEXTO GENÉRICO

FACTOR 1: COMPLEJIDAD DEL PROYECTO		
Sub factor	Condición depende de	Condiciones posibles (ordenadas de peor a mejor condición)
Tipo de proyecto	Proyectos que realiza la empresa según su grado de complejidad	Construcción de planta química
		Construcción de edificación
		Construcción de viviendas sociales, etc.
Exigencia y complejidad del diseño estructural y arquitectónico	Simplicidad y variabilidad de la geometría (repetición de las actividades y aprendizaje asociado)	El diseño estructural y arquitectónico del proyecto define una geometría difícil y con alta variabilidad entre sus componentes, lo que implica una baja repetición de actividades al ejecutarlo (aprendizaje mínimo). Ej: edificios con diferentes alturas o niveles, construcciones con formas irregulares o curvas, etc.
		El diseño estructural y arquitectónico del proyecto define componentes con geometrías de simplicidad y variabilidad regular , lo que permite la repetición de algunas actividades para ejecutarlo (aprendizaje medio). Ej: proyectos típicos que realiza la empresa.
		El diseño estructural y arquitectónico del proyecto define componentes con geometrías simples y de baja variabilidad , lo que permite una alta repetición de actividades para ejecutarlo (aprendizaje alto). Ej: edificio con pisos tipo, condominios de casas de formas similares, km de una carretera o túnel con curvas poco pronunciadas y pendiente mínima, etc.
Nivel de exigencia y restricciones de ITO o mandante (calidad de obras, seguridad, etc.)	Exigencia de documentación, procedimientos, manuales, protocolos o charlas exigidas (efecto sobre la regularidad de avance)	La ITO o mandante exige el desarrollo o cumplimiento de múltiples y complicados procedimientos, protocolos, manuales o charlas relacionadas con la calidad, seguridad o medioambiente en relación a la industria en general, por lo que se puede predecir que impedirán avanzar de manera continua con la obra.
		La ITO o mandante exige el desarrollo o cumplimiento de múltiples pero simples procedimientos, protocolos, manuales o charlas relacionadas con la calidad, seguridad o medioambiente, en relación a la industria en general. Su cumplimiento podría afectar en cierto grado la continuidad de la obra.
		La ITO o mandante exige el desarrollo o cumplimiento de procedimientos, protocolos, manuales o charlas relacionadas con la calidad, seguridad o medio ambiente que son típicas en la industria . Se espera que su cumplimiento no afecte de manera relevante la continuidad de la obra.
Grado de innovación del proyecto	Unicidad del diseño, materiales, tecnología o metodología de ejecución del proyecto, en relación a la empresa o al mercado en general (por los expertos disponibles)	Proyecto con diseño, materiales, tecnología o metodología de ejecución muy diferente a los realizados por la empresa o por la industria en general, por lo que es bastante difícil conseguir personal con el conocimiento adecuado o reutilizar experiencias pasadas .
		Proyecto con diseño, materiales, tecnología y metodología compuesta por algunos aspectos novedosos y otros semejantes a los realizados con anterioridad por la empresa o en la industria en general, por lo que es necesario buscar expertos sólo en algunas materias y existe conocimiento pasado para reutilizar.
		Proyecto con diseño, materiales, tecnología y metodología de ejecución bastante similar a otros realizados por la empresa o en la industria en general, por lo que existen múltiples expertos disponibles y es posible reutilizar conocimiento pasado en la mayoría de los componentes de la obra.

FACTOR 2: CALIDAD DE LA INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN DEL PROYECTO		
Sub factor	Condición depende de	Condiciones posibles (ordenadas de peor a mejor condición)
Claridad de las especificaciones	Grado de auto explicación y coherencia	Las especificaciones entregadas tienen incoherencias , aspectos que no quedan bien definidos o información ambigua en muchos componentes o en partes críticas del proyecto.
		Las especificaciones entregadas tienen incoherencias , aspectos que no quedan bien definidos o información ambigua en pocos componentes o en partes que no son críticas del proyecto.
		Las especificaciones entregadas se auto explican y son coherentes entre sí, por lo que no genera dudas ni problemas de interpretación.

FACTOR 3: CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL PROYECTO		
Sub factor	Condición depende de	Condiciones posibles (ordenadas de peor a mejor condición)
Lluvia o nieve	Frecuencia de ocurrencia dentro de la duración del proyecto en grado que requiera parar la obra	La lluvia o nieve se encuentra en rangos que dificultan la ejecutar las tareas, y no es posible tomar medidas efectivas para evitar su impacto , por lo que inevitablemente se generará gran cantidad de días perdidos por suspensión de faenas.
		La lluvia o nieve se encuentra en rangos inadecuados para ejecutar las tareas, pero es posible tomar medidas para perder sólo algunos días de trabajo por suspensión de faenas (realizar trabajos interiores, realizar adecuaciones de instalaciones para trabajar, etc.)
		La lluvia o nieve se encuentra en rangos adecuados , por lo que no afectará el desarrollo del trabajo de manera normal y continua .
Viento	Frecuencia de ocurrencia dentro de la duración del proyecto en grado que requiera parar la obra	Existencia frecuente de vientos por sobre la velocidad permitida para realizar trabajos y que tiene un impacto relevante para las actividades que se deben realizar en el proyecto (montaje al aire libre)
		Existencia medianamente frecuente de vientos por sobre la velocidad permitida para realizar trabajos y que puede tener un impacto en el desarrollo de las actividades que se deben realizar en el proyecto (montaje al aire libre)
		Existencia poco frecuente o nula de vientos por sobre la velocidad permitida para realizar trabajos o que tiene un impacto irrelevante para las actividades que se deben realizar en el proyecto.
Temperatura	Rangos de temperatura	Más de un 75% de la duración del proyecto deberá ser ejecutado en niveles extremos de temperatura durante parte importante del horario de trabajo (sobre 35° o bajo 0°).
		Entre un 25% y un 50% de la duración del proyecto deberá ser ejecutado en niveles extremos de temperatura durante parte importante del horario de trabajo (sobre 35° o bajo 0°).
		Menos de un 25% de la duración del proyecto deberá ser ejecutado en niveles extremos de temperatura durante parte importante del horario de trabajo (sobre 35° o bajo 0°).

FACTOR 4: COMPETENCIAS Y EXPERIENCIA DE LA M.O.		
Sub factor	Condición depende de	Condiciones posibles (ordenadas de peor a mejor condición)
Calidad de las competencias y experiencia de la M.O. disponible	Justificada a través de la experiencia con la empresa o la documentación asociada	La mayoría de la M.O. con mayor calificación requerida (capataces, MM, M1) no ha trabajado con la empresa en obras anteriores, y sólo algunos presentan documentación (Certificaciones, CV o finiquito anterior) que avala sus competencias.
		Alrededor de la mitad de la M.O. con mayor calificación requerida (capataces, MM, M1) no ha trabajado con la empresa en obras anteriores, pero en general presenta documentación (Certificaciones, CV o finiquito anterior) que avala sus competencias.
		La mayoría de la M.O. con mayor calificación requerida (capataces, MM, M1) ha trabajado con la empresa en obras anteriores y se sabe que es de muy buena calidad y con vasta experiencia.

FACTOR 5: CONDICIONES DE SITIO		
Sub factor	Condición depende de	Condiciones posibles (ordenadas de peor a mejor condición)
Ubicación	Distancia a un centro productivo (por efecto en transporte y traslados)	La obra de ubica en un lugar que está muy lejano de un centro productivo (sobre X km) , por lo que se utilizará una cantidad de tiempo bastante importante en transportar recursos (materiales, maquinarias, etc.) y trasladar a la M.O.
		La obra de ubica en un lugar que está relativamente cercano a un centro productivo (entre Z y X km) , por lo que se utilizará una cantidad de tiempo medianamente importante en transportar recursos (materiales, maquinarias, etc.) y trasladar a la M.O.
		La obra de ubica en un lugar que está muy cercano o inserto en un centro productivo (bajo Z km) , por lo que se utilizará una cantidad de tiempo despreciable en transportar recursos (materiales, maquinarias, etc.) y trasladar a la M.O.
Accesibilidad al terreno	Nivel de tráfico y características físicas del acceso (por tiempos de espera que pueda generar el ingresar o salir de la obra)	El acceso al terreno se caracteriza (según informes de tránsito, de topografía o conocimiento que se tiene del sector) por tener un muy alto nivel de tráfico de vehículos y/o una geografía física muy compleja de transitar , por lo que es muy probable que existan importantes pérdidas de tiempo en el ingreso y salida de recursos (ej: acceso por autopistas, avenidas principales, cerca de colegios, ingreso entre montañas o cerros, por caminos no pavimentados o con gran pendiente, etc.).
		El acceso al terreno se caracteriza (según informes de tránsito, de topografía y conocimiento que se tiene del sector) por tener un nivel de tráfico de vehículos medio y/o una geografía física regular en su mayoría , por lo que se espera que existan pérdidas de tiempo moderadas o típicas al ingreso o salir.
		El acceso al terreno se caracteriza (según informes de tránsito, de topografía o conocimiento que se tiene del sector) por tener un muy bajo nivel de tráfico de vehículos y/o una geografía física que no genera problemas para transitar , por lo que se no se espera tener pérdidas de tiempo en el ingreso y salida de recursos (ej: acceso por calles menores, terrenos abiertos, por caminos pavimentados y sin pendientes importantes, etc.).

Calidad del suelo	Tipo de suelo y profundidad de nivel freático (relación con actividades extra, demoras, etc.)	Los informes de mecánica de suelos indican que el tipo de suelo del terreno es de muy baja calidad e inadecuado para las obras que se requiere realizar o que el nivel freático está muy cercano a la superficie (bajo X m) , por lo que será necesario realizar importantes obras de mejoramiento o utilizar metodologías especiales, e inevitablemente afectará de manera negativa la productividad normal de algunas actividades (ej: arcilla expansiva, limos, roca dura muy cerca de la superficie, etc.).
		Los informes de mecánica de suelos indican que el tipo de suelo del terreno es de calidad media y adecuada para la mayoría de las obras que se requiere realizar o que el nivel freático se alcanzará durante la ejecución de algunas tareas (entre X e Y m) , por lo que será necesario realizar ciertas obras de mejoramiento o utilizar metodologías especiales, lo que podría afectar en alguna medida la productividad de algunas actividades.
		Los informes de mecánica de suelos indican que el tipo de suelo del terreno es de muy buena calidad y adecuado para las obras que se requiere realizar y que el nivel freático no se alcanzará en la ejecución de las tareas (sobre Y m) , por lo que no será necesario realizar obras de mejoramiento ni afectará de manera negativa el rendimiento normal de la obra.
Nivel de restricción de las Normativas Municipales	Imposiciones de horarios de entrada, salida, ruido, etc. (porque afecta la jornada de trabajo y el flujo exterior)	Las normativas municipales aplicables son excesivamente restrictivas en cuanto a los horarios de trabajo, niveles de ruido permitidos, u otro aspecto relevante, por lo que se realizarán ajustes importantes a la metodología o planificación del trabajo óptima , que inevitablemente afectarán la producción.
		Las normativas municipales aplicables son medianamente restrictivas en cuanto a los horarios de trabajo, niveles de ruido permitidos, u otro aspecto relevante, por lo que se deben realizar ciertos ajustes a la metodología o planificación del trabajo óptima que implica que bajará la producción, pero en un grado medio o sólo en algunos aspectos.
		Las normativas municipales aplicables no definen restricciones importantes en cuanto a los horarios de trabajo, niveles de ruido permitidos, u otro aspecto, por lo que no se requiere ajustar la metodología o planificación del trabajo óptima por este motivo.
Condiciones de logística al interior de la obra	Topografía, conectividad y espacio interior (efecto sobre flujo interior)	La obra tiene serios problemas ya sea de topografía compleja, conectividad muy limitada, gran distancia entre sectores críticos (partes de la obra, comedores, baños, acopio de materiales, etc.) o espacios interiores de trabajo demasiado reducidos (por tamaño o por operaciones que se siguen realizando y no se deben afectar), aspectos que generarán problemas importantes de regularidad en el flujo interno.
		La obra tiene algunos problemas de topografía irregular, conectividad difícil o distancia entre ciertos sectores críticos (partes de la obra, comedores, baños, acopio de materiales, etc.) o espacios interiores de trabajo medianamente reducidos (por tamaño o por operaciones que se siguen realizando y no se deben afectar), lo que podría generar ciertos problemas de gravedad media en la regularidad del flujo interno.
		La obra tiene una topografía pareja y con bajas pendientes, alta conectividad y pequeñas distancias entre sectores críticos (partes de la obra, comedores, baños, acopio de materiales, etc.) y espacios interiores de trabajo de amplio tamaño y sin operaciones paralelas que no se deben alterar , por lo que no se esperan problemas relevantes de regularidad en el flujo interno de recursos.

ANEXO E: EVALUACIÓN DE CONTEXTO POR PROYECTO

Evaluación de contexto por proyecto-Factor: Complejidad del proyecto

			Evaluación de contexto de Proyectos						
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P-P
Factor	Complejidad del proyecto								
Sub factor	Nombre	Valores posibles	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
1.1	Tipo de proyecto	1	4	1	2	5	2	2	2
		2							
		3							
		4							
		5							
1.2	Exigencia y restricciones de ITO o mandante	1	1	1	2	1	1	1	1
		2							
1.3	Grado de innovación del proyecto	1	3	3	3	3	3	3	2
		2							
		3							
1.4	Plazo disponible para el proyecto	1	1	1	2	1	1	1	1
		2							

Evaluación de contexto pro proyecto-Factor: Información del proyecto

			Evaluación de contexto de Proyectos						
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P-P
Factor	Información del proyecto								
Sub factor	Nombre	Valores posibles	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
2.1	Compleitud de las especificaciones	1	3	2	3	3	3	2	2
		2							
		3							
2.2	Claridad de las especificaciones	1	1	1	2	2	2	1	1
		2							

Evaluación de contexto por proyecto-Factor: Condiciones climáticas del proyecto

			Evaluación de contexto de Proyectos						
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P-P
Factor	Condiciones climáticas del proyecto								
Sub factor	Nombre	Valores posibles	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
3.1	Lluvia	1	4	2	2	3	4	3	4
		2							
		3							
		4							
3.2	Nieve	1	2	3	3	3	3	3	2
		2							
		3							
3.3	Viento	1	1	1	2	2	1	1	1
		2							
3.4	Altitud	1	1	2	3	3	2	3	1
		2							
		3							
3.5	Temperatura	1	2	2	3	3	1	3	2
		2							
		3							

Evaluación de contexto por proyecto-Factor: Condiciones de la Mano de Obra

			Evaluación de contexto de Proyectos						
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P-P
Factor	Condiciones de la M.O.								
Sub factor	Nombre	Valores posibles	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
4.1	Competencias y experiencia de la M.O.	1	2	2	1	1	1	1	1
		2							
		3							
4.2	Régimen de turnos	1	1	1	3	1	1	3	1
		2							
		3							
		4							
4.3	Sindicato	1	1	1	1	2	1	2	1
		2							

Evaluación de contexto por proyecto-Factor: Disponibilidad de equipos

			Evaluación de contexto de Proyectos						
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P-P
Factor	Disponibilidad de equipos.								
Sub factor	Nombre	Valores posibles	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
5.1	Disponibilidad de equipos	1	1	1	2	2	1	1	1
		2							

Evaluación de contexto por proyecto-Factor: Condiciones de sitio

			Evaluación de contexto de Proyectos						
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P-P
Factor	Condiciones de sitio								
Sub factor	Nombre	Valores posibles	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
6.1	Ubicación	1	1	1	2	2	1	2	1
		2							
		3							
		4							
6.2	Accesibilidad al terreno	1	1	3	3	2	1	1	2
		2							
		3							
6.3	Calidad del suelo	1	1	1	1	3	2	1	3
		2							
6.4	Topografía	1	1	3	3	1	1	1	3
		2							
		3							
6.5	Conectividad	1	1	3	3	3	1	3	3
		2							
		3							
6.6	Espacio interior o interferencias	1	2	2	1	1	1	1	1
		2							
		3							

ANEXO F: RESULTADOS PRIMERA ENCUESTA PONDERACIÓN DE FACTORES

			Resultados de 1a encuesta						Resumen de resultados 1a		
			Guillermo Canivilo	Cristian Ugarte	Sebastián Mora	Eduardo Prieto	Carlos Guerrero	Jorge Castillo	↓		
N°	PARÁMETRO	SUB PARÁMETROS QUE CONTIENE	%	%	%	%	%	%	MÍN	PROM	MÁX
1	Complejidad del proyecto	Tipo de proyecto	7,5%	10,0%	30,0%	20,0%	20,0%	40,0%	7,5%	21,3%	40,0%
		Rigor y exigencias del ITO									
		Innovación en general									
		Plazo disponible									
2	Información del proyecto	Avance de diseño de ingeniería	7,5%	10,0%	5,0%	10,0%	10,0%	5,0%	5,0%	7,9%	10,0%
		Claridad de las especificaciones									
3	Clima	Lluvia	40%	30%	15%	25%	35%	20%	15%	28%	40%
		Nieve									
		Viento									
		Altitud									
4	M.O.	Experiencia	30%	15%	5%	15%	15%	10%	5%	15%	30%
		Tipo de turno									
		Sindicato									
5	Disponibilidad de equipos	Disponibilidad	5%	20%	25%	8%	5%	10%	5%	12%	25%
6	Condiciones de Sitio	Distancia a un centro de abastecimiento y servicios	10%	15%	20%	22%	15%	15%	10%	16%	22%
		Accesos al terreno									
		Tipo de suelo									
		Topografía del terreno									
		Conectividad entre puntos importantes de la obra									
		Tamaño del espacio de trabajo disponible									
TOTAL GLOBAL			100%	100%	100%	100%	100%	100%			

Resultados de 1a encuesta

G. Canivilo C. Ugarte E. Prieto C. Guerrero J. Castillo S. Mora

Resumen de resultados 1a

N°	PARÁMETRO	SUB PARÁMETROS QUE CONTIENE	A QUÉ SE REFIERE	%	%	%	%	%	%	MÍN	PROM	MÁX
1	Complejidad del proyecto	Tipo de proyecto	Tipos de proyectos que realiza COMIN	60%	20%	15%	55%	30%	10%	10%	32%	60%
		Rigor y exigencias del ITO	Documentación, procedimientos, manuales, protocolos o charlas exigidos	5%	50%	30%	5%	25%	5%	5%	20%	50%
		Innovación en general	Innovación en diseño, materiales, tecnología o	5%	10%	40%	15%	20%	15%	5%	18%	40%
		Plazo disponible	Exigencia e importancia del plazo	30%	20%	15%	25%	25%	70%	15%	31%	70%
TOTAL GLOBAL				100%	100%	100%	100%	100%	100%			
2	Información del proyecto	Avance de diseño de ingeniería	Avance disponible de especificaciones y planos	60%	60%	65%	60%	60%	60%	60%	61%	65%
		Claridad de las especificaciones	Grado de autoexplicación y coherencia de especificaciones	40%	40%	35%	40%	40%	40%	35%	39%	40%
TOTAL GLOBAL				100%	100%	100%	100%	100%	100%			
3	Clima	Lluvia	Precipitaciones anuales	10%	10%	19%	15%	15%	30%	10%	17%	30%
		Nieve	Nivel de frecuencia	20%	25%	35%	20%	25%	60%	20%	31%	60%
		Viento	Nivel de ocurrencia sobre velocidad permitida de montaje	10%	15%	17%	30%	10%	2%	2%	14%	30%
		Altitud	Altitud en msnm	50%	40%	12%	30%	40%	6%	6%	30%	50%
		Temperatura	Temperatura promedio anual y variación diaria	10%	10%	17%	5%	10%	2%	2%	9%	17%
TOTAL GLOBAL				100%	100%	100%	100%	100%	100%			
4	M.O.	Experiencia	Experiencia en obras anteriores y/o documentación presentada (CV, finiquito, etc.)	70%	40%	45%	20%	50%	75%	20%	50%	75%
		Tipo de turno	Tipo de turno de M.O. directa	25%	40%	45%	50%	30%	15%	15%	34%	50%
		Sindicato	Existe o no organización sindical a la que se pueda afiliar la M.O.	5%	20%	10%	30%	20%	10%	5%	16%	30%
TOTAL GLOBAL				100%	100%	100%	100%	100%	100%			
5	Disponibilidad de equipos	Disponibilidad	Calidad y cantidad de equipos	100%	100%	100%	100%	100%	100%			
TOTAL GLOBAL				100%	100%	100%	100%	100%	100%			
6	Condiciones de Sitio	Distancia a un centro de abastecimiento y servicios	Tiempo de traslado requerido	10%	20%	15%	25%	35%	45%	10%	25%	45%
		Accesos al terreno	Características físicas del acceso	20%	10%	10%	10%	15%	5%	5%	12%	20%
		Tipo de suelo	Tipo de suelo en general	5%	30%	15%	5%	10%	5%	5%	12%	30%
		Topografía del terreno	Topografía del terreno en general	15%	10%	20%	15%	5%	10%	5%	13%	20%
		Conectividad entre puntos importantes de la obra	Tiempo de traslado requerido	40%	20%	20%	20%	25%	20%	20%	24%	40%
		Tamaño del espacio de trabajo	Tamaño disponible o interferencia con otras	10%	10%	20%	25%	10%	15%	10%	15%	25%
TOTAL GLOBAL				100%	100%	100%	100%	100%	100%			

ANEXO G: RESULTADOS SEGUNDA ENCUESTA PONDERACIÓN DE FACTORES

			Resultados de 2a encuesta						Resumen de resultados 2a		
			Guillermo Canivilo	Cristian Ugarte	Sebastián Mora	Eduardo Prieto	Carlos Guerrero	Jorge Castillo	↓		
N°	PARÁMETRO	SUB PARÁMETROS QUE CONTIENE	%	%	%	%	%	%	MÍN	PROM	MÁX
1	Complejidad del proyecto	Tipo de proyecto	35,0%	20,0%	30,0%	21,0%	20,0%	25,0%	20,0%	25,2%	35,0%
		Rigor y exigencias del ITO									
		Innovación en general									
		Plazo disponible									
2	Información del proyecto	Avance de diseño de ingeniería	10,0%	10,0%	5,0%	9,0%	10,0%	10,0%	5,0%	9,0%	10,0%
		Claridad de las especificaciones									
3	Clima	Lluvia	25%	25%	15%	28%	35%	20%	15,0%	24,7%	35,0%
		Nieve									
		Viento									
		Altitud									
4	M.O.	Experiencia	20%	15%	5%	15%	15%	17%	5,0%	14,5%	20,0%
		Tipo de turno									
		Sindicato									
5	Disponibilidad de equipos	Disponibilidad	5%	10%	25%	12%	5%	15%	5,0%	12,0%	25,0%
6	Condiciones de Sitio	Distancia a un centro de abastecimiento y servicios	5%	20%	20%	15%	15%	13%	5,0%	14,7%	20,0%
		Accesos al terreno									
		Tipo de suelo									
		Topografía del terreno									
		Conectividad entre puntos importantes de la obra									
Tamaño del espacio de trabajo disponible											
TOTAL GLOBAL			100%	100%	100%	100%	100%	100%		100%	

ANEXO H: RESULTADOS DE SIMILITUDES GLOBALES Y LOCALES

Similitud entre proyectos históricos y P-P -Factor: Complejidad del proyecto

					Similitud entre Proyectos de BD y P-P					
					P1	P2	P3	P4	P5	P6
Factor	Complejidad del proyecto				Similitud Local con P-P (%)					
Sub factor	Nombre	Máx.	Mín.	Rango						
1.1	Tipo de proyecto	5	1	4	50	75	100	25	100	100
1.2	Exigencia y restricciones de ITO o mandante	2	1	1	100	100	100	0	100	100
1.3	Grado de innovación del proyecto	3	1	2	50	50	50	50	50	50
1.4	Plazo disponible para ejecutar el proyecto	2	1	1	100	100	100	0	100	100
Similitud Global con P-P (%)					75	82	89	17	89	89

Similitud entre proyectos históricos y P-P -Factor: Información del proyecto

					Similitud entre Proyectos de BD y P-P					
					P1	P2	P3	P4	P5	P6
Factor	Información del proyecto				Similitud Local con P-P (%)					
Sub factor	Nombre	Máx.	Mín.	Rango						
2.1	Complejidad de especificaciones	3	1	2	50	100	50	50	50	100
2.2	Claridad de las especificaciones	2	1	1	100	100	0	0	0	100
Similitud Global con P-P (%)					70	100	30	30	30	100

Similitud entre proyectos históricos y P-P -Factor: Condiciones climáticas

Similitud entre Proyectos de BD y P-P					
P1	P2	P3	P4	P5	P6
Similitud Local con P-P					
100	33	33	67	100	67
100	50	50	50	50	50
100	100	0	0	100	100
100	50	0	0	50	0
100	100	50	50	50	50
100	58	27	33	65	46

Factor	Condiciones climáticas			
Sub factor	Nombre	Máx.	Mín.	Rango
3.1	Lluvia	4	1	3
3.2	Nieve	3	1	2
3.3	Viento	2	1	1
3.4	Altitud	3	1	2
3.5	Temperatura	3	1	2
Similitud Global con P-P				

Similitud entre proyectos históricos y P-P -Factor: Condiciones de la Mano de

Obra

Similitud entre Proyectos de BD y P-P					
P1	P2	P3	P4	P5	P6
Similitud Local con P-P					
50	50	100	100	100	100
100	100	33	100	100	33
100	100	100	0	100	0
75	75	78	83	100	61

Factor	Condiciones de la Mano de Obra			
Sub factor	Nombre	Máx.	Mín.	Rango
4.1	Competencias y experiencia de la M.O	3	1	2
4.2	Régimen de turnos	4	1	3
4.3	Sindicato	2	1	1
Similitud Global con P-P				

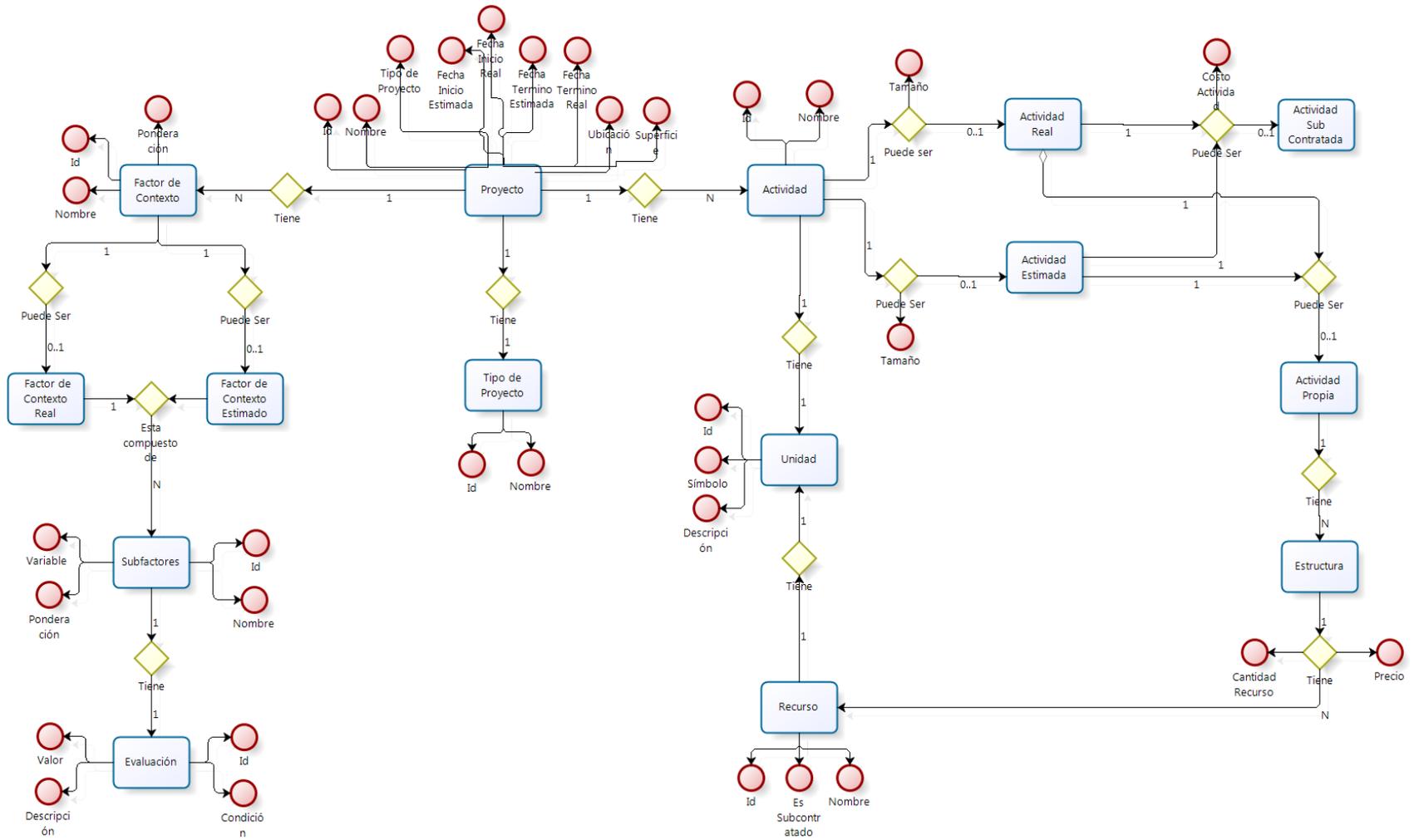
Similitud entre proyectos históricos y P-P -Factor: Disponibilidad de equipos

Disponibilidad de equipos					Similitud entre Proyectos de BD y P-P					
Factor					P1	P2	P3	P4	P5	P6
Sub factor	Nombre	Máx.	Mín.	Rango	Similitud Local con P-P					
5.1	Disponibilidad de equipos	2	1	1	100	100	0	0	100	100
Similitud Global con P-P					100	100	0	0	100	100

Similitud entre proyectos históricos y P-P -Factor: Condiciones de sitio

Condiciones de sitio					Similitud entre Proyectos de BD y P-P					
Factor					P1	P2	P3	P4	P5	P6
Sub factor	Nombre	Máx.	Mín.	Rango	Similitud Local con P-P (%)					
6.1	Ubicación	3	1	2	100	100	50	50	100	50
6.2	Accesibilidad al terreno	3	1	2	50	50	50	100	50	50
6.3	Calidad del suelo	3	1	2	0	0	0	100	50	0
6.4	Topografía	3	1	2	50	100	100	0	0	0
6.5	Conectividad	3	1	2	0	100	100	100	0	100
6.6	Espacio interior e interferencia	2	1	1	0	0	100	100	100	100
Similitud Global con P-P (%)					35	69	71	73	56	59

ANEXO I: MODELO ENTIDAD-RELACIÓN DE SICEC



ANEXO J: REPORTES ENTREGADOS POR PROTOTIPO SICEC

SICEC
SISTEMA DE INCORPORACIÓN DEL CONTEXTO EN LA ESTIMACIÓN DE COSTOS

Reportes

[Reporte General de Similitudes](#)

[Reporte Detallado de Similitudes](#)

[Reporte Detallado de Contexto](#)

[Reporte de Rendimientos](#)

Reportes de estimación de proyecto estimado

SICEC
SISTEMA DE INCORPORACIÓN DEL CONTEXTO EN LA ESTIMACIÓN DE COSTOS

Reportes

[Reporte General de Similitudes](#)

Nombre Proyecto	Similitud
Ampliación Mineroducto a 8"	78%
Construcción Truck Shop	77%
Construcción de Planta de Flotación de Arenas	54%
Proyecto Hipógeno	38%
Proyecto Montaje de Red de Incendio	76%
Proyecto Estación de Ciclones	73%

Aplicar % Corte: [Aplicar Corte](#)

[Reporte Detallado de Similitudes](#)

[Reporte Detallado de Contexto](#)

[Reporte de Rendimientos](#)

Reportes de estimación-Reporte General de Similitudes

SICEC

SISTEMA DE INCORPORACIÓN DEL CONTEXTO EN LA ESTIMACIÓN DE COSTOS

Reportes

[Reporte General de Similitudes](#)

[Reporte Detallado de Similitudes](#)

Factor: Complejidad del proyecto

Subfactor	Ampliación Mineroducto a 8"	Construcción Truck Shop	Proyecto Montaje de Red de Incendio	Proyecto Estación de Ciclones
Tipo de proyecto	50%	75%	100%	100%
Nivel de exigencia y restricciones de ITO y mandante	100%	100%	100%	100%
Grado de innovación del proyecto	50%	50%	50%	50%
Plazo disponible para ejecutar el proyecto	100%	100%	100%	100%
Similitud Global	75%	82%	90%	90%

Factor: Calidad de la información y documentación del proyecto

Subfactor	Ampliación Mineroducto a 8"	Construcción Truck Shop	Proyecto Montaje de Red de Incendio	Proyecto Estación de Ciclones
Complejidad de las especificaciones	50%	100%	50%	100%

[Reporte Detallado de Contexto](#)

[Reporte de Rendimientos](#)

Reportes de estimación-Reporte Detallado de Similitudes

SICEC

SISTEMA DE INCORPORACIÓN DEL CONTEXTO EN LA ESTIMACIÓN DE COSTOS

Reportes

[Reporte General de Similitudes](#)

[Reporte Detallado de Similitudes](#)

[Reporte Detallado de Contexto](#)

Factor: Complejidad del proyecto

Subfactor	Ampliación Mineroducto a 8"	Construcción Truck Shop	Proyecto Montaje de Red de Incendio	Proyecto Estación de Ciclones	Proyecto de Prueba p-p
Tipo de proyecto	4	1	2	2	2
Nivel de exigencia y restricciones de ITO y mandante	1	1	1	1	1
Grado de innovación del proyecto	3	3	3	3	2
Plazo disponible para ejecutar el proyecto	1	1	1	1	1

Factor: Calidad de la información y documentación del proyecto

Subfactor	Ampliación Mineroducto a 8"	Construcción Truck Shop	Proyecto Montaje de Red de Incendio	Proyecto Estación de Ciclones	Proyecto de Prueba p-p
-----------	-----------------------------	-------------------------	-------------------------------------	-------------------------------	------------------------

Reportes de estimación-Reporte Detallado de Contexto

SICEC

SISTEMA DE INCORPORACIÓN DEL CONTEXTO EN LA ESTIMACIÓN DE COSTOS

Reportes

[Reporte General de Similitudes](#)

[Reporte Detallado de Similitudes](#)

[Reporte Detallado de Contexto](#)

[Reporte de Rendimientos](#)

Actividad: Excavación en zanja 2

Proyecto	Cantidad [m]	HH Totales	Rendimiento [HH/m]
Ampliación Mineroducto a 8"	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Construcción Truck Shop	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Proyecto Estación de Ciclonas	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Actividad: Hormigón de fundación

Proyecto	Cantidad [m3]	HH Totales	Rendimiento [HH/m3]
Ampliación Mineroducto a 8"	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Construcción Truck Shop	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Proyecto Montaje de Red de Incendio	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Reportes de estimación-Reporte de Rendimientos

SICEC

SISTEMA DE INCORPORACIÓN DEL CONTEXTO EN LA ESTIMACIÓN DE COSTOS

Análisis de Rendimientos Estimados

Actividades	Rend Min	Rend Esp	Rend Max	Unidad Rend	Cantidad	Costo Unitario HH \$	HH Min	HH Esp	HH Max	Costo Min \$	Costo Esp \$	Costo Max \$
Excavación en zanja 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	HH/m	902,2 m	<input type="text"/>	0	0	0	0	0	0
Hormigón de fundación	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	HH/m3	778 m3	<input type="text"/>	0	0	0	0	0	0
Hormigón de muros y vigas	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	HH/m3	59,91 m3	<input type="text"/>	0	0	0	0	0	0
Hormigón de radier	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	HH/m3	2354,76 m3	<input type="text"/>	0	0	0	0	0	0
Montaje estructura liviana	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	HH/Kg	315859 Kg	<input type="text"/>	0	0	0	0	0	0
Montaje estructura mediana	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	HH/Kg	166825 Kg	<input type="text"/>	0	0	0	0	0	0
Instalación conduit	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	HH/m	5152 m	<input type="text"/>	0	0	0	0	0	0
Tendido cables CU malla tierra	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	HH/m	3674,64 m	<input type="text"/>	0	0	0	0	0	0
Montaje equipos menores	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	HH/Un	23,5 Un	<input type="text"/>	0	0	0	0	0	0

Análisis de Rendimientos Estimados (a)

SICEC

SISTEMA DE INCORPORACIÓN DEL CONTEXTO EN LA ESTIMACIÓN DE COSTOS

Análisis de Rendimientos Estimados

Actividades	Rend Min	Rend Esp	Rend Max	Unidad Rend	Cantidad	Costo Unitario HH \$	HH Min	HH Esp	HH Max	Costo Min \$	Costo Esp \$	Costo Max \$
Excavación en zanja 2	1	4	6	HH/m	902,2 m	10000	902	3.609	5.413	9.020.000	36.090.000	54.130.000
Hormigón de fundación	2	3	5,5	HH/m3	778 m3	8000	1.556	2.334	4.279	12.448.000	18.672.000	34.232.000
Hormigón de muros y vigas	0	0	0	HH/m3	59,91 m3	0	0	0	0	0	0	0
Hormigón de radier	0	0	0	HH/m3	2354,76 m3	0	0	0	0	0	0	0
Montaje estructura liviana	0	0	0	HH/Kg	315859 Kg	0	0	0	0	0	0	0
Montaje estructura mediana	0	0	0	HH/Kg	166825 Kg	0	0	0	0	0	0	0
Instalación conduit	0	0	0	HH/m	5152 m	0	0	0	0	0	0	0
Tendido cables CU malla tierra	0	0	0	HH/m	3674,64 m	0	0	0	0	0	0	0
Montaje equipos menores	0	0	0	HH/Un	23,5 Un	0	0	0	0	0	0	0

Análisis de Rendimientos Estimados (b)