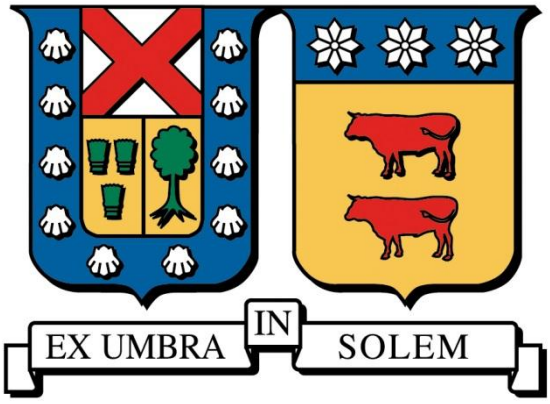
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

SANTIAGO-CHILE



ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS Y PROPUESTA DE MEJORAS EN LA GESTIÓN DE LA UNIDAD DE ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE CALIDAD DE AIRE DE LA EMPRESA "ENVIROMODELING LTDA."

NADIA MEDELYN RUMINOT BOVET

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA: SRTA. JOHANA MOYA A.

PROFESOR CO-REFERENTE: SR. FREDY KRISTJANPOLLER

SANTIAGO, ENERO DE 2018.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar siempre, agradecer a Dios, por todo.

Agradecer a mi familia, y en especial a mi madre por su paciencia.

También por su paciencia a mis amigas y por su apoyo.

En forma especial, a la Srta. Johana Moya, quien me guío por esta tarea,

agradezco su excelente disposición, por el seguimiento y supervisión.

Finalmente, agradezco a Enviromodeling, y en especial a su Director Dr.

Luis Matamala por permitirme desarrollar esta memoria aplica a su empresa.

Muchas Gracias,

Nadia Ruminot Bovet

ÍNDICE GENERAL

I. RESUMEN EJECUTIVO xiii

I.1 Identificación del Problema xiii

I.2 Diagnóstico Situación Actual xiii

I.3 Propuestas de Mejoras xviii

I.4 Conclusiones xx

II. INTRODUCCIÓN xxi

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 1

1.1. Descripción del Problema 1

1.2. Propuesta del Tema 3

1.3. Objetivos 4

1.3.1. Objetivo General 4

1.3.2. Objetivos Específicos 4

1.4. Alcance 6

1.5. Metodología 7

1.5.1. Recolección de Información 7

1.5.2. Diagnóstico Situación Actual 7

1.5.3. Propuestas de Mejora 7

CAPÍTULO II: ANTECEDENTES GENERALES 9

2.1. Gestión de Proyectos 9

2.1.1 Historia y Evolución de la Gestión de Proyectos 10

2.1.2 Gestión de Proyectos en Empresas de Servicios 25

2.2. Consultoría 29

2.2.1 Consultoría de Ingeniería en Chile 34

2.2.1 Consultoría Ambiental 35

2.2.2 Consultoría Ambiental en Chile 36

2.3. Contaminación Atmosférica 40

2.3.1. Estado del Arte en Modelación Atmosférica 42

2.3.1.1 Modelos de Tipo Euleriano 45

2.3.1.2 Modelos de Tipo Lagrangeanos 45
2.4. Antecedentes de la Empresa 54
2.4.1 Perfil de la Compañía 54
2.4.2 Sectores de Desarrollo 54
2.4.3 Visión, Misión y Valores de la Empresa 55
2.4.4 Historia de Enviromodeling 56
2.4.5 Estructura Organizacional 60
2.4.6 Servicios Entregados 62
2.4.7 Productos 64
2.4.8 Clientes 65
2.4.9 Proyectos Recientes 67
2.4.10 Industria en la que Compite 76
2.4.11 Competidores 76
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO 82
3.1. El Proyecto 82
3.1.1. Ciclo del Proyecto 84
3.2. El proyecto y su Organización 86
3.2.1. Estructura de la Organización 87
3.3. Gestión y Planificación de Proyectos 94
3.4. Project Management Institute (PMI) 99
3.4.1. PMBOK 101
3.5. Normas ISO 103
3.5.1. ISO 21500 103
3.6. Diagrama Causa-Efecto 106
3.6.1. Construcción del Diagrama 107
3.7. Modelación de Calidad de Aire 108
3.7.1. Modelo Meteorológico WRF 110
3.7.2. Sistema de Modelación CALPUFF 112
3.7.3. Sistema de Modelación CAMx 116
3.8. Inventario de Emisiones 120
3.9. Evaluación Ambiental 122
3.9.1. Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) 122
3.9.2. Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) 124

3.9.3. Estudio de Evaluación Ambiental (EIA) 125
3.9.4. Declaración de Evaluación Ambiental (DIA) 126
3.9.5. Resolución de Calificación Ambiental (RCA) 127
3.9.6. Informe de Evaluación Consolidado de evaluación o ICE 129
3.9.7. ICSARA 130
3.9.8. ADENDA 130

CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL 131

4.1. Modelo Operacional y Organizacional de la Empresa 131
4.1.1. Descripción de las Áreas de Negocio que Componen la Empresa 131
4.1.2. Principales Procesos de Cada Área 132
4.1.3. Estadística General de Proyectos 135
4.2. Descripción Proceso Productivo Área de Estudios de Calidad de Aire 137
4.2.1. Análisis de Información Ambiental 140
4.2.2. Modelación Meteorológica 145
4.2.3. Análisis de Incertidumbre 147
4.2.4. Desarrollo de Inventario de Emisiones Atmosféricas 151
4.2.5. Modelación de Calidad de Aire 156
4.2.6. Preparación de Informe de Resultados 160
4.2.7. Respuestas a ICSARA 162
4.3. Análisis Macro de la Situación Actual 162
4.3.1. Análisis de Proyectos Desarrollados en el Periodo 2010 - 2016 162
4.3.2. Análisis de los Procesos del Área de Estudios de Calidad de Aire 169
4.3.2.1 Diagrama de Flujo y Análisis de Actividades 176
4.3.3. Análisis de Otras Variables 182
4.3.3.1 Registro y Control de Horas 182
4.3.3.2 Falta de Indicadores 183
4.3.3.3 Falta de Lecciones Aprendidas 183
4.3.3.4 Elaboración de Propuestas 183
4.3.4. Visión de los Clientes 184
4.3.4.1 Análisis de Entrevista a Minera Los Pelambres 185
4.3.4.2 Análisis de Entrevista a CODELCO Distrito Norte 185
4.4. Análisis Micro de la Situación Actual 186
4.4.1. Descripción Proyectos Destacados del Área de Estudios de Calidad de Aire 186
4.4.1.1 Proyecto Central Tierra Noble 186

4.4.1.2 Proyecto Central Luz de Atacama 193
4.4.1.3 Proyecto Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad 200
4.4.1.4 Proyecto RT Sulfuros 219
4.4.2. Análisis de Proyectos Destacados 228
4.4.2.1 Estudio "Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble" del Proyecto Central Tierra Noble de Global Power Generation Chile SpA 229
4.4.2.2 Estudio "Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama" del Proyecto Luz de Atacama de Concesionaria Luz De Atacama SpA .. 236
4.4.2.3 Estudio "Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina" del Proyecto Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad de ENEL Generación Chile 242
4.4.2.4 Estudio "Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros" del Proyecto RT Sulfuros de CODELCO Chile, División Radomiro Tomic 250
4.4.3. Análisis en Conjunto de los Proyectos Destacados 257
4.5. Identificación Problema 258
4.5.1. Detección Problemática 258
4.5.1.1 Comunicación 258
4.5.1.2 Proceso Productivo 259
4.5.1.3 Planificación 261
4.5.2. Desarrollo Entrevistas y Análisis de Resultados 261
4.6. Identificación de Causas de la Problemática 263
4.6.1. Diagrama Causa-Efecto 265
4.6.2. Descripción Causas 267
4.7. Conclusión Análisis 269

CAPÍTULO V: PROPUESTA DE MEJORAS 271

5.1. Introducción 271
5.2. Descripción de la Propuesta de Mejoras 272
5.2.1. Propuesta de Implementación y Organización de Reuniones con Clientes 276
5.2.1.1 Descripción Detallada de la Propuesta 278
5.2.1.2 Costo de Implementación de la Propuesta 283
5.2.1.3 Resultados Esperados de la Propuesta 283
5.2.1.4 Feedback e Implementación de la Propuesta 284
5.2.2. Propuesta de Implementación y Organización de Reuniones del Equipo 284
5.2.2.1 Descripción Detallada de la Propuesta 285

5.2.2.2 Costo de Implementación de la Propuesta 286
5.2.2.3 Resultados Esperados de la Propuesta 286
5.2.2.4 Feedback e Implementación de la Propuesta 287
5.2.3. Propuesta de Software Especializado en Planificación 287
5.2.3.1 Descripción Detallada de la Propuesta 288
5.2.3.2 Costo de Implementación de la Propuesta 290
5.2.3.3 Resultados Esperados de la Propuesta 291
5.2.3.4 Feedback e Implementación de la Propuesta 291
5.2.4. Propuesta de Adquisición de un Generador Eléctrico 292
5.2.4.1 Descripción Detallada de la Propuesta 292
5.2.4.2 Costo de Implementación de la Propuesta 294
5.2.4.3 Resultados Esperados de la Propuesta 294
5.2.4.4 Feedback e Implementación de la Propuesta 294
5.2.5. Propuesta de Servidores Virtuales Externos 295
5.2.5.1 Descripción Detallada de la Propuesta 295
5.2.5.2 Costo de Implementación de la Propuesta 297
5.2.5.3 Resultados Esperados de la Propuesta 297
5.2.5.4 Feedback e Implementación de la Propuesta 297

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 298

6.1 Conclusiones Generales 298
6.2 Conclusiones Específicas 298
6.3 Recomendaciones 302

CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA 303

8.1 INTRODUCCIÓN 303
8.2 CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 303
8.3 CAPÍTULO II: ANTECEDENTES GENERALES 303
8.4 CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO 306
8.5 CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL 309

ANEXOS 311

Anexo 1: Entrevistas a Clientes 311
Entrevista a Minera Los Pelambres 311
Entrevista a CODELCO Distrito Norte 312

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis de actividades críticas del área de elaboración de estudios de calidad de aire de Enviromodeling Ltda. xiv

Tabla 2: Propuestas específicas y generales de mejoras para los proyectos de estudios de calidad de aire. xix

Tabla 3: Modelos que utilizan la tecnología de los Siglos XX y XXI. 53

Tabla 4: Influencia de la Estructura de la Organización en los Proyectos. 87

Tabla 5: Proyectos de minería, energía y gestión realizados por Enviromodeling durante el periodo 2010 – 2016. 164

Tabla 6: Actividades del proceso de elaboración de estudios de calidad de aire, actividades predecesoras y duración. 173

Tabla 7: Profesionales encargados de cada proceso productivo del área de elaboración de estudios de calidad de aire de Enviromodeling Ltda. 176

Tabla 8: Análisis de actividades críticas del área de elaboración de estudios de calidad de aire de Enviromodeling Ltda. 179

Tabla 9: Análisis de actividades adecuadas del área de elaboración de estudios de calidad de aire de Enviromodeling Ltda (EM). 181

Tabla 10: Características de las estaciones meteorológicas de superficie pertenecientes a la red de monitoreo en la zona de estudio del Proyecto “Central Tierra Noble”. 188

Tabla 11: Características de las estaciones meteorológicas de superficie pertenecientes a la red de monitoreo en la zona de estudio del Proyecto “Central Luz de Atacama”. 194

Tabla 12: Características de las estaciones meteorológicas de superficie pertenecientes a la red de monitoreo en la zona de estudio del Proyecto “Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad”. 201

Tabla 13: Programación del Proyecto de Enviromodeling: “Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble”. 231

Tabla 14: Recursos humanos a utilizar en el Proyecto de Enviromodeling: “Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble”. 232

Tabla 15: Entrega de resultados en el Proyecto de Enviromodeling: “Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble”. 233
Tabla 16: Programación del Proyecto de Enviromodeling: “Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama”. 238
Tabla 17: Recursos humanos a utilizar en el Proyecto de Enviromodeling: “Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama”. 239
Tabla 18: Entrega de resultados en el Proyecto de Enviromodeling: “Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama”. 239
Tabla 19: Programación del Proyecto de Enviromodeling: “Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina”. 244
Tabla 20: Recursos humanos a utilizar en el Proyecto de Enviromodeling: “Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina”. 245
Tabla 21: Entrega de resultados en el Proyecto de Enviromodeling: “Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina”. 246
Tabla 22: Programación del Proyecto de Enviromodeling: “Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros”. 252
Tabla 23: Recursos humanos a utilizar en el Proyecto de Enviromodeling: “Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros”. 253
Tabla 24: Entrega de resultados en el Proyecto de Enviromodeling: “Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros”. 254
Tabla 25: Identificación de causas probables de las problemáticas detectadas. 261
Tabla 26: Profesionales encargados de responder la encuesta por proceso productivo. 263
Tabla 27: Principales causas responsables de las desviaciones de HH en los proyectos de estudios de calidad de aire. 271

Tabla 28: Propuestas de mejoras para los proyectos de estudios de calidad de aire. 272
Tabla 29: Propuestas específicas y generales de mejoras para los proyectos de estudios de calidad de aire. 273
Tabla 30: Costos asociados a las reuniones con clientes. 283
Tabla 31: Costos asociados a las reuniones del equipo. 286
Tabla 32: Ficha técnica del generador eléctrico a gas Power Pro DG 2500. 293

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama Causa Efecto. xviii
Figura 2: Categorías de modelos que se originan de la ecuación semi- empírica de difusión atmosférica. 44
Figura 3: Ecuación Semi – Empírica de difusión atmosférica y sus soluciones Analíticas. 46
Figura 4: Ejemplo de transporte y variación del tamaño de puff de acuerdo a la estabilidad de la atmósfera. Zona de Calama. 51
Figura 5: Organigrama general de la empresa Enviromodeling Ltda. 60
Figura 6: Ciclo de vida del proyecto. 86
Figura 7: Organización funcional. 89
Figura 8: Organización Matricial Débil. 90
Figura 9: Organización Matricial Equilibrada. 91
Figura 10: Organización Matricial Fuerte. 91
Figura 11: Organización orientada a Proyectos. 92
Figura 12: Organización compuesta. 93
Figura 13: Típica función continua de costo-tiempo-calidad de la gestión de proyecto. 97
Figura 14: Representación gráfica del modelo tipo puff y de pluma. 115
Figura 15: Estadística de proyectos desarrollados por Enviromodeling durante el periodo 2008 – 2016. 136
Figura 16: Diagrama de Procesos para la elaboración de Estudios de Calidad de Aire. 139
Figura 17: Diagrama del proceso de Análisis de Información Ambiental. 140

Figura 18: Ejemplo de visualización de serie de tiempo de Humedad Relativa mediante el software DataVoyager. 143
Figura 19: Ejemplo de ciclo diario promedio anual de velocidad de viento. 144
Figura 20: Ejemplo de rosa de vientos promedio anual. 145
Figura 21: Diagrama de operación del proceso de Modelación con WRF. 146
Figura 22: Diagrama de operación del proceso de Análisis de Incertidumbre. 148
Figura 23: Rosas de viento en superficie promedio anual observadas y modeladas con WRF durante el año 2015 en las estaciones meteorológicas Concón, Junta de Vecinos, Las Gaviotas y Colmo de la zona de Concón. 150
Figura 24: Diagrama de operación del proceso de Elaboración de Inventario de Emisiones. 152
Figura 25: Diagrama de operación del proceso de Modelación de Calidad de Aire. 158
Figura 26: Resultados entregados en Informe de Avance. 161
Figura 27: Resultados entregados en Pre-Informe Final e Informe Final. 161
Figura 28: Cantidad de proyectos de Enviromodeling por categorías de Minería, Energía y Gestión, periodo 2010 – 2016. 168
Figura 29: Distribución de proyectos de Enviromodeling por categorías de Minería, Energía y Gestión, periodo 2010 – 2016. 169
Figura 30: Diagrama general de procesos de Enviromodeling Ltda. 172
Figura 31: Diagrama de redes para CPM y Ruta Crítica resultante. 174
Figura 32: Ruta Crítica resultante y actividades del proceso de elaboración de estudios de calidad de aire. 175
Figura 33: Diagrama de procesos BPM Elaboración de Estudios de Calidad de Aire. 178
Figura 34: Área de modelación de la zona de estudio considerado en el proyecto de Enviromodeling “Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble”. 190
Figura 35: Dominio de modelación de CAMx en la zona de estudio (sistema de coordenadas Lambert Conformal Conic, LCC). 196
Figura 36: Dominio de modelación de la zona de estudio considerado en el proyecto de Enviromodeling “Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad”. 204

Figura 37: Dominio de modelación de implementado en la zona de Calama - Chiu Chiu, con dimensiones de 100 kilómetros en dirección Este y 80 kilómetros en dirección Norte. Coordenadas de Origen. UTM-E: 460,0 km, UTM-N: 7.495,0 km. 224
Figura 38: Dominio de modelación de implementado en la zona de María Elena, con dimensiones de 50 kilómetros en dirección Este y 35 kilómetros en dirección Norte. Coordenadas de Origen. UTM-E: 408,0 km, UTM-N: 7.513,0 km. 225
Figura 39: Dominio de modelación de implementado en la zona de Tocopilla, con dimensiones de 50 kilómetros en dirección Este y 35 kilómetros en dirección Norte. Coordenadas de Origen. UTM-E: 358,5 km, UTM-N: 7.535,0 km 226
Figura 40: Comparación de los tiempos de entrega de resultados real y programado del proyecto "Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble". 234
Figura 41: Comparación de los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto "Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble". 235
Figura 42: Desviación porcentual entre los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto "Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble". 235
Figura 43: Comparación de los tiempos de entrega de resultados real y programado del proyecto "Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama". 240
Figura 44: Comparación de los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto "Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama". 241
Figura 45: Desviación porcentual entre los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto "Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama". 241
Figura 46: Comparación de los tiempos de entrega de resultados real y programado del proyecto "Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina". 247

Figura 47: Comparación de los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto “Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina”. 248
Figura 48: Desviación porcentual entre los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto “Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina”. 249
Figura 49: Comparación de los tiempos de entrega de resultados real y programado del proyecto “Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros”. .. 255
Figura 50: Comparación de los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto “Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros”. .. 256
Figura 51: Desviación porcentual entre los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto “Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros”. 256
Figura 52: Respuestas a encuesta problemática Comunicación. 264
Figura 53: Respuestas a encuesta problemática Programación. 264
Figura 54: Respuestas a encuesta problemática Proceso Productivo. 265
Figura 55: Diagrama Causa Efecto. 266
Figura 56: Intervención de Causas mitigadas o eliminadas. 275
Figura 57: Causas que se eliminan o mitigan con la implementación de reuniones de inicio con clientes. 277
Figura 58: Causas que se eliminan o mitigan con la implementación de reuniones de entrega de observaciones. 277
Figura 59: Minuta de reunión de inicio. 280
Figura 60: Minuta de reunión de entrega de observaciones al Pre-Informe Final del proyecto. 282
Figura 61: Causas que se eliminan o mitigan con la implementación de un software especializado en programación de proyectos. 288

I. RESUMEN EJECUTIVO

I.1 Identificación del Problema

La tendencia en el mercado de las consultorías ambientales es a un aumento en la demanda, la cual será cada vez más exigente en cuanto a plazos y resultados. Esto acentuado por nuevos marcos regulatorios, nuevas exigencias de los mercados internacionales y además una ciudadanía cada vez más preocupada y sensibilizada del tema ambiental.

En este contexto, es que se propone a la consultora ambiental Enviromodeling realizar un análisis de las metodologías de la Dirección de Proyectos, que permita identificar herramientas que puedan implementar en la elaboración de estudios de calidad de aire para tener una gestión más eficaz de éstos y por lo tanto puedan competir mejor en el mercado correspondiente.

I.2 Diagnóstico Situación Actual

El diagnóstico de la situación actual se realizó considerando la descripción detallada del proceso productivo del área de estudios de calidad de aire, para luego basarse en análisis macro y micro de la situación actual.

El análisis macro se realiza en base a:

- El análisis de proyectos de elaboración de estudios de calidad de aire desarrollados en el periodo 2010 – 2016, clasificados por las categorías de los sectores: Minería, Energía, Gestión y Otros (como chancherías, celulosas, cementeras, etc.).

De este análisis se observa que el fuerte de los proyectos de calidad de aire son del sector Minería y Energía.

- El análisis de los procesos del área de estudios de calidad de aire, con la descripción general de los procesos y complementado con la aplicación del método de ruta crítica por CPM, en el que se observa que la ruta crítica se compone por cinco actividades de un total de nueve. Las actividades de la Ruta Crítica representan un 56% del total con una duración de 15 semanas. La mayor parte de las actividades fuera de la Ruta Crítica solo tienen una semana de holgura y solo una actividad tendría una holgura de dos semanas.
- El diagrama tipo BPM para el proceso de elaboración de estudios de calidad de aire de Enviromodeling, el cual se presenta subdivido para identificar cada responsable de las actividades.

Según la opinión de cada encargado, las actividades críticas que dan origen a problemas que impactan de manera negativa en el desarrollo de los proyectos se presentan en Tabla 1.

Tabla 1: Análisis de actividades críticas del área de elaboración de estudios de calidad de aire de Enviromodeling Ltda.

Actividad	Encargado	Observaciones
Entrega de Información Ambiental	Cliente	La gestión de la solicitud de entrega de información ambiental es algo crítico en el proceso de ECA ya que es el input de varias actividades. Su demora atrasa el inicio del proyecto y la entrega del Informe de Avance en el tiempo programado. Esta demora es mayor cuando el proyecto es subcontratado y no se pueden pedir los datos directamente al encargado de las redes de monitoreo. En reunión de inicio se debería dejar establecido el compromiso de proveernos de esta información y que los plazos contemplen el tiempo que demora su entrega.

Actividad	Encargado	Observaciones
Modelación con WRF	FM: Francisco Matamala	Esta actividad es crítica debido a que entrega resultados que son utilizados por otras actividades. Si bien la información de entrada al modelo está disponible y es de rápido acceso, esta modelación requiere gran capacidad computacional para correr. Este es un requerimiento muy importante ya que limita la rapidez de esta actividad y cualquier accidente en una corrida implica graves retrasos que pueden ser de un día hasta semanas. Accidentes pueden ser cortes de luz o falla de computadores. Estos imprevistos hacen que se deban recorrer periodos de meteorología que se cortaron. Además, es muy importante hacer pruebas cortas de modelaciones que tienen requerimientos especiales, tales como dominios muy grandes o pequeñas resoluciones. De esta manera se podría dimensionar mejor el tiempo de corrida, ya que este no es lineal, es decir, un dominio del doble de otro no necesariamente se demora el doble de tiempo.
Modelación con CAMx	FM: Francisco Matamala	Esta actividad entrega los resultados más importantes de los ECA, los aportes de contaminantes atmosféricos del proyecto, de donde se obtienen los Impactos del proyecto a la calidad del aire de la zona de interés. Al igual que en el caso de la modelación con WRF, esta modelación también requiere de gran capacidad computacional para correr, por ser modelos que resuelven complejas ecuaciones. Además, se requiere correr de entre 3 a 4 escenarios de emisiones diferentes para un solo proyecto. En este caso también son un gran problema los imprevistos de cortes de energía eléctrica y fallas en los computadores especialmente acondicionados para esta actividad, lo que hace parar las corridas y tener que repetirlas de nuevo. Se deberían buscar soluciones a estos problemas que permitan las corridas de forma ininterrumpidas.
Elaboración de Inventario de Emisiones	NR: Nadia Ruminot	Esta actividad entrega información muy importante para la realización de las modelaciones de calidad de aire, ya sea de contaminantes primarios con CALPUFF o secundarios con CAMx. Entrega las emisiones atmosféricas que el proyecto está declarando que va a tener cuando entre en funcionamiento, ya sea en la etapa de construcción como en la de operación. Esta actividad se vuelve más crítica entre más grande sea el proyecto a evaluar, ya que mayor es la cantidad de actividades emisoras y mayor es la probabilidad de equivocaciones. Una equivocación en los cálculos de emisiones puede llevar a tener que repetirse corridas de CALPUFF y/o CAMx ya realizadas si no se detectan antes de que se corran.

Actividad	Encargado	Observaciones
		Para esto se van desarrollando indicadores de sumas parciales de emisiones que se comparan al realizar los cálculos de manera diferente, es decir, se trata de desarrollar el inventario de dos formas para poder comparar los resultados. Algo importante que se debería aplicar es una revisión exhaustiva de las hojas Excel por parte de otra persona. Esto solo a veces lo realiza la contraparte técnica, lo que debería ser una exigencia. Otra tarea que se debería realizar es buscar otros inventarios de emisiones para comparar resultados, los que podrían dar una noción de órdenes de magnitudes coherentes. Esto se realiza solo con inventarios realizados anteriormente, también se podría buscar en el SEIA otros proyectos presentados.
Entrega observaciones y comentarios al Informe Final	Cliente	La revisión de los resultados de los ECA por parte de la contraparte y la entrega de sus observaciones y comentarios es crítica para el término del Proyecto. Una vez entregadas, se corrige el Pre-Informe Final y se entrega el Informe Final del Proyecto, el cual lo pueden utilizar para presentarlo en la evaluación ambiental del proyecto. En las propuestas se establece que el cliente tiene un plazo de dos semanas para entregar estas observaciones y comentarios, y después de ese periodo se da como aceptado el Pre-informe como Informe Final. En la práctica esto no se exige y se espera el tiempo que el cliente lo requiera para su revisión. Esto como una forma de fidelizarlos ya que no sería bien visto dar por terminado el proyecto de parte de la empresa. Se deberían fijar más reuniones con la contraparte para revisar el avance del proyecto y una reunión para la entrega de estas observaciones, así la contraparte se esforzaría más por revisar el Pre-informe antes de dicha reunión. En esta reunión debería participar el cliente final, no solo la contraparte técnica si el servicio es subcontratado.

Fuente: Elaboración Propia.

- El análisis de otras variables, donde se observan la falta de algún registro y control de horas utilizados en proyectos, falta de indicadores, falta de lecciones aprendidas y falta de información estadística que ayude a la asignación de recursos en la elaboración de propuestas.

- La visión de los clientes, basada en dos entrevistas a profesionales de las empresas Minera Los Pelambres y CODELCO.

Por otra parte, el análisis micro se realiza considerando cuatro proyectos del sector Minería y Energía. Primero, se describen los proyectos en general y el servicio entregado por Enviromodeling en cada uno, y luego se presenta un análisis más detallado de estos, considerando las horas reales utilizadas en los proyectos versus las programadas.

En este análisis de observa que las mayores desviaciones de tiempo son en los procesos de elaboración de Inventario de Emisiones y en las modelaciones de calidad de aire (CALPUFF y/o CAMx). Esto produce el retraso en la entrega del Pre-Informe Final.

La entrega del Informe Final también presenta desviaciones importantes de lo programado con respecto a lo real. Esto principalmente se debe a la demora por parte de la contraparte en entregar observaciones y/o comentarios al Pre- Informe Final.

Finalmente, por medio de los análisis macro y micro, además de reuniones y entrevistas a los profesionales de Enviromodeling se obtuvo el diagrama Causa – Efecto con las principales causas responsables de las desviaciones de HH en los proyectos de estudios de calidad de aire. Este diagrama se presenta en Figura 1.

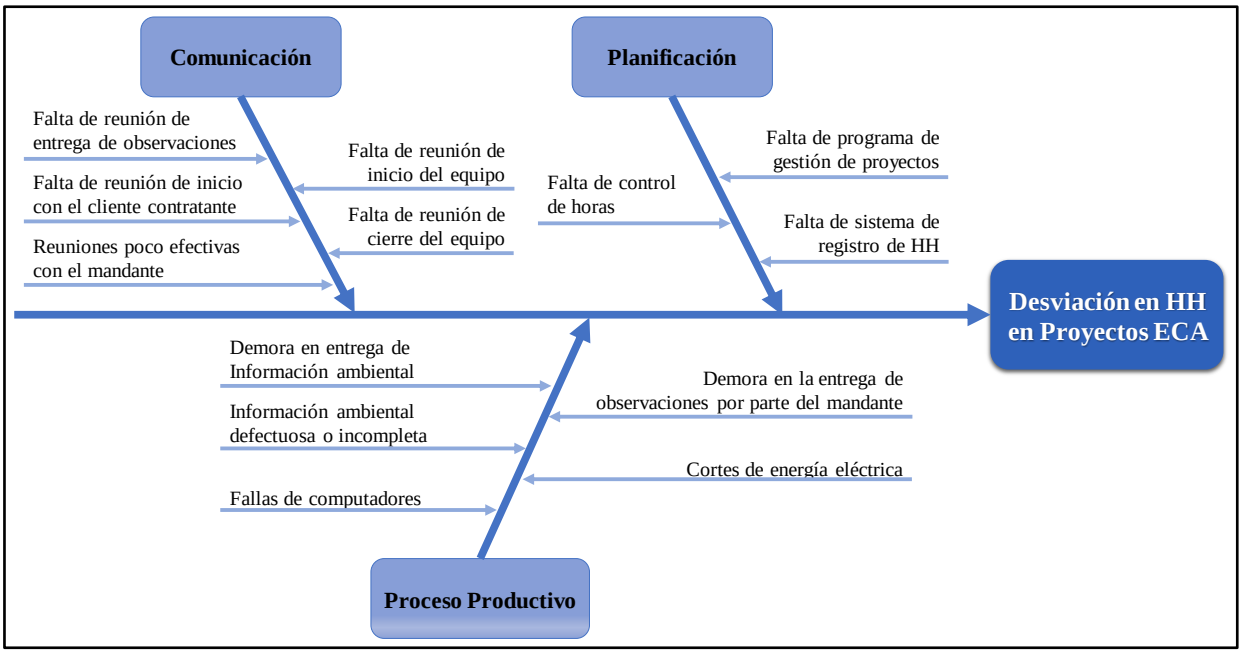


Figura 1: Diagrama Causa Efecto.

Fuente: Elaboración Propia.

I.3 Propuestas de Mejoras

Considerando el análisis realizado en el diagnóstico de la situación actual, se realiza una propuesta de mejoras en la gestión de proyectos de elaboración de estudios de calidad de aire de la consultora ambiental Enviromodeling Ltda.

Para las problemáticas más importantes detectadas se entrega una propuesta de mejora, luego debido a que hay algunas muy semejantes o iguales entre éstas, se agruparon para realizar una propuesta general. En Tabla 2 se presentan las propuestas específicas y la agrupación de propuestas generales.

Tabla 2: Propuestas específicas y generales de mejoras para los proyectos de estudios de calidad de aire.

Causas problemáticas	Propuestas Específicas	Propuestas Generales
Reuniones poco efectivas con el cliente final	Registro y entrega de minutas de reunión	Implementación y organización de reuniones con clientes
Falta de reunión de entrega de observaciones	Establecer reunión de entrega de observaciones	
Demora en la entrega de observaciones por parte del mandante o cliente final	Establecer reunión de entrega de observaciones	
Falta de reunión de inicio con el cliente contratante	Establecer reunión de inicio con cliente contratante	
Demora en entrega de información ambiental	Establecimiento plazos en reunión de inicio	
Información ambiental defectuosa o incompleta	Establecimiento plazos en reunión de inicio	
Falta de reunión de cierre del equipo	Establecer reunión de cierre de equipo	Implementación y organización de reuniones de equipo
Falta de reunión de inicio del equipo	Establecer reunión de inicio de equipo	
Falta de programa de gestión de proyectos	Software especializado en planificación	Software especializado
Falta sistema de registro de HH	Sistema de registro de HH	
Falta de control de horas	Sistema de registro de HH	
Cortes de energía eléctrica	Generador eléctrico	Adquisición generador eléctrico
Fallas en los computadores	Servidores virtuales externos	Contratación servidores virtuales

Fuente: Elaboración Propia.

De las propuestas presentadas en Tabla 2, la implementación y organizaciones de reuniones con el cliente y el equipo se implementarán en el próximo proyecto a utilizar. El

software especializado en programación de proyectos se implementará en primer lugar la prueba gratis y luego uno de los profesionales más experimentados instruirá a los demás. La adquisición del generador no se realizará ya que dentro de los próximos meses habrá un cambio de oficinas, cuyo edificio tiene su propio sistema de respaldo de energía eléctrica. Finalmente, solo en el caso de que alguna falla de computadores retrase un proyecto en tiempos que dificulte el término de éste en los plazos comprometidos se contratarán servidores virtuales de Amazon, los que permiten que se pague solo por lo usado por horas.

I.4 Conclusiones

La consultora ambiental Enviromodeling Ltda., ha ido evolucionando con respecto a la ciencia de modelación de calidad de aire para ofrecer servicios de acuerdo al estado del arte de modelación, pero no ha fortalecido su gestión de proyectos para la elaboración de estudios de calidad de aire, observándose deficiencias en los proyectos comparados con la programación de éstos y un nulo sistema de control de las horas de trabajo utilizados por los profesionales.

En Enviromodeling, no hay un sistema de registro y control de horas utilizadas en los proyectos, lo que repercute también en que la elaboración de propuestas no se pueda realizar en base a un análisis más objetivo.

Con los resultados obtenidos a través de los análisis de los proyectos, se observa que los atrasos en los proyectos de estudios de calidad de aire de la empresa son debido a tres problemáticas principales: Comunicación, Planificación y Proceso Productivo.

II. INTRODUCCIÓN

Estadísticas de empresas especializadas, como por ejemplo Gartner, nos señalan que sólo en el orden del 20% de los proyectos se finaliza obteniendo el objetivo planteado, en el tiempo y con los recursos estimados. Esta problemática se da en todo tipo de proyectos[1].

No es difícil imaginar lo perjudicial que puede ser para una empresa tener proyectos deficientes y bajo porcentaje de éxito.

Es por esto, que actualmente se torna de suma importancia implementar herramientas de gestión de proyectos que permitan a las empresas enfrentar cambios y lograr mantenerse en mercados cada vez más competitivos.

La presente memoria es aplicada a la consultora ambiental Enviromodeling Ltda, la cual es una pequeña empresa familiar dedicada principalmente a la modelación de calidad de aire. De esta actividad se desprenden las distintas áreas de negocio de la empresa: elaboración de estudios de calidad de aire, capacitación y venta de productos.

En esta memoria se investiga y analiza la metodología de dirección de proyectos de la unidad de elaboración de estudios de calidad de aire de la consultora ambiental Enviromodeling. Este análisis se realiza en base al estudio macro y micro de la situación actual de esta unidad para identificar los problemas en los proyectos realizados por la empresa durante el periodo 2010 – 2016. Luego se entregan propuestas de mejoras a los principales problemas detectados.

[1] ADRIÁN ANEX M (2008). *¿Por qué fracasan los proyectos en las organizaciones?*, obtenido de http://www.emb.cl/gerencia/articulo.mvc?xid=1275

CAPÍTULO I
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del Problema

Las empresas de consultoría ven como día a día aumenta la demanda de sus servicios. Si a la necesidad de asesoramiento de las empresas se une la creciente regulación y preocupación por temas medioambientales, el sector, en especial el de las consultorías medioambientales cuenta con unas perspectivas de futuro favorables a priori[2].

Por un lado, están los marcos regulatorios y las nuevas exigencias de los mercados internacionales; por otro lado, una ciudadanía cada vez más preocupada del tema ambiental, más sensibilizada. Además, existen intereses económicos de los países en desarrollo que están moviendo el mercado, moviendo a las empresas y a los gobiernos para promover los mercados. A la postre, los mercados dependen de la regulación en el resto del mundo y si esa regulación y las normas son más estrictas, habrá más demanda de bienes y servicios ambientales[3].

Por otro lado, la economía mundial está mejorando, y las empresas que utilizan la Gestión de Proyectos están en una mejor posición cuando necesitan nuevas iniciativas estratégicas para hacer frente a los cambios en las demandas y el consumo. Las estadísticas demuestran que la Gestión de Proyectos se ha convertido en la herramienta estratégica necesaria para adaptarse a estos cambios[4].

---

[2] MUNICIPALIDAD DE GUIJÓN, ESPAÑA. *Guía de negocio: Consultoría medioambiental.*
[3] CEPAL (2006). *Las pymes en el mercado de bienes y servicios ambientales.*
[4] CARLOS J. PAMPLIEGA (s.f). *La Gestión de Proyectos como herramienta estratégica de la empresa*, obtenido de http://salineropampliega.com/2014/06/la-gestion-de-proyectos-como-herramienta-estrategica-de-la-empresa.html.

En este escenario, para que Enviromodeling tenga éxito en sus proyectos y actividades y pueda hacer frente a una creciente demanda del mercado y competir en éste, es necesario implementar mejoras que le permitan tener una buena planificación de sus proyectos y fortalezcan una buena ejecución de éstos, lo que además se concrete con una buena gestión y control de su desarrollo.

La empresa debe concienciarse en esta forma de trabajo por proyectos, y tener una buena metodología para gestionarlos eficazmente. En la medida en que sean capaces de reducir plazos de entrega, mejorar el control de costes y reducir los riesgos de estos proyectos, sus organizaciones serán más competitivas en el mercado nacional e internacional. Las metodologías de Gestión de Proyectos aportan enormes beneficios en términos de costes, calidad y control para las Compañías, además de ser una poderosa herramienta de gestión del cambio organizacional[5].

[5] CARLOS J. PAMPLIEGA (s.f). *Gestión de Proyectos ¿Moda o Necesidad?*, obtenido de https://pmi-mad.org/index.php?option=com_content&view=article&id=551:gestion-de-proyectos-imoda-o-necesidad&catid=137:articulos&Itemid=88

1.2. Propuesta del Tema

Como se expuso en la descripción del problema, la tendencia en el mercado de las consultorías ambientales es a un crecimiento de la demanda, la cual será cada vez más exigente en cuanto a plazos y resultados.

Por otro lado, existen herramientas y metodologías de Dirección de Proyectos que permiten una gestión más eficaz de éstos y por lo tanto pueden entregar un valor agregado a las empresas para competir mejor en el mercado correspondiente.

En este contexto, es que se propone a la consultora ambiental Enviromodeling realizar un análisis de las metodologías de la Dirección de Proyectos que permita identificar que herramientas se pueden implementar en la empresa. De esta forma prestar un servicio de consultoría en calidad de aire más completo y eficaz, de tal forma de llegar a ser un referente nacional e internacional en la prestación de los servicios que entrega.

Esto se realizará mediante un análisis en profundidad de los proyectos ejecutados por la empresa, además de entrevistas al personal y socios de la empresa, con el fin de identificar las principales causas que generan problemas de ineficiencia de sus procesos.

Estos análisis permitirán proponer un plan de mejoras alineadas a la Dirección de Proyectos que permita disminuir o eliminar las problemáticas identificadas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Realizar un diagnóstico de los problemas de gestión de los proyectos de elaboración de estudios de calidad de aire de la consultora ambiental Enviromodeling Ltda., a través de un análisis de los procesos del área y de proyectos realizados, mediante herramientas de Dirección de Proyectos, para generar una propuesta de mejoras del servicio entregado con el fin de mejorar su competitividad y potenciar el crecimiento de la empresa.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Describir y analizar el desarrollo de la consultoría ambiental en Chile, identificando el sector dedicado a realizar estudios de calidad de aire, para determinar los servicios entregados por estas consultoras.

- Describir y analizar los servicios entregados por Enviromodeling, recopilando información en la empresa sobre estudios realizados, para que la propuesta a entregar permita a la empresa poder inferir donde se pueden potenciar las posibles mejoras al servicio.

- Realizar un análisis de los proyectos que han sido ejecutados por Enviromodeling, mediante la sistematización de información disponible de éstos para identificar las problemáticas en la etapa de Planificación y proponer Oportunidades de Mejora para éstas.

- Investigar y analizar los elementos teóricos y metodológicos de gestión de proyectos que se puedan realizar en Enviromodeling para la implementación de la propuesta de mejoras.

- Generar propuestas de mejoras, procedimientos y registros que se puedan implementar en Enviromodeling con el fin de desarrollar el ordenamiento de la gestión de la empresa en la etapa de planificación de proyectos.

1.4. Alcance

El alcance de la investigación es proponer alternativas de solución para mejorar la gestión de los distintos proyectos realizados por la empresa Enviromodeling. Para desarrollar esta investigación se realizará la sistematización y análisis de los proyectos ejecutados por la empresa en el periodo 2010 – 2016. Además, se realizarán entrevistas al personal de la empresa para complementar el análisis de la situación actual. Esto con el fin de identificar las causas que generan los problemas que se deben mitigar o eliminar.

El alcance de este estudio es del tipo Descriptivo, ya que se describen las metodologías de Gestión de Proyectos y se evalúan cuáles se deberían implementar en la empresa para eliminar las causas de los problemas detectados y que permitirían un desarrollo más eficiente de los proyectos. La implementación de estas mejoras se realizaría posteriormente, en un plazo a decidir por parte de los socios de la empresa, aunque se discutirá la programación de éstas.

1.5. Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos de este estudio se realizará la metodología que se detalla a continuación.

1.5.1. Recolección de Información

Se recolectará información de fuentes primarias y secundarias. Las fuentes primarias corresponden a entrevistas al personal y socios de la empresa Enviromodeling e información disponible en ésta sobre sus proyectos, tales como: informes, órdenes de compra y propuestas.

En cuanto a las fuentes secundarias, éstas corresponden a libros, estudios, informes, memorias y publicaciones web que contengan información teórica y práctica de Dirección de Proyectos.

1.5.2. Diagnóstico Situación Actual

A partir de la información recopilada se realizará el diagnóstico de la situación actual, en donde se presentará la descripción del proceso productivo de Enviromodeling y se identificarán los problemas en los proyectos y sus causas. Esto último se analizará mediante el Diagrama de Ishikawa.

1.5.3. Propuestas de Mejora

Una vez identificados los problemas, se realizará una propuesta de mejoras para mitigarlos o eliminarlos. Se propondrán herramientas a aplicar, programación y costos. Estas

propuestas serán presentadas a los socios de la empresa con el fin de una retroalimentación para considerarlo en la propuesta definitiva.

CAPÍTULO II
ANTECEDENTES GENERALES

2.1. Gestión de Proyectos

Todos los grandes logros de la humanidad, desde la construcción de las grandes pirámides hasta el descubrimiento de una cura para la poliomielitis o poner a un hombre en la Luna, comenzaron con un proyecto[6].

Un proyecto es la realización de una actividad compleja, susceptible de descomponerse en una serie de tareas interdependientes entre sí en cuanto a su orden de ejecución. Esta definición de proyecto, tan amplia, ha propiciado la aplicación de este concepto a los campos más diversos. Se ha utilizado con éxito en proyectos de ingeniería, modernización de sistemas administrativos, programas de investigación y desarrollo, proyectos de carácter público, instalación y puesta a punto de ordenadores, modernización de hospitales, proyectos de investigación, cirugía compleja, desarrollo y lanzamiento de nuevos productos, etc[7].

En tanto, la gestión de proyectos en sí, se considera que surge de las artes militares, ligada a la logística de salir airoso en la guerra y que involucra funciones específicas según lo requieran las acciones militares (Clausewitz, 1992). De acuerdo a lo anterior, se está hablando de un arte en el cual una o varias actividades se destinan a gestionar y administrar las complejas interrelaciones de diversas tareas realizadas por muchos y variados especialistas dentro de plazos limitados, recursos escasos y no siempre disponibles, requiriendo en todo

[6] CLIFFORD F. GRAY Y ERIK W. LARSON (2009). *Administración de Proyectos,* Cuarta edición McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

[7] CENTRO DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA (s.f.). *Gestión de Proyectos,* obtenido de https://sites.google.com/site/gdpumh/tema-i/01-origen-y-evolucion-de-la-gestion-de-proyectos.

esto creatividad, ingenio y azar para sortear problemas no esperados y todo como parte de un entramado mayor de otras actividades igualmente complejas.

La gestión de proyectos surge así como constructo aglutinador de este tipo de arte, intentando darle un aire más formal. Como constructo de origen humano, no ha estado ajeno a percepciones diferentes, ligadas principalmente a las diversas culturas que han acogido e interpretado el concepto proyecto[8].

2.1.1 Historia y Evolución de la Gestión de Proyectos

Desde hace mucho, el enfoque de proyectos ha sido el estilo de hacer negocios en la industria de la construcción, en los contratos del Ministerio de Defensa de Estados Unidos, en Hollywood y en las grandes empresas de consultoría. Ahora se ha extendido a todas las áreas de trabajo. Hoy día existen equipos para realizar proyectos tan diversos como ampliar puertos, reestructurar hospitales o mejorar los sistemas de información. Fabricantes de automóviles como Toyota, Nissan y BMW atribuyen su capacidad para ganar un segmento importante del mercado automotriz al uso de equipos de administración de proyectos, los cuales pronto desarrollan nuevos vehículos que incorporan la última tecnología automotriz. El efecto de la administración de proyectos es más profundo en áreas de tecnologías de información (TI), donde los nuevos héroes son jóvenes profesionales cuyos grandes esfuerzos conducen al flujo constante de nuevos productos de hardware y software[9].

[8] CHRISTIAN A. ESTAY-NICULCAR (s.f). *Apunte "Fundamentos de Gestión de Proyectos: de la Teoría de Proyectos a la Gestión de Proyectos según el PMBOK"*, Universidad Técnica Federico Santa María.
[9] CLIFFORD F. GRAY Y ERIK W. LARSON (2009). *Administración de Proyectos*, Cuarta edición McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

Algunos ejemplos históricos de la implementación de prácticas de Gestión de Proyectos, que describe Haughey[10], son los siguientes:

- **2570 a.C. Termina la construcción de la Gran Pirámide de Giza:**

  Los faraones construyeron las pirámides y actualmente los arqueólogos todavía discuten acerca de cómo lograron esta hazaña. Registros antiguos muestran que hubo gerentes para cada una de las cuatro caras de la Gran Pirámide, responsables de supervisar su terminación.

  Realmente sabemos que hubo algún grado de planificación, ejecución y control implicado en el manejo de este proyecto.

- **208 a.C. Construcción de la Gran Muralla China:**

  Más tarde aún, otra de las Siete Maravillas del mundo fue construida. Desde la Dinastía Qin (221-206 a.C.), el levantamiento de la Gran Muralla ha sido un proyecto muy grande. De acuerdo a datos históricos, la fuerza de trabajo fue organizada en tres grupos: soldados, gente común y criminales. El Emperador Qin Shihuang ordenó a millones de personas para finalizar este proyecto.

Sin embargo, la Programación y Control de Proyectos empezó a tomar auge a finales de los años 50 con el desarrollo y aplicación del método PERT a la realización del proyecto de submarinos atómicos armados con proyectiles "Polaris", llamado proyecto Polaris. En este proyecto la Marina de los Estados Unidos debía mantener relación con 250 contratistas directos, más de 9000 subcontratistas, además de numerosas agencias gubernamentales. Por tanto, este proyecto suponía la coordinación de gran cantidad de recursos humanos y materiales. Inicialmente la duración prevista del proyecto era de 5 años y la aplicación del PERT la redujo en dos. Este éxito supuso una rápida difusión del nuevo

[10] DUNCAN HAUGHEY (2012). *Breve Historia sobre la Administración de Proyectos*, obtenido de http://www.liderdeproyecto.com/manual/breve_historia_sobre_la_administracion_de_proyectos.html

método a otros campos. También a finales de los 50 la empresa DuPont quiso desarrollar un método para programar y controlar los proyectos de mantenimiento de sus plantas de fabricación. Así surgió el método CPM. Este método y el PERT son la base de las modernas técnicas de planificación, programación y control de proyectos. A esta base la conocemos hoy en día como método del camino crítico. La sencillez de estas técnicas y la evolución de la informática han sido factores decisivos en el desarrollo y popularidad que han alcanzado, sobre todo a partir de la década de los 80 con la aparición del PC y de software potente y asequible. Hoy los profesionales y las empresas pueden gestionar sus proyectos desde el despacho en el que se toman las decisiones[11].

Como se aprecia, la actualidad de la Dirección de Proyectos es fruto de su evolución histórica. Según Claudia Alcelay[12], fundadora de certificacion**pm**® (España), ha habido los siguientes tres momentos clave en la evolución de la Dirección de Proyectos:

1. **Fase Embrionaria (1917 – 1965)**

   A partir de 1917 con el desarrollo del Diagrama de Gantt por Henry Gantt comienza de forma tentativa un proceso de sistematización de los proyectos en lo referente a su calendarización. Este diagrama todavía se utiliza en la actualidad y permite la visualización del proyecto de una sola vez. MSProject o Gantt Project (software libre) incluyen la opción de elaborar diagramas de Gantt.

   No obstante, no será hasta a partir de la segunda guerra mundial en que se puede hablar de una dirección de proyectos, aunque con matices. Surge en un contexto en el que el director

[11] CENTRO DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA (s.f.). *Gestión de Proyectos*, obtenido de https://sites.google.com/site/gdpumh/tema-i/01-origen-y-evolucion-de-la-gestion-de-proyectos.
[12] CLAUDIA ALCELAY LARRARTE (2016). *Fases en la Evolución de la Dirección de Proyectos*, obtenido de http://www.certificacionpm.com/fases-la-evolucion-la-direccion-proyectos/

de proyectos es lo que conocemos en la actualidad como director funcional, es decir, responsable de un área específica en la empresa y con conocimiento técnico concreto de dicha área. Así, en la empresa había directores de producción, del departamento financiero, de marketing…

Se carecía de una figura centralizadora de la información y el trabajo estaba muy fragmentado. Ello implicaba la necesidad de una interlocución múltiple por parte del cliente que sería la pieza más afectada de este tipo de estructura. Sería precisamente dicho cliente, quien, en un contexto de guerra fría en el que las inversiones en armamento eran millonarias, demandase la figura de un director de proyecto, especialmente en proyectos complejos donde los sobrecostos a duras penas podían justificarse. Este hecho, unido a gobiernos que reclaman la estandarización en los procesos administrativos, en especial en la planificación y el control de los proyectos constituyen el germen de una dirección de proyectos que todavía tardaría décadas en percibirse necesaria, especialmente por el sector privado.

2. Fase de Aceptación (1965 – 1985)

A partir del año 1965 comienza un proceso de institucionalización de la dirección de proyectos. Se percibe su necesidad, van surgiendo entidades dedicadas a su promoción y se comienzan a publicar ensayos teóricos sobre diferentes aspectos de la profesión.

Históricamente la dirección de proyectos convive con un cambio en la estructura empresarial y con proyectos cada vez más complejos en los que intervienen diferentes áreas funcionales y que comienzan a internacionalizarse. La dirección de proyectos se entiende como una alternativa eficaz en la gestión.

No obstante, a pesar de que comienza a ser implantada en algunos sectores, su uso se vincula a proyectos complejos y se considera que no todas las industrias necesitan de una dirección de proyectos. El miedo al cambio hace que su uso sea discrecional. Téngase en cuenta que la dirección de un proyecto implicaba un modelo de trabajo hasta entonces desconocido, significaba un cambio en la forma de trabajar, en la asignación y reparto de responsabilidades y adherirse a un férreo sistema de control. Características que no contaban las empresas en ese momento y que por tanto suponían un gran esfuerzo para un beneficio que todavía no se tenía tan claro.

3. **Fase de Madurez (1985 – Actualidad)**

A finales de los 80, la dirección de proyectos ya no se percibe como una opción sino como una necesidad. Se asientan las metodologías de dirección de proyectos, ya se disponen de resultados contrastados, se han testado los sistemas de control tanto de costos como de cronograma, y la figura del director de proyecto es ampliamente reconocida.

En esta fase el director evoluciona, aprende de habilidades directivas y es requerido en la toma de decisiones. Incluso ya se comienza a hablar de un director de proyectos 2.0 que interviene directamente en las decisiones estratégicas de la empresa.

En el contexto de estas tres fases, como lo presenta Haughey[13], se observan los siguientes hitos relevantes para cada una:

1. **Fase Embrionaria (1917 – 1965):**

- **1917.- Desarrollo del Diagrama de Gantt por Henry Gantt (1861-1919)**

[13] DUNCAN HAUGHEY (2012). *Breve Historia sobre la Administración de Proyectos*, obtenido de http://www.liderdeproyecto.com/manual/breve_historia_sobre_la_administracion_de_proyectos.html

Uno de los antepasados del project management, Henry Gantt, es muy bien conocido por crear una gráfica de calendarización que lleva su propio nombre, el Diagrama de Gantt. Éste fue una idea radical y una innovación de importancia para todo el mundo en la década de 1920. Uno de sus primeros usos fue en el proyecto Hoover Dam iniciado en 1931. El Diagrama de Gantt todavía se utiliza en la actualidad y constituye una pieza importante de la caja de herramientas de cualquier project manager.

- **1956.- Se forma la American Association of Cost Enginers (ahora AACE International)**

  Los primeros profesionales de la administración de proyectos y de las especialidades asociadas de planificación y calendarización; estimación de costos, costos y calendarización formaron la AACE en 1956. Ésta ha mantenido el liderazgo de la comunidad profesional para los estimadores de costos, ingenieros de costos, encargados de llevar el calendario, project managers y especialistas en el control de proyectos.

  AACE continuó su trabajo pionero en el 2006 cuando lanzó al mercado el primer proceso integrado de gestión de portafolio, programas y proyectos con su Marco de Gestión de Costo Total.

- **1957.- El método de ruta crítica o Critical Path Method (CPM) inventado por Dupont Corporation**

  Desarrollado por una de las empresas más antiguas de la actualidad y pionera en el desarrollo de innovaciones de todo tipo, Dupont Corporation creó el CPM que es una técnica utilizada para predecir la duración de un proyecto al analizar cuáles secuencias de actividades tienen la menor cantidad de flexibilidad dentro del calendario. Dupont lo diseñó

para abordar los procesos complejos de cierre de plantas químicas para actividades de mantenimiento, y una vez que éste concluyera reiniciar las operaciones.

La técnica fue tan exitosa que le ahorró a la corporación 1 millón de dólares en el primer año de su implementación.

- **1958.- La Armada de los Estados Unidos inventa la Técnica de Revisión y Evaluación de Programas (Program Evaluation and Review Technique o PERT), utilizada para el Proyecto Polaris**

  La Oficina de Proyectos Especiales de la Armada del Departamento de Defensa de los Estados Unidos desarrolló PERT como parte del proyecto Polaris de misil balístico móvil lanzado desde submarino durante la Guerra Fría. PERT es un método que permite analizar las tareas involucradas en la realización de un proyecto, especialmente el tiempo necesario para completar cada tarea e identificar el tiempo mínimo requerido para concluir el proyecto total.

- **1962.- El Departamento de Defensa de los Estados Unidos ordena aplicar la Estructura de Desglose de Trabajo (Work Breakdown Structure, WBS)**

  La EDT o WBS fue creada como parte del proyecto Polaris de misil balístico móvil lanzado desde submarino. Después de realizar el proyecto, el Departamento de Defensa publicó la Estructura de Desglose de Trabajo, ordenando que este procedimiento sea seguido en futuros proyectos de este alcance y tamaño. La WBS es una estructura exhaustiva representada por un árbol jerárquico de entregables y tareas que se necesitan llevar a cabo para poder completar el proyecto. Más tarde adoptada por el sector privado, la WBS se

mantiene como una de las herramientas más comunes y efectivas dentro de la administración de proyectos.

2. Fase de Aceptación (1965 – 1985)

- **1965.- Se funda la International Project Management Association (IPMA)**

IPMA fue la primera asociación de administración de proyectos en el mundo. Comenzó en Viena, Austria por un grupo a manera de un foro de project managers para generar redes de trabajo y compartir información. Registrada en Zúrich, Suiza y en Nijkerk, Holanda; IPMA es una Confederación que cuenta con más de 50 Asociaciones Nacionales de Gestión de Proyectos. Cuenta con más 40 mil miembros en todos los continentes, en su mayoría localizados en Europa, pero con gran empuje en Latinoamérica los últimos cuatro años.

Desde su nacimiento su visión ha sido promover la administración de proyectos y dirigir el desarrollo de la profesión a través de competencias y conocimiento dentro de un determinado contexto. Hoy en día cuentan con cuatro niveles de certificación.

- **1969.- Nace en los Estados Unidos el Project Management Institute (PMI®)**

Cinco voluntarios fundaron el PMI® como una organización profesional sin fines de lucro dedicada a contribuir con el avance de la práctica, ciencia y profesión de administración de proyectos. La Mancomunidad de Pensilvania, E.E.U.U. publicó artículos de incorporación del PMI® en 1969, lo cual significó su inicio oficial. En ese mismo año, el PMI® celebró su primer simposio en Atlanta, Georgia con una asistencia de 83 personas, donde la conferencia estuvo a cargo de Russell Archibald, miembro N° 6 del PMI®; quien impartió Planificar, Calendarizar y Controlar los Esfuerzos de los Trabajadores del Conocimiento.

Desde entonces, el PMI® ha sido muy bien conocido como el creador de la "Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos" (PMBOK®), considerado como una de las herramientas fundamentales en la profesión de project management actualmente. El PMI® ofrece diferentes certificaciones orientadas a proyectos.

- **1975.- Simpact Systems Limited crea el Método PROMPTII**

  PROMPTII fue desarrollado en respuesta a una protesta que los proyectos informáticos estaban prolongando el tiempo estimado para su finalización y excediendo los presupuestos originales dispuestos en los estudios de factibilidad. No era inusual experimentar con factores de doble, triple o incluso diez veces de las estimaciones originales. PROMPTII fue un intento de establecer las directrices para el flujo de fase de un proyecto informático. En 1979 la Agencia Central de Informática y Telecomunicaciones del Gobierno del Reino Unido.

- **1975.- Se publica la obra "The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering" (Mítico Hombre-Mes: Ensayos de Ingeniería de Software) por Fred Brooks**

  En este libro sobre ingeniería de software y administración de proyectos, el tema central de Fred Brooks es que "Agregar recursos humanos a un proyecto de software retrasado hace que se retrase más". Esta idea es conocida como la Ley de Brooks. Las comunicaciones humanas adicionales requeridas para añadir a otro miembro a un equipo de programación son más de lo que cualquiera espera. Esto por supuesto depende de la experiencia y la complejidad de los programadores involucrados y la calidad de la documentación disponible. Sin embargo, no importa cuánta experiencia tengan ellos. El tiempo extra en

discutir las tareas, compromisos y los detalles técnicos, así como la evaluación de los resultados se vuelve exponencial a medida que se suman más personas. Esas observaciones provienen de las experiencias de Brooks al momento de dirigir el desarrollo de OS/360 en IBM.

- **1984.- Se introduce la Teoría de las Restricciones por el Dr. Eliyahu M. Goldratt en su novela "The Goal" (La Meta)**

  La Teoría de las Restricciones es una filosofía general de gestión que se orienta a ayudar a las organizaciones continuamente para lograr sus objetivos. El título proviene de la visión de que cualquier sistema manejable es limitado en el logro de más de su objetivo por un pequeño número de restricciones, y siempre hay al menos una restricción. El proceso de la Teoría de las Restricciones trata de identificar la restricción y reestructurar el resto de la organización alrededor de ésta mediante el uso de 5 Pasos de Enfoque. Los métodos y algoritmos de la Teoría de las Restricciones pasaron a formar parte de la base de la Administración de Proyectos con Cadena Crítica.

3. **Fase de Madurez (1985 – Actualidad)**

- **1986.- Se nombra a SCRUM como un nuevo estilo de administración de proyectos**

  SCRUM es un modelo de desarrollo ágil de software fundamentado en el trabajo de múltiples equipos pequeños de una forma intensiva e independiente. En su escrito "El nuevo juego del desarrollo de producto nuevo" (Harvard Business Review, 1986), Hirotaka Takeuchi y Ikujiro Nonaka llamaron a SCRUM como un estilo de administración de proyectos. Más tarde, ellos lo detallaron en "La organización creadora de conocimiento" (Oxford University Press, 1995). Aunque SCRUM fue pretendido para la dirección de

proyectos de software, también puede utilizarse para ejecutar equipos de mantenimiento de software o como un proyecto general y un enfoque de gestión de programa.

- **1987.- Se publica por primera vez la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (PMBOK®) por el PMI®**

  El PMBOK® surge inicialmente como un reporte o intento por documentar y homologar las prácticas e información de administración de proyectos aceptadas. Su primera edición fue publicada en 1996, seguida por otra en el 2000, la siguiente en el 2004 y la cuarta edición en el 2008. Este cuerpo de conocimientos es referencia primordial para todos los vinculados al mundo de los proyectos actualmente y se ha convertido en un estándar global para la industria.

- **1989.- Gestión del Valor Ganado (EVM). Liderazgo concedido al Subsecretario de Defensa para Adquisiciones**

  Aunque el concepto de valor Ganado ha estado alrededor del ambiente de las fábricas desde los inicios de 1900, éste vino a tomar relevancia como una técnica de project management a finales de 1980 e inicios de 1990. En 1989, la Gestión del Valor Ganado fue elevada al Subsecretario de la Defensa para las Adquisiciones y en consecuencia se incluye a la técnica de EVM como parte esencial de la administración de programa y procuración. En 1991, el Secretario de Defensa de los Estados Unidos, Dick Cheney canceló el Programa de la Marina A-12 Avenger II debido a los problemas de desempeño detectados al aplicar la técnica del valor ganado. El PMBOK® de 1987 tiene un esquema de EVM que posteriormente fue ampliado en otras ediciones.

- **1989.- Se desarrolla el Método de Desarrollo PRINCE a partir de PROMPTII**

  La Agencia Central de Informática y Telecomunicaciones del Gobierno del Reino Unido, publicó PRojects IN Controlled Environments (PRINCE) transformándolo en el estándar para todos los proyectos de sistemas de información del gobierno. Una característica en el método original que no se usa en otros métodos, fue la idea de "asegurar el progreso" desde tres perspectivas separadas pero vinculadas. No obstante, el método PRINCE desarrolló una reputación como una metodología demasiado difícil de manejar, demasiado rígida y solamente aplicable a grandes proyectos, llevándolo a una primera revisión en 1996.

- **1994.- Publicación del Primer Informe CHAOS**

  El Standish Group recogió información sobre fracasos de proyectos en la industria de TI con el objetivo de hacer a la industria más exitosa, mostrando las formas de cómo mejorar los índices de éxito e incrementar el valor de las inversiones en TI. El Informe CHAOS es una publicación bienal.

- **1996.- La Agencia Central de Informática y Telecomunicaciones del Gobierno del Reino Unido publica PRINCE2®**

  Se consideró una actualización de PRINCE para ponerlo acorde a las exigencias y su desarrollo fue contratado, pero asegurado por un comité virtual extendido entre 150 organizaciones europeas. Originalmente desarrollado para proyectos de TI con la finalidad de reducir las excedencias de costos y tiempo; la segunda revisión se hizo más general para que fuese aplicable a cualquier tipo de proyecto.

- **1997.- Se inventa la Dirección de Proyectos con Cadena Crítica (Critical Chain Project Management, CCPM)**

  Desarrollada por el Dr. Eliyahu M. Goldratt, la Administración de Proyectos con Cadena Crítica se basa en métodos y algoritmos extraídos de su Teoría de las Restricciones presentada en su novela "La Meta" en 1984. Una red de proyecto de Cadena Crítica mantendrá los recursos con cargas niveladas, pero necesitarán de ellos para ser flexibles en sus tiempos de inicio y cambiar rápidamente entre tareas y cadenas de tareas para mantener todo el proyecto dentro del calendario previsto.

- **1998.- El PMBOK® se convierte en un Estándar ANSI**

  El Instituto Estadounidense de Estándares Nacionales (American National Standards Institute, ANSI) reconoció al PMBOK® como un estándar. Poco después en ese mismo año El Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos (IEEE) hace lo propio.

- **2006.- La AACE International lanza el Marco de Gestión de Costo Total (Total Cost Management Framework)**

  Gestión de Costo Total fue el nombre dado por la AACE International a un proceso donde se aplican habilidades y conocimientos de la ingeniería de costos. Éste también fue el primer proceso o método integrado de administración de portafolio, programas y proyectos. La AACE introdujo esta idea por primera vez en 1990 y publicó la presentación completa de este proceso en el Marco de Gestión de Costo Total.

- **2008.- El PMI® lanza la 4° edición del PMBOK®**

  La cuarta edición continúa la tradición de excelencia del PMI® en materia de administración de proyectos con un estándar que es más fácil de entender y poner en práctica, con mejora en su consistencia y mayor claridad. Esta edición muestra dos nuevos procesos que no habían aparecido en versiones anteriores.

- **2009.- Revisión a fondo de PRINCE2® por la Oficina de Comercio del Gobierno de Reino Unido**

  Bajo el nombre de PRINCE2® 2009: Refresh, en el verano de 2009 la Oficina de Comercio del Gobierno hizo el método más simple y fácilmente personalizable, atendiendo a una petición común de los usuarios. Con este nuevo PRINCE 2® los componentes pasan a llamarse temas y el libro contiene 7 de éstos. Ahora se consideran 7 procesos. Sólo son descritas 2 técnicas y hay 8 roles diferentes a los 10 que se tenían previamente. Todo esto se hizo para darle a los project managers un mejor conjunto de herramientas para cumplir los proyectos en tiempo, presupuesto y con la calidad apropiada.

- **2011.- Aparición de la nueva credencial del PMI® Agile Certified Practitioner**

  Con esto el Project Management Institute demostró que no está cerrado a las metodologías ágiles, únicamente a favor de los marcos rígidos donde, aunque siempre presentes, los procesos de cambio no son deseados, porque pueden implicar la corrupción del alcance del proyecto.

- **2012.- Aparición de la certificación PRINCE2® Professional**

  Esta nueva certificación surge de la necesidad de continuar mejorando el nivel de los PRINCE2® Practitioner, quienes tienen la posibilidad de optar por ésta y demostrar a través de una rigurosa evaluación si realmente poseen altas capacidades para ser project managers exitosos que generen valor agregado dentro de sus organizaciones.

Los siguientes eventos relevantes que prosiguieron en la tercera etapa fueron:

- **2012.- Publicación de la Norma ISO 21500 sobre Project Management**

  La norma UNE-ISO 21500:2012 "Orientación sobre la gestión de proyectos", proporciona una guía para la gestión de proyectos y puede ser utilizado por cualquier tipo de organización, incluidas las organizaciones públicas, privadas u organizaciones comunitarias, y para cualquier tipo de proyecto, independientemente de la complejidad, tamaño o duración.

  UNE-ISO 21500 proporciona un alto nivel de descripción de los conceptos y procesos que se consideran para formar buenas prácticas en la gestión de proyectos. Los nuevos gerentes del proyecto, así como los gestores experimentados podrán utilizar la guía de gestión de proyectos en esta norma para mejorar el éxito del proyecto y lograr resultados de negocio[14].

- **2013.- Publicación de la 5° Edición de la Guía PMBOK®**

  El Project Management Institute (PMI) público la nueva "Guía de Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK)" en su quinta edición, el 1 de enero de 2013.

[14] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD (s.f.). *Norma ISO 21500*, Obtenido de: https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/norma-iso-21500

2.1.2 Gestión de Proyectos en Empresas de Servicios

Los sistemas de producción se pueden dividir en dos clases: de manufactura y de servicios. En la manufactura, por lo general, los insumos y productos son tangibles, y con frecuencia la transformación es física. Por otra parte, los sistemas de producción orientados a servicios pueden tener insumos/productos intangibles, como la información. Las transformaciones pueden no ser físicas, como la educación. Otra diferencia es que los bienes pueden fabricarse anticipando las necesidades del cliente, lo que con frecuencia no es posible en los servicios. La educación es un buen ejemplo; no se puede enseñar a los estudiantes antes de que se inscriban[15].

Los servicios profesionales comprenden un conjunto de actividades heterogéneas que presentan diferentes características. En la actualidad, esos servicios constituyen un aspecto central de la nueva economía mundial basada en los conocimientos. El suministro adecuado de tales servicios es fundamental para el desarrollo económico, ya que éstos contribuyen a crear una infraestructura comercial eficiente, incluidos sus aspectos fiscales y jurídicos, y a garantizar la competitividad de las empresas.

Los servicios profesionales han pasado a ser servicios que exigen un alto grado de capacitación y competencia técnica y que suelen asociarse a profesiones reguladas, como la abogacía, la medicina, la contabilidad, la arquitectura o la ingeniería, y a profesiones no reguladas o de libre ejercicio. En los países en desarrollo la mayoría de los servicios profesionales se caracterizan por mercados paralelos, en los que un reducido número de empresas de servicios profesionales modernas y calificadas, generalmente vinculadas a redes

[15] DANIEL SIPPPER Y ROBERT L. BULFIN, JR.(1998). *Planeación y Control de la Producción*, McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

internacionales, suministran servicios a los grandes clientes nacionales e internacionales, mientras que un gran número de pequeñas y medianas empresas (PYMES) de servicios profesionales y de profesionales independientes continúan atendiendo las necesidades de las demás PYMES y los consumidores individuales en el ámbito nacional.

Los servicios profesionales son uno de los sectores de más rápido crecimiento de las economías de todo el mundo y han registrado tasas de crecimiento de dos dígitos; sin embargo, su importancia relativa para el comercio de servicios de los países en desarrollo ha venido disminuyendo, al contrario de lo que sucede en los países desarrollados, cuyas empresas dominan en todos los mercados mundiales de servicios profesionales. Las exportaciones de servicios profesionales alcanzaron los 270.000 millones de dólares en 2002; el 15% del total de dichas exportaciones correspondió a los países en desarrollo, siendo China, el Brasil, Filipinas, la Argentina y Egipto los principales exportadores. La expansión de los servicios profesionales obedece a diversos factores, como la externalización generalizada de funciones por las empresas, especialmente en los países desarrollados[16].

Los servicios profesionales también desempeñan un papel importante en la mejora de la competitividad de la economía europea. Probablemente se podría considerar que un tercio del empleo en 'otros servicios a las empresas' corresponde a servicios profesionales. En 2002, el número de puestos de trabajo en otras actividades económicas fue superior a diez millones de personas en la UE, lo que representa hasta un 6,4% de la mano de obra; sin embargo, el

[16] CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE COMERCIO Y DESARROLLO (2004). *Aspectos de los Servicios Profesionales y los Marcos Normativos Relacionados con el Comercio y el Desarrollo*.

número de trabajadores cualificados era desproporcionadamente mayor, ya que suponía un 10% del total de empleos cualificados[17].

En el marco nacional, se puede mencionar que en la Región Metropolitana el tercer sector en importancia de acuerdo al número de PYMES es el de servicios técnicos y profesionales. Casi 10% de las empresas de la región pertenecen a dicho rubro. El fenómeno también es nuevo en el país, que ha ido evolucionando desde los servicios profesionales personales a empresas que ofrecen un espectro más amplio de servicios, y donde existe la posibilidad de retornos mayores[18].

Por otra parte, los servicios profesionales presentan importantes diferencias en cuanto a la relación entre proveedores y clientes. En estos servicios se tiende a establecer relaciones de larga duración entre proveedores y clientes, ya que los altos costos iniciales que supone forjar una relación de confianza hacen oneroso cualquier cambio de proveedor. Este es el caso, por ejemplo, de los servicios de auditoría y consultoría en gestión, que exigen estudiar los sistemas y procesos de las empresas clientes y recabar la participación de los clientes. También es el caso de los servicios que entrañan mantenimiento y actualización, como los servicios de informática y servicios conexos. Otros servicios profesionales se suministran en paquetes independientes en forma de proyectos, por ejemplo, en los servicios de arquitectura e ingeniería. Otros servicios a empresas, como los servicios de publicidad, se caracterizan por

[17] COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (2004). *Informe sobre la competencia en los servicios profesionales*.
[18] JOSÉ LEAL (2003). *Necesidades de bienes y servicios para el mejoramiento ambiental de las PYME en Chile: Identificación de factores críticos y diagnóstico del sector*.

una gran rotación de clientes y, por ende, las relaciones de larga duración suelen ser la excepción y no la regla[19].

Debido al continuo crecimiento en que se mantiene el sector de servicios, es de suma importancia para el desarrollo de estas empresas el tener un entorno de trabajo en equipo donde la información fluya libremente entre cada componente del equipo. También necesitan de software y procesos de los sistemas de gestión de sus servicios, que les permitan reducir el tiempo total requerido para terminar los proyectos. Los proyectos de hoy en día y sus correspondientes equipos organizativos se componen de una mezcla de cooperación cruzada e ininterrumpida.

La Gestión de Proyectos cada vez se encuentra más implantada en las empresas de servicios ya que permiten abordar la automatización y optimización del funcionamiento de las empresas, permitiendo un control riguroso sobre el tiempo, las personas o los imprevistos que puedan surgir.

En la situación empresarial actual las empresas tienen que hacer frente a una competencia cada vez más fuerte. Los esfuerzos por parte de las empresas para mejorar su posicionamiento competitivo y diferenciarse de la competencia son cada vez más necesarios. Entre estos esfuerzos, la gestión de proyectos supone un importante elemento de apoyo, ya que ayuda en gran medida al progreso de la misma y responde a la necesidad de aprovechar las

[19] CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE COMERCIO Y DESARROLLO (2004). *Aspectos de los Servicios Profesionales y los Marcos Normativos Relacionados con el Comercio y el Desarrollo*.

nuevas tecnologías para aumentar la competitividad de las ingenierías y empresas de servicios que trabajan desarrollando proyectos[20].

2.2. Consultoría

Se entiende por Consultoría a toda actividad realizada por un especialista en alguna de las fases de la cadena de valor. Especialista que presta un servicio de asesoramiento o consulta a otra, con lo que esta última empresa externaliza parte de su labor siendo el especialista o consultor el encargado de esa fase de la cadena de valor[21].

La consultoría es, en esencia, un servicio externo al que recurren las empresas con el fin de encontrar soluciones a uno o más de sus problemas.

Los lineamientos generales de la consultoría son los siguientes[22]:

- **Es un servicio independiente**: Se caracteriza por la imparcialidad del consultor, que es un rasgo fundamental de su papel. Esta independencia significa al mismo tiempo una relación muy compleja con las organizaciones clientes y con las personas que trabajan en ellas. El consultor no tiene autoridad directa para tomar decisiones y ejecutarlas. Pero esto no debe considerarse una debilidad si el consultor sabe actuar como promotor de cambio y dedicarse a su función, sin por ello dejar de ser independiente. Por consiguiente, debe asegurar la máxima participación del cliente en todo lo que hace de modo que el éxito final se logre en virtud del esfuerzo de ambos.

20 MARÍA BESADA JUEZ (2007). *Sistema de Gestión de Proyectos en Empresas de Servicios*, proyecto fin de carrera Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad Pontificia Comillas.
[21] OFICINA ECONÓMICA Y COMERCIAL DE LA EMBAJADA DE ESPAÑA EN SANTIAGO DE CHILE (2007). *El mercado de la consultoría de ingeniería en chile*.
[22] GESTIOPOLIS (s.f). *¿Qué es Consultoría?*, obtenido de: https://www.gestiopolis.com/que-es-consultoria/

- **Es, esencialmente, un servicio consultivo**. No se contrata a los consultores para dirigir organizaciones o para tomar decisiones en nombre de directores en problemas. Su papel es actuar como asesores, con responsabilidad por la calidad e integridad de su consejo; los clientes asumen las responsabilidades que resulten de la aceptación de dicho consejo. No solo se trata de dar el consejo adecuado, sino de darlo de manera adecuada y en el momento apropiado. Esta es la cualidad fundamental del consultor. El cliente, por su parte, debe ser capaz de aceptar y utilizar esa ayuda del consultor.

- **Proporciona conocimientos y capacidades profesionales para resolver problemas prácticos**. Una persona llega a ser consultor de empresas en el pleno sentido del término después de haber acumulado una masa considerable de conocimientos sobre los diversos problemas y situaciones que afectan a las empresas y adquirido la capacidad necesaria para identificarlos, hallar la información pertinente, analizar y sintetizar, elegir entre posibles soluciones, comunicarse con personas, etc. Cierto es que los dirigentes de las empresas también tienen que poseer estas capacidades. Lo que distingue a los consultores es que pasan por muchas organizaciones y que las experiencias adquiridas en las tareas pasadas pueden tener aplicación en las empresas en las que se realizan nuevas tareas. Además, los consultores profesionales se mantienen al tanto de los progresos en los métodos y técnicas, señalan estos progresos a sus clientes y contribuyen a su aplicación.

- **No proporciona soluciones milagrosas**. Sería un error suponer que, una vez contratado el consultor, las dificultades desaparecen. La consultoría es un trabajo difícil basado en el análisis de hechos concretos y en la búsqueda de soluciones originales pero factibles. El empeño decidido de la dirección de la empresa en resolver los problemas de ésta y la

cooperación entre cliente y consultor son por lo menos tan importantes para el resultado final como la calidad del consejo del consultor.

Aunque se entiende que cada proceso de consultoría será diferente debido a que cada cliente tendrá unos requerimientos especiales, se propone el siguiente modelo de cinco fases, con sus correspondientes actividades, como proceso de consultoría[23]:

1. Iniciación (Preparación inicial):
    a. Primeros contactos con el cliente
    b. Diagnóstico preliminar
    c. Planear el cometido
    d. Propuesta de tareas
    e. Contrato
2. Diagnóstico:
    a. Descubrir los hechos
    b. Análisis y síntesis
    c. Examen detallado del problema
3. Planificación de medidas (Plan de acción):
    a. Elaborar soluciones
    b. Evaluar opciones
    c. Propuesta al cliente
    d. Planear la aplicación de medidas

[23] GESTIOPOLIS (s.f.). *¿Qué es Consultoría?*, obtenido de: https://www.gestiopolis.com/que-es-consultoria/

4. Aplicación (Implementación):

    a. Contribuir a la aplicación

    b. Propuesta de ajustes

    c. Capacitación

5. Terminación:

    a. Evaluación

    b. Informe final

    c. Establecer compromisos

    d. Planes de seguimiento

    e. Retirada

Existen varias razones para que una empresa recurra a una consultoría. Entre estas se tiene[24]:

- **La necesidad de personal**: A veces, incluso las compañías más grandes no tienen suficiente personal en ciertos periodos o para realizar tareas específicas. Es posible que requieran ayuda cuando se presenta excesiva carga laboral temporal, o tal vez necesiten ciertos conocimientos especializados con los cuales no hay que contar todos los días del año.

- **Política de la compañía**: A veces, es posible que se conozca la solución de un problema. Sin embargo, por diversas razones políticas internas no se permite a quienes entiendes en problema que la presenten.

[24] WILLIAM A. COHEN (2003). *Como ser un consultor exitoso*.

- **Reglamentaciones gubernamentales**: Las reglamentaciones del gobierno, si no se obedecen, pueden redundar en multas, cárcel o incluso el cierre de la empresa.

- **La necesidad de elevar al máximo la eficiencia**: Todas las organizaciones necesitan operar de la manera más eficiente posible. Una empresa que funcione con una eficiencia menor de la que es capaz terminará por verse en problemas. Los competidores más eficientes le quitarán mercado y la sacarán del negocio.

- **La necesidad de diagnosticar problemas y hallar soluciones**: Una de las razones por las cuales muchas empresas buscan consultores con maestría en administración de empresas es que se supone que estas tienen gran habilidad para diagnosticar los problemas que afrontan las compañías y para desarrollar las soluciones requeridas.

El sector de la consultoría abarca tantos campos como materias y/o actividades que puedan ser objeto de asesoramiento. Dentro del área de la consultoría, los sectores más desarrollados en Chile son los siguientes[25]:

- Consultoría en Ingeniería. Ingenieros consultores.
- Consultoría en Auditoria.
- Consultoría en Recursos Humanos.
- Consultoría Informática.
- Consultoría en Calidad.
- Consultoría Medio Ambiental

[25] OFICINA ECONÓMICA Y COMERCIAL DE LA EMBAJADA DE ESPAÑA EN SANTIAGO DE CHILE (2007). *El mercado de la consultoría de ingeniería en chile*.

2.2.1 Consultoría de Ingeniería en Chile

Según la Asociación de Empresas Consultoras de Ingeniería de Chile, A.G., en el año 1968, cuando las empresas que emprendían grandes obras de ingeniería, contaban con departamentos propios de proyectos que ejecutaban sus diseños, la consultoría privada era una actividad incipiente, y el número de ingenieros y técnicos con que contaban sus asociados, alcanzaba a un total de 400.

Con el tiempo, estas compañías se fueron enfocando en desarrollar lo esencial de su propio negocio, potenciando todas sus capacidades para optimizarlo. Así, por ejemplo, las empresas eléctricas se orientaron a producir o distribuir energía, entendiendo que para ellos la ingeniería no era un fin sino un medio para cumplir su misión. Se fue aplicando el concepto de outsourcing, donde lo complementario al negocio principal es contratado con proveedores externos, entre otros la ingeniería.

En ese tránsito, la ingeniería quedó instalada fundamentalmente en el ámbito privado, en la consultoría. La consultoría de ingeniería es un recurso estratégico en Chile, al que le corresponde planificar, realizar diseños, definir las soluciones y especificar las tecnologías más adecuadas para materializar las inversiones públicas y privadas, especialmente en la implantación de la infraestructura e industria del país, así como en la supervisión de su ejecución, puesta en marcha y operación.

Las empresas consultoras de ingeniería en Chile desarrollan proyectos complejos en todas las áreas de actividad económica, tales como: Agropecuaria, energía, industria, minería, transporte, medio ambiente, urbanismo y edificación, entregando en cada una de ellas los

servicios propios de la consultoría como gestión, planificación, estudio, diseño, gerenciamiento de proyectos, gestión[26].

En el año 2010, dada la penetración de la consultoría en Chile, que se compara favorablemente con sus vecinos en países remotos, el único factor que impide un crecimiento más rápido, de acuerdo con los analistas de Kennedy, es el tamaño de su economía.

Ubicado en el cuartil superior de sus pares globales, Chile sobresale entre todos los otros países de América Latina y está atrayendo gran atención por parte de consultores, en particular, de las empresas globales con presencia en los mercados más grandes de Brasil y México. Por otra parte, el impacto de Chile como modelo de lo que se puede lograr está influyendo en otras naciones, en especial, Perú, Ecuador y Colombia[27].

2.2.1 Consultoría Ambiental

Las empresas dedicadas a la consultoría medioambiental ofrecen servicios de muy diversa índole; asesoramiento, auditoría, implantación de sistemas de gestión medioambiental, estudios sobre contaminación terrestre (suelos contaminados) o marítima, etc., siendo su objeto principal ayudar a otras empresas a comprender y aplicar la cada vez más complicada normativa que afecta a la protección del medioambiente.

Se pueden dividir las empresas de este sector en dos categorías:

[26] ASOCIACIÓN DE EMPRESAS CONSULTORAS DE INGENIERÍA DE CHILE (AIC) (s.f.). *Nuestra Asociación*, obtenido de: https://aic.cl/nuestra-asosicacion

[27] MARKETWIRED (s.f.). *El sector de consultoría chileno está frenado sólo por el tamaño de su economía*, obtenido de: http://www.marketwired.com/press-release/el-sector-de-consultoria-chileno-esta-frenado-solo-por-el-tamano-de-su-economia-1297384.htm

- **Consultoría especializada**, se dedican exclusivamente a temas medioambientales y habitualmente están especializados en uno de ellos (agua, residuos, energía, agricultura ecológica, etc.)

- **Consultoría general**, orientadas más hacia el asesoramiento a empresas con una amplia cartera de servicios, como por ejemplo las auditorías y gestión de certificaciones ambientales, aunque no se dediquen exclusivamente a ello.

El perfil habitual, obligado de otra forma atendiendo al tamaño y las posibilidades técnicas que disponen, es de dos tipos bien diferenciados; por un lado se encuentran las pequeñas consultoras que en su mayoría están especializadas en un sector o un tipo concreto de certificación, y por otro grandes compañías que entre los servicios que ofrecen se encuentra la labor de consultoría medioambiental, además de laboratorios de control físico-químico y biológico, por ejemplo de calidad de las aguas o del aire, suelos, etc[28].

En Estados Unidos, los servicios de consultoría ambiental son prestados por aprox. 68 mil compañías, cuyas ventas en el período 2009-2014 crecieron a un 4,5% anual, fueron del orden de US $18 billones, y emplean a 129 mil personas[29].

2.2.2 Consultoría Ambiental en Chile

Durante los últimos años han aparecido en Chile numerosas consultorías medioambientales, así como asociaciones como La Asociación de Empresas y Profesionales

[28] MUNICIPALIDAD DE GUIJÓN, ESPAÑA (s.f.). *Guía de negocio: Consultoría medioambiental*.
[29] SOLARI (2014). *Estrategias, Desafíos y Proyecciones País: Medio Ambiente.*

para el Medio Ambiente (AEPA) que también presta servicios de consultoría[30]. Las 4 mayores empresas de consultoría ambiental en Chile vendieron en 2013 del orden de US $50 millones, empleando unas 350 personas[31].

Cristian Bustos Salas, gerente general de la consultora ambiental Better, explica que el mercado de la consultoría ambiental en Chile es pequeño, pero altamente competitivo y se encuentra en un excelente nivel. "Esto último ha llevado además a que un número importante de empresas chilenas exportemos nuestros servicios al resto de América Latina, África y Oceanía".

Y agrega: "Simultáneamente, compañías americanas y europeas se han establecido en Chile para iniciar sus actividades en Latinoamérica con miras a atender no sólo el mercado nacional, considerando además las favorables condiciones de estabilidad económica y social imperantes en el país y la calidad de nuestro capital humano".

A su juicio, el trabajo en este rubro será cada día más competitivo, con una creciente demanda a nivel nacional e internacional, pero requiriendo soluciones cada vez más orientadas al reciclaje, reducción y reutilización.

Actualmente, las empresas de consultoría ambiental están agrupadas en la Asociación de Empresas Consultoras de Ingeniería de Chile (AIC), que es una entidad gremial, sin fines de lucro, que reúne a las principales empresas del sector de ingeniería de nuestro país[32].

---

[30] OFICINA ECONÓMICA Y COMERCIAL DE LA EMBAJADA DE ESPAÑA EN SANTIAGO DE CHILE (2007). *El mercado de la consultoría de ingeniería en chile.*
[31] SOLARI (2014). *Estrategias, Desafíos y Proyecciones País: Medio Ambiente.*
[32] EDICIONES ESPECIALES DE EL MERCURIO (2012). *Consultorías ambientales: Mercado pequeño, pero altamente competitivo*, obtenido de: http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=201212271176303

Se observa que la toma de conciencia del problema medio ambiental en Chile, así como toda la nueva normativa que está surgiendo a este respecto abre todo un campo de oportunidades para las empresas de consultoría medioambiental[33]. Entre los principales temas a considerar están:

- Medio biótico
- Medio humano y relaciones comunitarias
- Comunidades indígenas
- Hidrogeología
- Modelación de emisiones atmosféricas

En el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), según el Decreto Supremo N° 78 de 2015 del Ministerio de Medio Ambiente (el que aprueba el Reglamento del registro público de consultores certificados para la realización de declaraciones y estudios de impacto ambiental), se define Consultor a la Persona natural o jurídica que realiza por encargo de terceros un Estudio o Declaración de Impacto Ambiental para su ingreso al SEIA.

Conforme a lo dispuesto en el artículo 81 letra f) de la ley N° 19.300, el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) tiene entre sus potestades la de "administrar un registro público de consultores certificados para la realización de Declaraciones o Estudios de Impacto Ambiental". Este registro será de carácter informativo, y su forma de administración será definida por un Reglamento.

Este reglamento regula las siguientes materias:

[33] OFICINA ECONÓMICA Y COMERCIAL DE LA EMBAJADA DE ESPAÑA EN SANTIAGO DE CHILE (2007). *El mercado de la consultoría de ingeniería en chile.*

- Los requisitos que deberá cumplir un Consultor para ser inscrito en el Registro;
- Las obligaciones y la regulación sobre conflictos de intereses del Consultor Certificado para desarrollar actividades de Entidad Técnica de Certificación Ambiental o Evaluador de Conformidad Ambiental, reguladas en el decreto supremo Nº 39 del Ministerio del Medio Ambiente, o bien, actividades de Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental o Inspector Ambiental, reguladas en el decreto supremo Nº 38 del mismo Ministerio;
- La forma de administración del Registro.
- La información contenida en el Registro.

Atendido el carácter meramente informativo del Registro, y las disposiciones legales y reglamentarias, el registro de consultores solo certifica que por haber dado cumplimiento al procedimiento establecido en el Título II del D.S. N° 78 de 2014, del Ministerio del Medio Ambiente, el consultor registrado tiene la calidad de Consultor Certificado y cuenta con una inscripción vigente en el Registro Público de Consultores Certificados.

Este registro representa un paso en hacer más transparente el mercado de trabajo asociado a la elaboración y tramitación de DIA y EIA, proporcionando información a los titulares o proponentes de proyectos que requieren contratar este servicio[34].

[34] SERVICIO DE EVALUCIÓN AMBIENTAL. *Registro de consultores*, obtenido de: http://sea.gob.cl/evaluacion-ambiental/registro-consultores.

2.3. Contaminación Atmosférica

De acuerdo al artículo 2 de la Ley N° 19.300, las siguientes son las definiciones de contaminante y contaminación[35]:

- **Contaminante:**

  Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o período de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.

- **Contaminación:**

  La presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente.

Específicamente en el componente aire, en el artículo 6° del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto, Decreto 40 del 2013 del Ministerio de Medio Ambiente, se entrega el siguiente listado para evaluar si se generan o se presentan efectos adversos significativos sobre este componente[36]:

b) Lo establecido en las normas primarias y secundarias de calidad ambiental y de emisión vigentes.

[35] MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. *Ley 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Ultima Modificación: 01-JUN-2016 Ley 20920*. Chile.
[36] MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Decreto 40/2013. (30 de 10 de 2012). Reglamento del Sistema de Evaluación de impacto Ambiental. Chile.

c) La composición, peligrosidad, cantidad y concentración de los efluentes líquidos y de las emisiones a la atmósfera;

d) La frecuencia, duración y lugar de las emisiones a la atmósfera;

h) Los efectos de la combinación y/o interacción conocida de los contaminantes emitidos y/o generados por el proyecto o actividad;

i) La relación entre las emisiones de los contaminantes generados por el proyecto o actividad y la calidad ambiental de los recursos naturales renovables;

j) La capacidad de dilución, dispersión, autodepuración, asimilación y regeneración de los recursos naturales renovables presentes en el área de influencia del proyecto o actividad;

Con el fin de controlar la contaminación del aire y sus efectos nocivos sobre la población, nuestro sistema legal establece "normas" de calidad ambiental.

Los contaminantes atmosféricos que cuentan con normas de calidad primaria en Chile, son las siguientes:

- Norma de calidad primaria de aire para Material Particulado Respirable MP10 (DS N° 59/1998 del MINSEGPRES), en la que se establecen las normas diaria y anual.

- Norma de calidad primaria de aire para Material Particulado Fino Respirable MP2,5 (DS N° 12/2011 del Ministerio de Medio Ambiente), en la que se establecen la normas diaria y anual.

- Norma de calidad primaria de aire para Anhídrido Sulfuroso SO_2 (DS N° 113/2002 del MINSEGPRES), en la que se establecen la normas diaria y anual.

- Norma de calidad primaria de aire para Dióxido de Nitrógeno NO_2 (DS N° 114/2002 del MINSEGPRES), en la que se establecen la normas horaria y anual.

- Norma de calidad primaria de aire para Monóxido de Carbono CO (DS N° 115/2002 del MINSEGPRES), en la que se establecen la normas horaria y 8 horas.

- Norma de calidad primaria de aire para Ozono O_3 (DS N° 112/2002 del MINSEGPRES), en la que se establecen la norma 8 horas.

Los contaminantes atmosféricos que cuentan con normas de calidad secundaria en Chile, son las siguientes:

- Norma de calidad secundaria de aire para anhídrido sulfuroso SO_2 (DS N° 185/91), en la que se establecen las normas horaria, diaria y anual, diferenciadas para la zona Norte y Sur del país.

- Norma de calidad de aire para Material Particulado Sedimentable, MPS, en la cuenca del río Huasco, Región de Atacama (DS N° 4/92), en que se establecen los valores máximos de concentración mensual y anual para Material Particulado Sedimentable (MPS) y de Hierro en el MPS.

2.3.1. Estado del Arte en Modelación Atmosférica[37]

La mayoría de modelos de calidad de aire tienen su origen en la ecuación semi-empírica de difusión atmosférica, la que tiene la forma:

[37] ENVIROMODELING (2009). *Manual teórico – práctico "Guía para el Uso de Modelos de Dispersión Atmosféricos CALPUFF y AERMOD"* realizado para la División CODELCO Norte.

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{U}\frac{\partial \bar{c}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(K_{jj}\frac{\partial \bar{c}}{\partial x_j}\right) + R(\bar{c}_i \ldots) + S(x,t)$$

Ecuación 1

Esta ecuación indica que, en un elemento de volumen de la atmósfera, la variación de la concentración en el tiempo es igual a la variación de la concentración en el elemento de volumen debido al flujo turbulento, más la variación debido a reacciones químicas y al ingreso de emisiones, menos la variación por advección del flujo promedio en el elemento de volumen. Como se ilustra en Figura 2, la ecuación semi-empírica de difusión atmosférica tiene varias soluciones que dan origen a varias categorías de modelos. Esta solución puede ser de tipo Euleriano o de tipo Lagrangeano dando origen a diferentes tipos de modelos. En Figura 2 se presenta en forma esquemática el origen de ambos tipos de modelos.

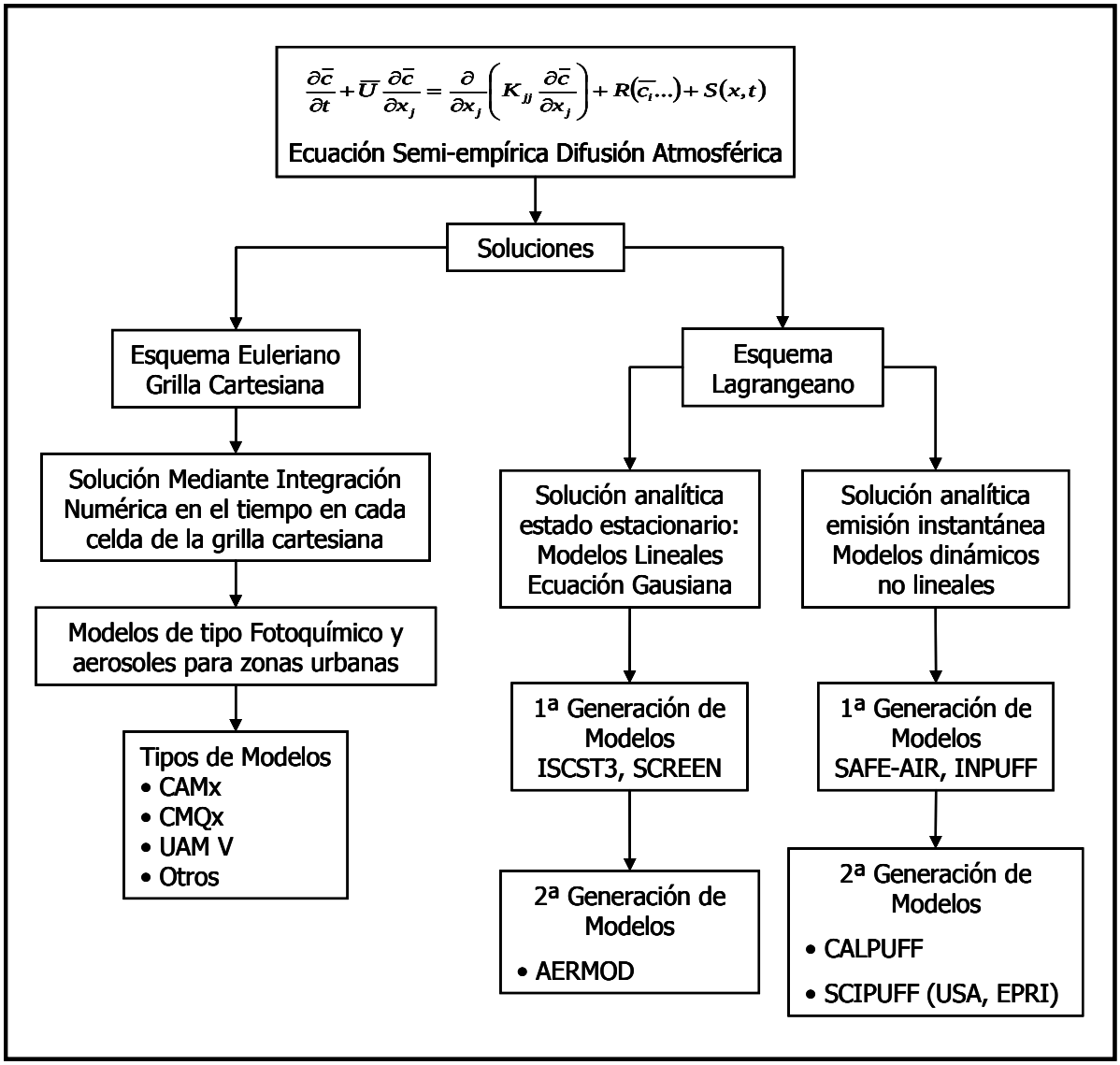


Figura 2: Categorías de modelos que se originan de la ecuación semi- empírica de difusión atmosférica.

Fuente: Enviromodeling Ltda.

A continuación, se describen en detalle los modelos de tipo Euleriano y Lagrangeano.

2.3.1.1 Modelos de Tipo Euleriano

En el esquema Euleriano, la ecuación de difusión atmosférica debe ser resuelta numéricamente en una grilla definida en un espacio tridimensional. Esto, pues se requiere considerar procesos de transformaciones químicas de especies atmosféricas (formación de ozono y aerosoles, por ejemplo). Las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento, energía y masa se resuelven luego por integración numérica en cada celda de la grilla cartesiana.

Los modelos basados en el esquema euleriano requieren de una determinación previa de los campos tridimensionales de vientos, temperatura, estabilidad de la atmósfera, etc. Estos campos meteorológicos son procesados normalmente por modelos de mesoescala, tales como MM5 (Penn state Meso scale Modeling System level 5), RAMS (Regional Atmospheric Modeling System), WRF (Advanced Research Non- hidrostatic Mesoscale Model), entre otros.

Ejemplos de los modelos Eulerianos actualmente en uso en el mundo son:

- CAMx: Comprehensive Air Quality Modeling System with extensions.
- CMAQ: Community Multiscale Air Quality Modeling System.
- CALGRID: California Photochemical Grid Model.

2.3.1.2 Modelos de Tipo Lagrangeanos

Los modelos de tipo Lagrangeanos se derivan de la ecuación semi-empírica de difusión atmosférica mediante una solución analítica de esta. Esta ecuación y sus soluciones analíticas se presentan en Figura 3.

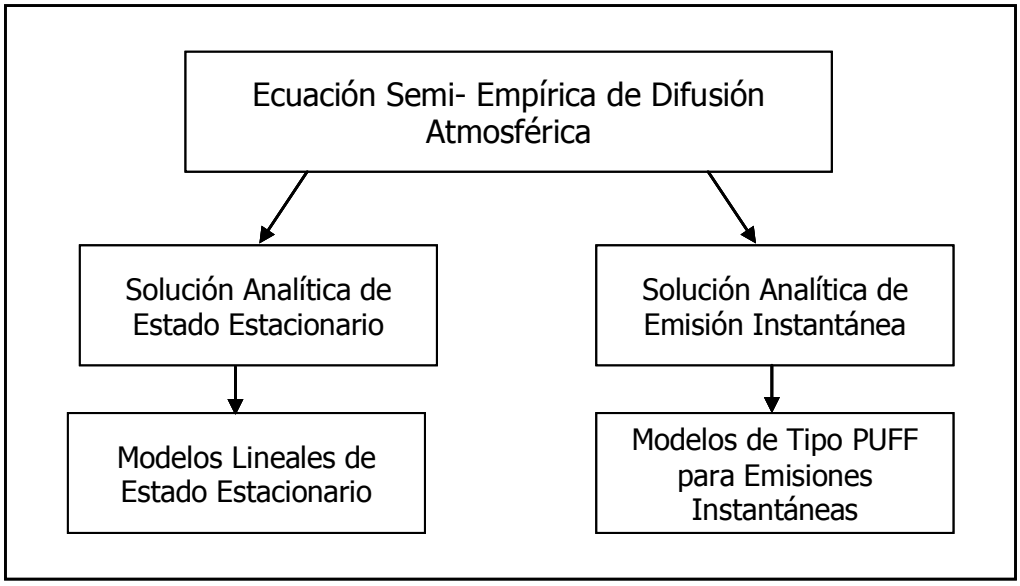


Figura 3: Ecuación Semi – Empírica de difusión atmosférica y sus soluciones Analíticas. Fuente: Enviromodeling Ltda.

Como se observa en la Figura 3 existen dos tipos de modelos que se derivan analíticamente de la ecuación semi empírica de difusión atmosférica, estos son:

- Modelos lineales de estado estacionario.
- Modelos no-lineales de emisiones instantáneas.

Ambos tipos de modelos fueron desarrollados durante las décadas de los 80 y 90, dando origen a versiones que podrían identificarse como modelos con tecnología del siglo XX y modelos con tecnología del siglo XXI. Las características de estos modelos se presentan a continuación:

- **Modelos de Calidad de Aire con Tecnología del Siglo XX:**

  Los modelos con tecnología del siglo XX se derivan de la solución analítica de la Ecuación 1 con las siguientes consideraciones:

- u, velocidad del viento, constante en el dominio en la dirección x.
- kjj, coeficiente de estabilidad atmosférica, constantes en el dominio. Determinados empíricamente.
- q, emisión del contaminante, constante en todo el dominio, (g/s).
- Terreno plano, z=0
- C(x, y, z, t) = 0 si x, y, z -> infinito
- C(x, y, z, t) = S (coeficientes de dispersión inicial)
- kij, pueden ser representados por coeficientes de dispersión empíricos, σ ij a ser determinados experimentalmente.

Bajo estas condiciones, se obtiene como resultado, la ecuación simplificada de difusión atmosférica.

$$c(x,y,z) = \frac{q}{2\pi U \sigma_y \sigma_Z} \bullet \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \times \left[\exp\left(\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right]$$

Ecuación 2

Donde:

- q: Emisión (g/s).
- u: Velocidad del viento en dirección x (m/s).
- H: Elevación de la pluma o gases emitidos a la atmósfera.
- C(x,y,z): Concentración del contaminante en un punto de coordenadas x,y,z.
- σ y, σ z: Coeficientes empíricos de dispersión atmosférica, determinados experimentalmente, para diferentes condiciones de estabilidad de la atmósfera.

Las ecuaciones gaussianas de estos modelos incorporan coeficientes de dispersión (σ y, σ z) de tipo empíricos, determinados mediante experimentos con trazadores. Estos experimentos se realizaron en varios países: USA (más de 20 experimentos), Chile (3 experimentos, 1996, 1998), Arabia Saudita (2001), entre otros. En todos los casos los objetivos han sido:

a) Determinar la relación entre el coeficiente de turbulencia de los modelos Gaussianos y las variables ambientales, para diferentes estabilidades atmosféricas con diferentes distancias al receptor (x, y). Esto es:

$$\sigma z = Fz \text{ (x, estabilidad atmosférica)}$$

$$\sigma y = Fy \text{ (x, estabilidad atmosférica)}$$

Ecuación 3

Donde x es la distancia viento abajo de la fuente emisora.

b) Determinar la altura a la cual se elevan las emisiones, como función de parámetros de la emisión y las características de la atmósfera. Esto para determinar relaciones tales como:

$$\Delta h = F \text{ (parámetros de emisión, parámetros de meteorología)}$$

De esta manera, se han establecido relaciones empíricas que permiten calcular la elevación del penacho para diferentes tipos de fuentes y condiciones ambientales.

- **Limitaciones de los Modelos Lineales de Estado Estacionario**

Lo indicado en secciones anteriores permite establecer las siguientes limitaciones a los modelos lineales de estado estacionario.

- Los contaminantes son inertes, es decir, no experimentan procesos de transformaciones químicas.
- La meteorología es espacialmente homogénea en todo el dominio o zona de impacto (velocidades y direcciones de vientos, temperatura, etc).
- La altura de la capa de mezcla y la estabilidad de la atmósfera son homogéneas en toda el área o zona de impacto.
- En el entorno del proyecto no existen procesos de recirculación de masas de aire, ya que el modelo asume una dispersión espacial constante, hacia el infinito, durante cada hora de simulación.
- En la zona de impacto no existen puntos o sectores con una cota inferior a la de la chimenea o punto emisor de contaminantes.

Estas limitaciones se aplican a los modelos ISCST3, AERMOD, etc.

- **Modelos Dinámicos No Lineales Tipo Puff**

La ecuación semi-empírica de discusión atmosférica puede también resolverse para una emisión instantánea, para obtener la relación:

$$C_i(x,y,z,t) = \frac{q_i}{(2\pi)^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_z}\exp\left(-\frac{\left(x-x'-\bar{u}(t-t')\right)^2}{2\sigma_x^2}-\frac{(y-y')^2}{2\sigma_y^2}\right)$$
$$x\left[\exp\left(-\frac{(z-z')^2}{2\sigma_z^2}\right)-\exp\left(-\frac{(z+z')^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] \qquad \textit{Ecuación 4}$$

La cual representa la concentración en un punto x,y,z, debido a una emisión de un puff o emisión instantánea (q_i) de una fuente de contaminante en un instante t. La concentración Ci (x,y,z,t) en Ecuación ***4*** representa la contribución de un puff emitido en el instante t y es válida para las condiciones de velocidad y dirección de vientos, estabilidad atmosférica y altura de capa de mezcla existente en el punto donde se encuentra el puff.

Debido a lo anterior, un modelo tipo puff necesita una grilla cartesiana en la cual se encuentren definidos los parámetros básicos de dispersión (viento, estabilidad atmosférica y altura de capa de mezcla) en cada celda de la grilla. Estos parámetros pueden ser homogéneos en toda la grilla (lo que hace el sistema equivalente al modelo gaussiano) o bien variable, de acuerdo a la topografía y usos de suelo. Un modelo tipo puff trabaja en este dominio movilizando los diferentes puffs de acuerdo a las relaciones:

$$x(t) = x(t-1) + u_{i,j}\Delta t$$

Ecuación 5

$$y(t) = y(t-1) + v_{i,j}\Delta t$$

Ecuación 6

$$z(t) = z(t-1) + w_{i,j}\Delta t$$

Ecuación 7

En el proceso de transporte un puff se expande y cambia de tamaño de acuerdo a la estabilidad atmosférica que encuentra en cada grilla del dominio. Un ejemplo de este proceso se ilustra en Figura 4.

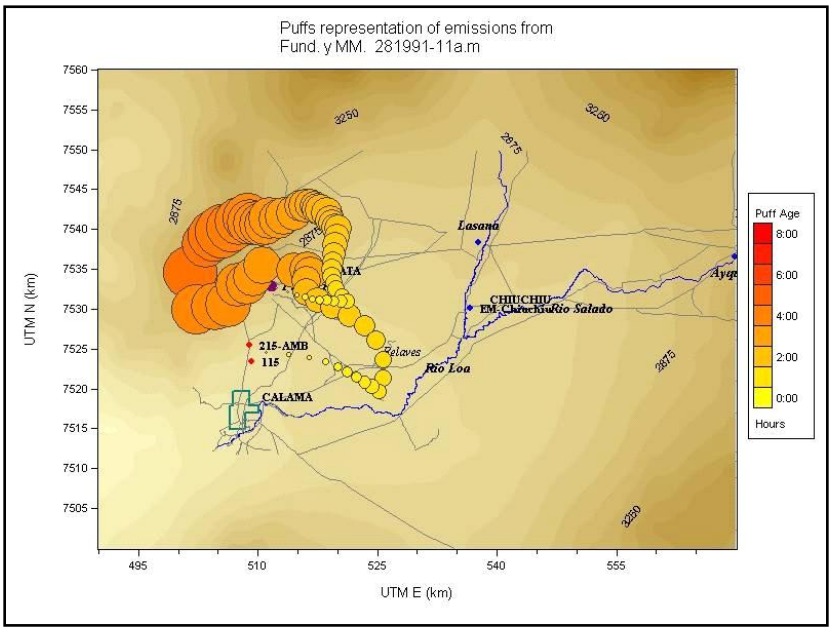


Figura 4: Ejemplo de transporte y variación del tamaño de puff de acuerdo a la estabilidad de la atmósfera. Zona de Calama.

Fuente: Enviromodeling Ltda.

Lo anterior indica que un modelo tipo puff puede usar información de vientos, estabilidad de la atmósfera y altura de la capa de mezcla variable en el tiempo y en el espacio. Esta información debe, sin embargo, estar calculada por un modelo micrometeorológico.

En este esquema de dispersión de contaminantes, las diferentes emisiones instantáneas (o puffs) se transportan dinámicamente de acuerdo a los diferentes vientos que los puff encuentran en las diferentes celdas de la grilla cartesiana, y se dispersan de acuerdo a las diferentes clases de estabilidad atmosférica calculadas para cada celda por el modelo meteorológico.

- **Modelos de Calidad del Aire con Tecnología del Siglo XXI**

  Los modelos de calidad de aire con tecnología del siglo XXI, corresponden a aquellos que utilizan la teoría de similitud para definir la magnitud de la dispersión de un contaminante bajo diferentes condiciones atmosféricas.

  Para la modelación de situaciones de flujos turbulentos en los primeros 500 a 1000 m de la atmósfera, nuestros conocimientos de la física que gobiernan estos procesos no son suficientes como para derivar relaciones que representen la dispersión a partir de principios fundamentales.

  La teoría de similitud basada en el análisis dimensional permite agrupar las variables en parámetros adimensionales similares entre sí, a fin de organizar los datos experimentales de una manera eficiente, y así derivar relaciones universales que permitan entender la turbulencia en la capa límite planetaria.

  De las diferentes teorías que se han postulado para la capa atmosférica donde ocurre la dispersión de contaminantes, la teoría de similitud de Monin - Obukhov ha sido encontrada la más aceptable. Está basada en la hipótesis de similitud propuesta por Monin y Obukhov (1954). Esta teoría evolucionó durante la década de los 60 al 90, debido a los trabajos de Van Ulden and Holtslang (1985), entre otros. Estos trabajos dieron origen a una teoría de la capa límite para analizar el transporte y dispersión de contaminantes, basado en mediciones meteorológicas de parámetros básicos en la capa límite atmosférica y los usos de suelo. Los principales parámetros de la capa límite de interés son:

  - Flujo de Calor Sensible Sobre el Suelo

- Velocidad de Fricción y Longitud de Monin Obukhov
- Altura de la Capa de Mezcla Convectiva (Z_{ic})
- Altura de la Capa de Mezcla Mecánica (Z_{im})
- Extrapolación de la Velocidad del Viento
- Extrapolación de la Dirección del Viento
- Turbulencia Horizontal y Vertical de la Atmósfera
- Turbulencia Vertical
- Turbulencia Lateral

Los coeficientes de dispersión anteriormente señalados constituyen parte de la nueva tecnología que incorporan modelos como AERMOD y CALPUFF. En Tabla 3 se presenta un resumen de los modelos que utilizan tanto la tecnología del Siglo XX (basada en coeficientes de dispersión determinados mediante experimentos específicos) como la nueva tecnología (Siglo XXI) basada en la teoría de similitud.

Tabla 3: Modelos que utilizan la tecnología de los Siglos XX y XXI.

Parámetros de la Atmósfera	**EPA Siglo XX**	**EPA Siglo XXI**
1. σy, σx y σz	Empíricos, de experimentos mediciones de terreno	Teoría de capa límite Micrometeorológica
2. ACM	Radiondeos, mediciones en torres meteorológicas	Teoría de capa límite
3. VV Superficie	Estación monitora 10 m	Estación monitora 10 m (parámetros turbulencia)
4. Meteorología de Altura	Radiosondeo, mediciones en altura, ecosonda	Radiosondeo, mediciones en altura, ecosonda
Generación de modelos	**1º Generación**	**2º Generación**

Parámetros de la Atmósfera	EPA Siglo XX	EPA Siglo XXI
	ISCST3, CTDM, COMPLEX I, SCREEN, FDM	**AERMOD CALPUFF**

Fuente: Enviromodeling Ltda.

2.4. Antecedentes de la Empresa

2.4.1 Perfil de la Compañía

Enviromodeling Ltda. es una empresa familiar especializada en servicios de calidad de aire, con amplia experiencia en gestión y modelación de impactos de Calidad del Aire, avalada por más de 20 años de trabajo profesional de sus fundadores. La experiencia de la empresa se centra en la aplicación profesional de modelos de dispersión, tales como CALPUFF, SCIPUFF, CAMx y SCICHEM, para evaluar los impactos de contaminantes gaseosos y partículas provenientes de diferentes fuentes emisoras industriales, mineras o urbanas, tanto en Chile como en el Extranjero.

Por otra parte, EnviroModeling es también una de las empresas líderes a nivel mundial en el desarrollo de software para la visualización, análisis y preparación de resultados generados por modelos ambientales. Este es el caso del software CalDESk, desarrollado para la visualización y análisis del sistema de modelación CALPUFF, y CAMx_Desk desarrollado para la visualización y análisis del sistema CAMx/WRF.

2.4.2 Sectores de Desarrollo

Enviromodeling Ltda. entrega servicios para principalmente los siguientes sectores:

- **Minería**: En este sector la empresa presta servicios de principalmente de realización de estudios de calidad de aire para evaluar el impacto debido a la operación de minas a rajo abierto, tranques de relaves, plantas de chancado y fundiciones, entre otras actividades mineras.

- **Energía**: En este sector Enviromodeling realiza principalmente estudios de calidad de aire para evaluar el impacto debido a la construcción y operación de centrales termoeléctricas y de refinerías de gas.

- **Gubernamental**: La empresa presta servicios de elaboración de estudios de calidad de aire para las autoridades ambientales y de salud de distintas regiones del país.

- **Otros**: También la empresa desarrolla estudios de calidad de aire para celulosas y plantas de cerdos.

2.4.3 Visión, Misión y Valores de la Empresa

- **Visión**: Ser un referente nacional e internacional en la prestación de servicios especializados dentro de la rama de la ingeniería y gestión ambiental.

- **Misión**: Entregar a nuestros clientes estudios confiables y de calidad sobre los impactos ambientales que afectan al aire y facilitar a las partes interesadas de manera transparente y oportuna las herramientas y directrices para la correcta gestión de sus proyectos.

- **Valores**:

  - Conducta ética: Actuaremos con la máxima profesionalidad, integridad moral, lealtad y respeto a las personas.
  - Orientación al cliente: Nuestro esfuerzo irá dirigido a satisfacer al cliente, aportando soluciones competitivas rentables y de calidad para el desarrollo sustentable de sus proyectos.
  - Personalización: Cada cliente plantea un reto distinto con una solución a medida, por lo que es necesaria en nuestro estándar de servicio.
  - Innovación: Nuestro proceso de mejora continua y la innovación son vitales para lograr la máxima calidad desde criterios de rentabilidad. Siempre al tanto del estado del arte en nuestra especialidad.
  - Orientación a resultados: Actuamos para la consecución de los objetivos del proyecto y la rentabilidad para nuestros clientes.
  - Seguridad de la información: Promovemos una cultura preventiva en seguridad de la información y privacidad de los datos personales.
  - Personas: Aseguramos las oportunidades de desarrollo en base al mérito y a la aportación profesional.
  - Medio ambiente: Ayudamos a preservar el medio ambiente con la prestación de nuestros servicios.

2.4.4 Historia de Enviromodeling

En Santiago de Chile, el 3 de mayo de 1994, se constituye la empresa de responsabilidad Limitada "Centro de Modelación e Ingeniería Ambiental Ltda.", nombre de

fantasía Enviromodeling, por sus tres socios: Luis V. Matamala, Ana María Rebolledo y Francisco Matamala.

El objeto de la sociedad constituida fue principalmente: consultorías en las áreas de modelación de impacto de emisiones contaminantes; análisis de riesgos a la salud por exposición de la población a sustancias tóxicas y diseño y evaluación de sistemas de control de emisiones; y asesorías en el campo de la computación.

La elección del nombre Enviromodeling obedece a la experiencia estudiantil y laboral de sus socios en Estados Unidos, donde residieron durante aproximadamente ocho años. Este nombre es la unión de *Enviro* que proviene de medio ambiente en inglés (environment) y *modeling* que se puede traducir del inglés como modelación, lo que identifica al principal servicio prestado por la empresa: modelación del medio ambiente.

La empresa nace al observar la necesidad de traer a Chile la experiencia sobre modelación de impactos atmosféricos obtenida por su principal socio, el Dr. Luis Matamala, quién realizó su doctorado en Ingeniería Ambiental, en la Universidad del Sur de California (University of Southern California). Esta experiencia consiste en:

- Entre los años 1984 y 1989 trabajó en Aerovironment Inc. (U.S.A.) como Scientist (part-time) - Air Quality Division (Científico (tiempo parcial) - División de Calidad del Aire). Donde desarrolla programas de computación para modelación y evaluación del impacto de contaminación ambiental para organismos de gobierno y aplica varios modelos desarrollados por la EPA-USA en diferentes proyectos regulatorios de la contaminación ambiental.

- Entre los años 1985 y 1990, participó como Profesor Ayudante en clases de Ingeniería Ambiental del Departamento Universidad del Sur de California (University of Southern California, USA).

- Entre los años 1989 y 1991, trabajó en Aerovironment Inc. (U.S.A.) como Senior Scientist - Modeling and Analysis Group (Científico Senior - Grupo de Modelación y Análisis): Jefe Proyectos relacionados con contaminación ambiental. Responsable por las actividades de modelación de contaminación y análisis estadístico de datos ambientales del grupo.

  Dirigió proyectos para el análisis de datos de monitoreo ambiental en estudio para evaluar la contaminación causada por planta generadora de electricidad en el Sur-Oeste de los Estados Unidos, proyectos para evaluar el impacto ambiental causado por emisiones de SO_2, de plantas generadoras de electricidad en Estados Unidos y en Valencia, España y participó en varios proyectos para regular el impacto de las emisiones industriales en el área de Los Angeles, California, principalmente emisiones de sustancias tóxicas.

A través de su historia, la empresa ha ido actualizando sus servicios de acuerdo a la evolución la legislación ambiental de Chile. Por otra parte, también la empresa ha ido evolucionando con respecto a la ciencia de modelación de calidad de aire para ofrecer servicios de acuerdo al estado del arte de modelación.

El último hito importante que reúne estos dos aspectos, legislatura y ciencia, fue la publicación por parte del SEA de la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad de Aire en el SEIA" en el año 2012. Esta Guía fue elaborada por el Servicio de Evaluación Ambiental

(SEA), proceso liderado por el Departamento de Estudios y Desarrollo de la División de Evaluación Ambiental y Participación Ciudadana, con la colaboración de la División Jurídica.

El propósito de la Guía es establecer criterios para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA como herramienta de estimación, incorporando además buenas prácticas para dar mayor transparencia a la metodología utilizada por los titulares en cada caso.

Se reconoce además que existen limitaciones e incertidumbre inherentes a cada tipo de modelo, así como también incertidumbre asociada a los datos utilizados como información de entrada a los modelos. En este sentido, la Guía busca incorporar el análisis de las posibles fuentes de incertidumbre para que sean consideradas al momento de evaluar los resultados de la modelación y en la toma de decisión.

Con la publicación de esta guía, el servicio de elaboración de estudios de calidad de aire entregado por Enviromodeling tuvo que actualizar sus procesos para conversar con los lineamientos de ésta, principalmente a lo referente de presentación de información meteorológica, modelación meteorológica y análisis de incertidumbre de sus resultados. De esto, la actualización más importante fue la exigencia de realizar todas las modelaciones meteorológicas con el modelo WRF.

Enviromodeling ya implementaba en el año 2012 de manera autónoma el modelo WRF para distintos servicios de modelación, de acuerdo a los avances tecnológicos que había. Sin embargo, no en todos los estudios lo implementaba de la forma en que lo describe la guía, sino que de acuerdo al tipo de proyecto a avaluar. A partir del año 2013 lo implementa de la forma en que lo establece la “Guía para el Uso de Modelos de Calidad de Aire en el SEIA”.

Los avances tecnológicos en computación y redes también forman parte importante de la evolución de Enviromodeling, los procesadores actuales y velocidad de internet permiten elaborar modelaciones meteorológicas, de dispersión y fotoquímicas más rápidas y eficientes que hace unos años, permitiendo corridas de grandes exigencias en un par de semanas. Lo que hace un par de años podía durar el doble de tiempo y hasta el triple.

2.4.5 Estructura Organizacional

El organigrama de la empresa Enviromodeling Ltda. se presenta en Figura 5.

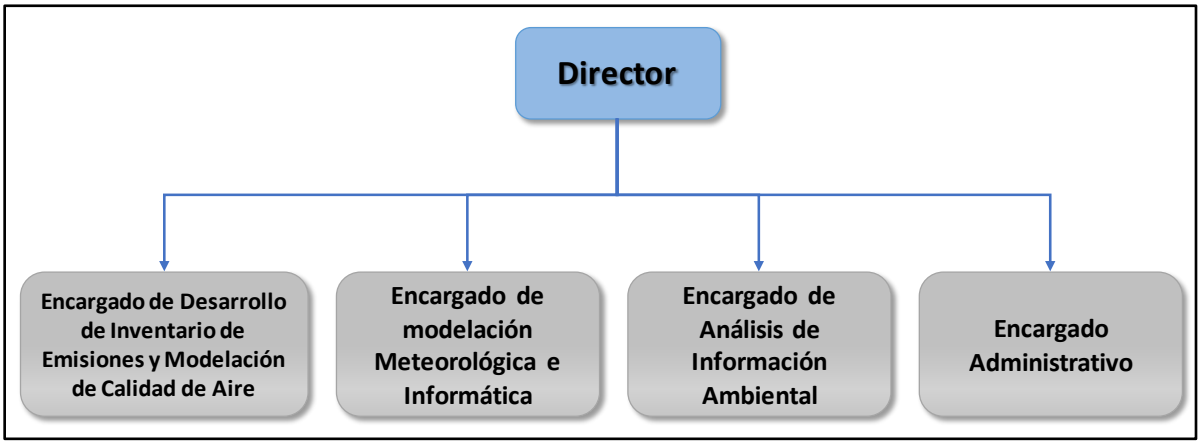


Figura 5: Organigrama general de la empresa Enviromodeling Ltda.
Fuente: Elaboración propia

Los profesionales y el detalle de cada unidad del organigrama es el siguiente:

- **Director**: Luis V. Matamala, Ph.D, Ingeniero Civil Químico y Doctor en Medio Ambiente.

  Representante legal de la empresa y jefe de proyectos de los diferentes estudios realizados.

- **Encargado de desarrollo de inventario de emisiones y modelación de calidad de aire:** Nadia Ruminot, Ingeniero Ambiental.

  Encargada de coordinar y realizar el cálculo de emisiones atmosféricas de actividades mineras, industriales y urbanas; y modelación del impacto de dichas emisiones en receptores de interés, mediante los modelos CALPUFF, AERMOD o modelos receptores.

- **Encargado de modelación meteorológica e informática:** Francisco Matamala, Ingeniero Informático.

  Encargado de las modelaciones meteorológicas con WRF y fotoquímicas con el modelo CAMx. Además, se encarga de desarrollar los distintos tipos de softwares utilizados y comercializados por la empresa.

- **Encargado de análisis de información ambiental**: Leyla Fuentes, Ingeniero Civil Ambiental.

  Encargada de analizar la información meteorológica y de calidad de aire de los diferentes estudios realizados, para la elaboración de líneas Bases y análisis de incertidumbre de los modelos meteorológicos.

- **Encargado administrativo**: Ana María Rebolledo, Trabajadora Social.

  Encargada de los asuntos administrativos de la empresa, tales como cotizaciones previsionales, liquidaciones de sueldo y tramitación de licencias médicas.

2.4.6 Servicios Entregados

La empresa Enviromodeling ofrece las siguientes dos áreas de servicios:

- **Estudios de calidad del aire:**

  El servicio más importante entregado por Enviromodeling es la elaboración de estudios de calidad de aire. Estos estudios son realizados para dos fines principalmente. El primero, para ser parte de Estudios de Impacto Ambiental (EIA) o Declaración de Impacto Ambiental (DIA). El objetivo de este servicio es evaluar el impacto en calidad de aire de proyectos que ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) al que se deben someter para evaluar y certificar que sus actividades se encuentran en condiciones de cumplir con los requisitos ambientales que les son aplicables.

  El segundo tipo de estudio, es para gestión de calidad de aire para distintas localidades del país, es decir, evaluar la calidad de aire de ciudades o pueblos con problemas de contaminación atmosférica. Estos estudios forman parte de los antecedentes técnicos que permiten la elaboración de planes de descontaminación y/o prevención atmosférica.

  Los estudios de calidad de aire, dependiendo de los requerimientos del cliente pueden estar compuestos por uno o más de las siguientes actividades:

- **Modelación de impactos en calidad del aire**: A su vez, un estudio puede requerir de una o más de los siguientes servicios de modelaciones de calidad de aire:

- Modelación de impactos de emisiones de SO_2, NOx, CO, MPS, MP10, MP2,5, procedentes de procesos mineros, industriales y urbanos, mediante la aplicación del sistema de modelación CALPUFF.

- Modelación fotoquímica de impactos de emisiones de SO_2, NOx y COVs, en la generación de Ozono (O_3) troposférico y MP2,5 secundario en zonas urbanas y rurales, mediante la aplicación del sistema de modelación fotoquímica CAMx.

- Modelo receptor para la identificación de fuentes emisoras de Material Particulado Respirable (MP10/MP2,5), que contribuyen a los niveles medidos de este contaminante en zonas sensibles.

- **Modelación meteorológica**: Esto se realiza con el modelo meteorológico WRF, en los dominios y resolución adecuados para el servicio requerido por el cliente. Como parte de los resultados de esta modelación, se realiza un análisis de sensibilidad de los resultados de WRF con los datos observados registrados por estaciones meteorológicas de la zona de estudio.

  Con los resultados de los campos de vientos entregados por la modelación meteorológica se puede realizar un análisis de trayectorias de masas de aire, que salen de una fuente (Forward) o que llegan por un receptor (Backward).

  Un servicio adicional que se desprende de la modelación meteorológica son la elaboración de pronósticos meteorológicos locales para operaciones mineras de alta montaña, con aproximación del día y proyecciones de hasta una semana.

- **Inventario de emisiones**: La preparación de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos, gases y partículas, de zonas urbanas, procesos industriales y mineros se realiza mediante la aplicación de factores de emisión para los distintos procesos emisores a considerar en el estudio.

- **Capacitación:**

  Cursos de capacitación Teórico-Prácticos sobre modelos de dispersión y meteorología de la contaminación atmosférica. Debido a la gran experiencia del equipo de Enviromodeling en modelación atmosférica, la empresa realiza cursos de capacitación a empresas públicas y privadas y organismos de gobierno. Estos cursos pueden ser solo teóricos o pueden ser con talleres de aplicación de modelos y visualización y análisis de resultados.

2.4.7 Productos

La empresa Enviromodeling vende los siguientes productos:

- **CalDESK Advanced**: Software para la investigación, análisis y visualización avanzada de los resultados del sistema CALPUFF. Permite además, la visualización de resultados de MM5 y WRF, en conjunto con la meteorología de CALMET y la generación de trayectorias de masas de aire.

  Está diseñado para visualizar los datos de salida de estos modelos y mostrarlos en ventanas de visualización que utilizan campos de vectores y líneas de corriente para vientos, contornos, campos de caja y gráficos de líneas. Una ventana de visualización

también puede contener imágenes de fondo y superposiciones basadas en vectores (por ejemplo, un conjunto de líneas que representan calles).

Características:

- Lee los archivos de salida CALMET y CALPUFF.
- Se pueden añadir imágenes de fondo y superposiciones de vectores a sus gráficos.
- Visualiza los datos de CALMET, CALPUFF y CALGRID en varias vistas.
- Visualiza los datos meteorológicos de CALMET y las concentraciones de CALPUFF al mismo tiempo.
- El módulo avanzado de análisis de trayectoria permite a los usuarios realizar un análisis de trayectoria complejo.

- **CAMx_Desk**: Software para la investigación, análisis y visualización avanzada de los resultados del sistema CAMx. Permite además, la visualización de resultados de MM5 y WRF y la generación de trayectorias de masas de aire.

- **Datos de WRF**: Resultados de WRF según requerimientos de los clientes.

- **Distribuidor oficial en Chile de Lakes Environmental**: Comercialización de productos de Lakes Environmental en Chile.

2.4.8 Clientes

Los clientes de Enviromodeling son del sector público y privado, nacionales e internacionales. Estos clientes se puedes dividir en dos tipos: clientes directos e indirectos. El detalle de éstos se presenta a continuación:

- **Clientes Directos:** Estos clientes contratan directamente los servicios de Enviromodeling para asesorar sus proyectos. Entre éstos se encuentran:

  - Ministerio de Medio Ambiente
  - Ministerio de Salud
  - Servicio de Evaluación Ambiental
  - Empresas mineras: CODELCO, Minera Los Pelambres, Minera Doña Inés de Collahuasi.
  - SECA – Consultoría em Clima e Meio Ambiente Ltda.
  - BlueScape Environmental Air Quality Innovation, USA.
  - Empresas de consultoría en gestión ambiental: Soluciones en Gestión Ambiental S.A. (SGA), Jaime Illanes y Asociados Consultores S.A. (JIA), Gestión Ambiental Consultores S.A. (GAC), +MG Medio Ambiente y Gestión S.A., ARCADIS Chile S.A., RiverAmbiente Consultores y Golder Associates (Chile y Perú).

- **Clientes Indirectos**: Estos clientes contratan indirectamente los servicios de Enviromodeling, a través de la subcontratación por parte de las empresas de consultorías identificadas anteriormente. Entre éstos se encuentran:

  - ENAP
  - ENDESA.
  - BHP Billiton
  - Anglo American
  - Minera Spence
  - CODELCO

2.4.9 Proyectos Recientes

Enviromodeling ha desarrollado una cantidad considerable de proyectos en Chile y el extranjero, especialmente en los sectores de la minería, energía y gestión ambiental, obteniendo un gran desarrollo en la última década.

A continuación, se presentan los proyectos y clientes desarrollados desde 2010 en adelante:

- **"Modelación del Impacto en la Calidad del Aire por Ozono del Proyecto Adecuaciones Operacionales Cogeneradora Aconcagua"**. Preparado para Jaime Illanes y Asociados S.A., Octubre 2017.
- **"Modelación del Impacto en la Calidad del Aire por Ozono del Proyecto Actualización del Complejo Industrial Coker"**. Preparado para Jaime Illanes y Asociados S.A., Septiembre 2017.
- **"Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire por Ozono y MP2,5 Secundario del Proyecto de Eficiencia Energética Ciclo Combinado Central Quintero"**. Preparado para SGA S.A, Agosto 2017.
- "**Estudio de Calidad de Aire para EIA del Proyecto de Expansión de Los Pelambres, ADENDA N° 1"**. Preparado para Minera Los Pelambres, Mayo 2017.
- **"Modelación con CALPUFF del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central Nueva ERA Considerando una Resolución Espacial de 250 Metros"**. Preparado para SGA S.A., Mayo 2017.
- **"Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Nueva ERA"**. Preparado para SGA S.A, Diciembre 2016.
- **"Actualización de la Información de Emisiones para Material Particulado Respirable y sus Precursores en la Ciudad de Calama"**. Preparado para Seremi Medio Ambiente de la Región de Antofagasta, Octubre 2016.

- "**Estudio de Calidad de Aire para EIA del Proyecto de Expansión de Los Pelambres"**. Preparado para Minera Los Pelambres, Junio 2016.

- **"Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble"**. Preparado para SGA S.A, Mayo 2015.

- **"Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Luz de Atacama"**. Preparado para +MG Medio Ambiente y Gestión S.A., Abril 2016.

- **"Modelación del Impacto en la Calidad del Aire por Ozono de las Emisiones del Complejo Industrial Coker de la Refinería Aconcagua de ENAP"**. Preparado para Jaime Illanes y Asociados S.A., Agosto 2015.

- **"Estudio de Calidad de Aire del Proyecto Crecimiento Marginal de Minera Los Pelambres"**. Preparado para Minera Los Pelambres, Febrero 2015.

- "**Actualización Inventario de Emisiones y Modelamiento de Dispersión de Contaminantes, Proyecto Quetena"**. Preparado para CODELCO División Chuquicamata, Enero 2015.

- **"Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Bocamina de ENDESA"**. Preparado para SGA SA, Octubre 2014.

- **"Modelación del Impacto en la Calidad del Aire, de las Emisiones de la Empresa Härting"**. Preparado para DSS Ambiente e Ingeniería, Julio 2014.

- **"Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono y MP2.5 de la Operación de Central Energía Minera".** Preparado para +MG Medio Ambiente y Gestión SA, Abril 2014.

- **"Desarrollo del Inventario de Emisiones de MP10 y MP2.5 de Minera Los Pelambres, Año Base 2012"**. Preparado para Minera Los Pelambres, Diciembre de 2013.

- **"Mejoramiento y Ejecución del Modelo Meteorológico CALMET para la Zona de Minera Candelaria y Entrega de Resultados del Modelo a ARCADIS"**. Preparado para ARCADIS Chile S.A, Junio 2013.

- **"Estudios para Determinar Metodología que Demuestre Cumplimiento de Compromisos de Calidad de Aire y Emisiones División Chuquicamata"**. Preparado para CODELCO Chuquicamata, Mayo 2013.

- **"Modelación del Impacto en la Calidad del Aire de las Emisiones de Precursores de Ozono de la Central Combinada ERA (ENAP Refinería Aconcagua)"**. Preparado para SGA SA, Marzo 2013.

- **"Evaluación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama y Chiu Chiu debido a las Emisiones del Proyecto Expansión de Sulfuros Fase II de Radomiro Tomic".** Preparado para SGA SA, Enero 2013.

- **"Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama y Chiu Chiu debido a las Emisiones del Proyecto Quetena – ADENDA Nº 2"**. Preparado para SGA SA, Noviembre 2012.

- **"Modelación de la Circulación de los Vientos para un Periodo de un Año que Permita Visualizar Hacia Donde se Orienta la Pluma de Emisión de Olores y Contaminantes Atmosféricos Provenientes de una Planta Faenadora de Cerdos"**. Preparado para COEXCA a través de RiverAmbiente Consultores, Octubre 2012.

- **"Análisis Eventos Ambientales Críticos por MP10 y MP2.5 en la Ciudad de Calama, Durante Octubre y Noviembre del Año 2011"**. Preparado para CODELCO Chuquicamata, Septiembre 2012.

- **"Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama y Chiu Chiu debido a las Emisiones del Proyecto Quetena – ADENDA Nº 1"**. Preparado para SGA SA, Agosto 2012.

- **“Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Termoeléctrica Tarapacá Ubicada en Puerto Patache, Zona de Iquique, Primera Región”.** Preparado para SGA S.A, Junio 2012.

- **“Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono Troposférico de las Emisiones de una Central Termoeléctrica a Ser Instalada en Quilpué”**. Preparado para SGA S.A., Marzo 2012.

- **“Modelación de Dispersión de Contaminantes MPS y MP10 Emitidos en Puerto Punta Chungo. Modelación de Impactos Mediante Aplicación de Modelo CALPUFF”**. Preparado para Minera Los Pelambres, Febrero 2012.

- **“Determinación del origen del MP10 Medido en Estaciones Monitoras de Tranque Mauro y Localidad de Caimanes"**. Preparado para Minera Los Pelambres, Enero 2012.

- **“Modelación de Impactos en la Calidad del Aire por Emisiones de MP2.5 de Minera Los Pelambres y Fuentes Locales en Caimanes"**. Preparado para Minera Los Pelambres, Enero 2012.

- **“Asesoría de Evaluación y Revisión del Estudio de Evaluación Ambiental del Proyecto Expansión Fase III de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi”.** Preparado para Golder Associates Chile, Diciembre 2011.

- **“Actualización de Modelación de Impactos en la Calidad del Aire por Emisiones de MP10 y MP2.5 de escenario operacional Base de 175 y futuros de 197 y 210 ktpd de Minera Los Pelambres”**. Preparado para Minera Los Pelambres, Diciembre 2011.

- **“Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama y Chiu Chiu debido a las Emisiones de las Etapas de Construcción y Operación del Proyecto Quetena”.** Preparado para SGA SA, Noviembre 2011.

- **"Modelación de Impactos en la Calidad del Aire por Emisiones de MP10 del Plan minero 2012 de Minera Los Pelambres"**. Preparado para Minera Los Pelambres, Octubre 2011.

- **"Determinación Línea Base Atmosférica para Contaminantes Regulados por Calidad del Aire, Sector Desarrollo Proyecto Chuqui Subterráneo"**. Preparado para CODELCO, Junio 2011.

- **"Actualización de Inventario de Emisiones de MP10 de Minera Los Pelambres al año 2010 y Evaluación de Impactos en la Calidad del Aire de los Escenarios Operacionales: 159 (Base), 197 y 210 ktpd"**. Preparado para Minera Los Pelambres, Marzo 2011.

- **"Modelación del Impacto de las Emisiones de MP10 del Proyecto Nuevo Botadero de Ripios de Radomiro Tomic"**. Preparado para Hacth Ingenieros y Consultores Ltda., Marzo 2011.

- **"Desarrollo de Estudios de Modelación de Calidad de Aire para el Plan de Descontaminación de Calama"**. Preparado para CODELCO Norte, Enero 2011.

- **"Optimización del Diseño Actual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire en la Zona Saturada de Calama II Región"**. Preparado para CODELCO Norte y la SEREMI de Medio Ambiente Región de Antofagasta, Diciembre 2010.

- **"Identificación de Medidas para el Mejoramiento de la Calidad de Aire en Localidades de la Comuna de Pozo Almonte"**. Preparado para SEREMI de Medio Ambiente Región de Tarapacá, Diciembre 2010.

- **"Modelación del Impacto de las Emisiones MP10 de la División El Salvador".** Preparado para CIMM T&S, Diciembre 2010.

- **"Evaluación Integral del Impacto de las Emisiones de MP10 de Minera Los Pelambres en la Calidad del Aire de su Entorno, Actualización Año 2009"**. Preparado para Minera Los Pelambres, Julio 2010.

- **“Modelación del Impacto de las Emisiones MP10 del Tranque de Relaves Pampa Austral de la División CODELCO El Salvador en la Calidad del Aire en Localidades Cercanas, Parte II”.** Preparado para CIMM T&S, Abril 2010.

Los detalles del servicio entregado para algunos de estos proyectos se describen a continuación:

- “**Estudio de Calidad de Aire para EIA del Proyecto de Expansión de Los Pelambres, ADENDA N° 1”**:

  Este estudio consistió, básicamente, en la actualización del Inventario de Emisiones de contaminantes atmosféricos presentado en el EIA del Proyecto de Minera Los Pelambres Infraestructura Complementaria. Esto debido a cambios en el proyecto para responder a observaciones de la Autoridad.

  Luego de actualizadas las emisiones de MP10, MP2,5, MPS, SO_2, NOx y CO, se modeló con CALPUFF el aporte de estas emisiones en receptores de interés y se actualizó el informe de calidad de aire.

- **“Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Nueva ERA”**.

  Este estudio fue preparado por encargo de la consultora SGA S.A, encargada de desarrollar el EIA del proyecto *Central Ciclo Combinado Nueva ERA* de ENAP.

  En primer lugar, en este estudio, se realizó un análisis de la información meteorológica y de calidad de aire local de las estaciones monitoras de la zona de estudio. En segundo lugar, se realizó una modelación meteorológica con WRF de la zona de estudio y se desarrolló el análisis de incertidumbre de sus resultados.

En tercer lugar, se desarrolló el Inventario de Emisiones de la etapa de construcción del Proyecto. Las emisiones atmosféricas de la etapa de operación fueron entregadas por la contraparte.

Con los resultados de la modelación meteorológica más las emisiones de la etapa de construcción y operación del Proyecto se realizaron las modelaciones de calidad de aire. Por una parte, se modelaron con CALPUFF las emisiones de contaminantes primarios de la etapa de construcción y operación, y por otra, se modelaron con CAMx las emisiones de precursores de contaminantes secundarios. Con los resultados de estas modelaciones se obtiene el aporte de MP10, MP2,5, MPS, SO_2, NOx, CO y O_3 del Proyecto en sus diferentes etapas. Finalmente, con estos aportes sobre la línea base se presenta la evaluación de impacto en calidad de aire del Proyecto.

- **"Actualización de la Información de Emisiones para Material Particulado Respirable y sus Precursores en la Ciudad de Calama"**.

  Este estudio fue preparado para la Seremi Medio Ambiente de la Región de Antofagasta y consistió en el desarrollo y actualización de un Inventario de emisiones de MP10, MP2,5 primario y precursores de MP2,5 secundario de la ciudad de Calama.

  Además del Inventario de Emisiones, se realizó una modelación meteorológica con WRF de la zona para posteriormente con estos resultados realizar un análisis de trayectorias de masas de aire para determinar el comportamiento y la influencia de las masas de aire en las condiciones de dispersión local que estarían afectando a las estaciones Servicio Médico Legal y Escuela D-126 de Calama e identificar fuentes emisoras que estarían impactando en estas estaciones de calidad de aire, en el contaminante Material Particulado Respirable (MP10 y MP2.5) y sus precursores.

- **“Evaluación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama y Chiu Chiu debido a las Emisiones del Proyecto Expansión de Sulfuros Fase II de Radomiro Tomic”.**

  Este estudio fue encargado por SGA SA, consultora encargada de realizar el EIA del Proyecto Sulfuros II de CODELCO División Radomiro Tomic.

  En este estudio se realizó el Inventario de Emisiones de MP10, MP2,5, SO_2, NOx y CO de las etapas de construcción y operación del Proyecto, además de la actualización del Inventario Base del año 2010, es decir, de la operación de la división durante el año 2011.

  También se realizó el análisis de información meteorológica de la zona y línea base de calidad de aire de la zona.

  En este estudio se consideraron 3 zonas de estudio, para las cuales se compró la información meteorológica del modelo MM5. Estas 3 zonas comprendían toda la zona de estudio del Proyecto, el cual incluye una planta desalinizadora en la comuna de Tocopilla, acueducto que pasa por la comuna de María Elena. Por lo tanto, las 3 zonas de estudio fueron áreas que abarcan las comunas de Tocopilla, María Elena y Calama.

  Con el modelo CALPUFF, considerando el Inventario de Emisiones desarrollado y la meteorología del modelo MM5, se obtuvo el aporte de MP10, MP2,5, SO_2, NOx y CO del Proyecto en las tres zonas de estudio. En las zonas de Tocopilla y María Elena se obtuvo directamente el aporte de la etapa de construcción y en la zona de Calama se obtuvo mediante la resta de los resultados de las etapas de construcción y operación con el escenario Base. De esta forma, se obtiene el aporte del Proyecto a la línea base

de calidad de aire, la que ya tiene registrado el aporte de la operación actual de la división.

- **"Identificación de Medidas para el Mejoramiento de la Calidad de Aire en Localidades de la Comuna de Pozo Almonte"**.

  Este estudio Preparado para la SEREMI de Medio Ambiente Región de Tarapacá, consistió en identificar y analizar medidas para mejorar la calidad de aire de las localidades de Parca y Mamiña, ubicadas en la comuna de Pozo Almonte en la Región de Tarapacá.

  En primer lugar, en este estudio se realizó un análisis de la información de calidad de aire de las estaciones monitoras de MP10 ubicadas en las localidades mencionadas.

  En segundo lugar, se realizó el análisis de la información meteorológica registrada por las estaciones de Parca y Mamiña. Con esta información se modeló la meteorología de la zona mediante el modelo micro-meteorológico CALMET, el cual forma parte del sistema de modelación CALPUFF. Con los resultados de esta modelación se realizó un análisis de trayectorias de masas de aire, para identificar de donde provienen las emisiones que impactan en estas estaciones.

  Con el modelo CALPUFF se obtuvieron los aportes de las distintas fuentes emisoras identificadas. Según los resultados de estos aportes se propusieron medidas de control y mitigación de emisiones de polvo, las que se modelaron nuevamente para evaluar su efectividad en la zona.

2.4.10 Industria en la que Compite

Como se menciona en Sección 2.2.2, durante los últimos años han aparecido en Chile numerosas consultorías medioambientales, las que vendieron en 2013 del orden de US $50 millones, empleando unas 350 personas[38].

Entre estas empresas de consultoría se distinguen principalmente dos tipos: empresas de gestión ambiental y empresas especializadas en componentes ambientales.

Las empresas de *consultoría en gestión ambiental* realizan una gran cantidad de estudios y proyectos ambientales en las áreas de evaluación de impacto, planes de manejo, auditorías, sistemas de gestión, control y monitoreo ambiental.

Las empresas *especializadas en componentes ambientales* realizan estudios específicos en un área ambiental, tanto en evaluación de impacto ambiental como en gestión de la componente. Áreas ambientales como: calidad de agua, calidad de aire, arqueología, hidrogeología y medio biótico, entre otros.

En este último tipo de empresas se encuentra Enviromodeling, la que se especializa en calidad de aire. Sin embargo, igual compite con las empresas de consultoría en gestión ambiental, ya que éstas tienen áreas propias dedicadas a calidad de aire y modelación atmosférica, tal como se explica en la sección siguiente.

2.4.11 Competidores

Los competidores de Enviromodeling pertenecen a los dos tipos de empresas de consultoría: gestión ambiental y especializadas en componentes ambientales. Las primeras

[38] SOLARI (2014). *Estrategias, Desafíos y Proyecciones País: Medio Ambiente.*

tienen unidades específicas con profesionales especializados en calidad de aire, sin embargo, por tener gran cantidad de proyectos o proyectos de gran envergadura, en ocasiones necesitan subcontratar los servicios de empresas especializadas. En el caso de este tipo de empresas, los principales competidores de Enviromodeling son:

- Soluciones en Gestión Ambiental S.A. (SGA): es una empresa de consultoría en gestión ambiental fundada en 1993. SGA presta servicios de gestión ambiental principalmente a empresas, pero también ha realizado importantes estudios para el sector gubernamental, para organismos no gubernamentales (ONG) y comunitarios, tanto en Chile como en el exterior, además se ha posicionado en el mercado como una empresa de gran reputación, cuya marca garantiza experiencia y un amplio conocimiento de Chile.

  SGA ha realizado una gran cantidad de estudios y proyectos ambientales en diversas áreas, tales como: Evaluación de Impacto Ambiental, Recursos Hídricos, Gestión de Permisos, Planes de Manejo, Auditorías Ambientales, Sistemas de Gestión, Seguimiento y Monitoreo Ambiental.

- Jaime Illanes y Asociados Consultores S.A. (JIA): es una empresa de consultoría dedicada a la gestión ambiental de proyectos. Su trabajo se enfoca en compatibilizar el desarrollo industrial y la protección del medioambiente, resguardando los intereses de nuestros clientes, entregando siempre un servicio de la más alta calidad. Se involucran en la gestión ambiental de proyectos desde sus inicios, pasando por asesorías estratégicas, el desarrollo de estudios y declaraciones de impacto ambiental, modelaciones del medio marino y de calidad del aire, relacionamiento comunitario,

gestión de recursos forestales y biodiversidad, gestión del patrimonio cultural, tramitación de permisos sectoriales, entre muchos otros.

- Gestión Ambiental Consultores S.A. (GAC): es una empresa de consultoría ambiental creada en enero de 1991. Desde ese año, Gestión Ambiental Consultores S.A. ha llegado a ser reconocida como una empresa líder en diversos campos de la gestión ambiental, tales como: asesorías ambientales, auditorías ambientales, capacitación, entre otros.

  En el año 1999, Gestión Ambiental Consultores S.A. se asoció con la empresa norteamericana de consultoría ambiental, Ecology & Environment, pasando a ser una filial, independientemente administrada, de esta compañía, una de las principales en su rubro en Estados Unidos.

- Ampra Ingeniería y Gestión Ltda.: es una empresa chilena, consultora en ingeniería y gestión ambiental. Cuenta con un equipo interdisciplinario, que reúne a ingenieros (civiles, mineros, industriales, ambientales), abogados, arquitectos, urbanistas, economistas, médicos, agrónomos, geógrafos, biólogos y sociólogos.

  La experiencia de AMPRA se ha desarrollado particularmente en lo relativo al tratamiento de residuos industriales líquidos, tratamiento de aguas servidas, residuos sólidos industriales y domiciliarios, control de emisiones, evaluación y control de olores, ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, formulación de políticas ambientales e implementación de sistemas de gestión ambiental y proyectos que faciliten la implementación del uso de energías renovables.

- INGECAM Ltda.: es una empresa formada por profesionales estructurados y organizados para otorgar un servicio integral y de calidad para dar solución a las necesidades de gestión de todo tipo de proyectos productivos.

  Entrega los siguientes servicios: Análisis de Pertinencia de Ingreso al SEIA, Declaraciones de Impacto Ambiental, Estudios de Impacto Ambiental, Consolidado de Compromisos de RCA, Permisos Sectoriales, Evaluación Económica Ambiental, Seguimiento y control de proyectos, Producción Limpia, Línea de Base Flora y Vegetación, Línea de Base Fauna Terrestre e Ictica, Rescate y Relocalización de Fauna Terrestre e Ictica, Estimación de Emisiones y Modelación de Calidad del Aire.

- Better Consultores: es una empresa Chilena con 10 años de experiencia en el mercado, pone a disposición de sus clientes equipos profesionales de alto desempeño y competencias, herramientas avanzadas, una extensa gama de productos, servicios especializados en medio ambiente y prevención de riesgos.

  Prestan los servicios de: Planes de Manejo de Residuos Peligrosos, Identificación y caracterización de emisiones desde fuentes fijas, Inventarios y Modelación de emisiones, Planes de Compensación de emisiones, Registro, declaración y medición de emisiones Grupos Electrógenos, Declaración de Emisiones de acuerdo a D.S. 138/95 del MINSAL, Planes de Manejo de Residuos Peligrosos y Evaluación de Impacto Acústico, entre otros.

- GHD: es una empresa consultora líder a nivel mundial en servicios de ingeniería, arquitectura y medio ambiente. Creada en 1928, GHD cuenta con más de 8.500 empleados en cinco continentes y presta servicios a clientes de los mercados mundiales

en las áreas de agua, energía y recursos, medio ambiente, infraestructura y edificaciones, y transporte.

En el caso del segundo tipo de empresas, los principales competidores en empresas especializadas en calidad de aire son:

- GeoAire Ambiental SpA, es una empresa de consultoría en medioambiente, la cual tiene un Equipo de Ingenieros Geógrafos y Ambientales con más de 20 años de experiencia en modelación y gestión de calidad del aire, con proyectos desarrollados en Chile y en el extranjero.
- Eula-Chile, Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Concepción. Desarrollan asesorías integrales en auditorías y asesorías energéticas, modelación atmosférica y calidad del aire y monitoreos ambientales, entre otros servicios especializados en otros componentes ambientales.
- Unidad de Calidad del Aire (UCA) de la Universidad Católica de Temuco. Es una unidad científica tecnológica de excelencia, dependiente de la Escuela de Ingeniería Ambiental, constituida por investigadores y científicos nacionales e internacionales. Sus servicios abarcan la investigación e innovación, asistencia técnica y capacitación en el área de gestión y control de la contaminación atmosférica, donde desarrollan los temas de modelación de la calidad del aire, pronóstico de Material Particulado y Ozono Troposférico, monitoreo de emisiones, inventario de emisiones y sistemas de tratamiento y control de contaminantes atmosféricos.

- Centro Mario Molina Chile, es un centro dedicado a estudios e investigación relacionados con calidad del aire y la promoción de energías y tecnologías más limpias, en Chile y la región latinoamericana.

- Modelación Ambiental Spa., es una empresa de servicios de consultoría en ingeniería civil hidráulica y ambiental. Entre sus servicios tienen modelación de dispersión de contaminantes y monitoreo y seguimiento ambiental.

- Asesorías Algoritmos Ltda., es una empresa fundada el año 1997, dedicada a proveer un apoyo técnico integral en el ámbito ambiental, a las empresas productivas y de gestión ambiental, a través del desarrollo de modelos matemáticos y mediciones de contaminantes atmosféricos, mediciones continuas y puntuales de chimeneas, mediciones de calidad del agua, ruido y vibraciones.

CAPÍTULO III
MARCO TEÓRICO

3.1. El Proyecto

Proyecto es una solución inteligente a un problema y resuelve una necesidad humana. La elaboración y ejecución de un proyecto supone la identificación de los medios necesarios para la obtención de los resultados y productos requeridos[39].

En este sentido puede haber diferentes ideas, inversiones de monto distinto, tecnología y metodologías con diverso enfoque, pero todas ellas destinadas a satisfacer las necesidades del ser humano en todas sus facetas, como pueden ser: educación, alimentación, salud, ambiente, cultura, etcétera.

El proyecto de inversión es un plan que, si se le asigna determinado monto de capital y se le proporcionan insumos de varios tipos, producirá un bien o un servicio, útil al ser humano o a la sociedad.

La evaluación de un proyecto de inversión, cualquiera que éste sea, tiene por objeto conocer su rentabilidad económica y social, de tal manera que asegure resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable. Sólo así es posible asignar los escasos recursos económicos a la mejor alternativa[40].

Un proyecto tiene estas características generales:

1. Tiene un marco de tiempo determinado definido en la forma de un momento de inicio y otro de terminación. Ello induce a concluir que un proyecto es temporal, lo que es

[39] GUILLERMO ESPINOZA (2002). *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental.*
[40] BACA URBINA G. (2010). *Evaluación de Proyectos.*

comúnmente deducido cuando todo el equipo encargado del mismo es desbandado o reasignado a otros encargos al terminar el proyecto.

2. Persigue un objetivo que debe ser claramente definido; debe tener medidas que faciliten su evaluación y preferiblemente que encajen en los planes estratégicos de su patrocinador. En las diversas fases de su desarrollo participan múltiples equipos de trabajo con el propósito de crear un producto, un servicio o un elemento que se puede llamar un Entregable único. Por ejemplo, muchísimos edificios han sido construidos, pero cada uno de ellos es único en el sentido que tienen diferentes propietarios, diferentes ubicaciones, diferentes contratistas, etcétera, que los hacen únicos, independientemente que hayan sido hechos inclusive con el mismo o similar plan de desarrollo.
3. El plan de un proyecto es desarrollado por etapas o en otros términos es ejecutado de un modo progresivo, a fin de que sus efectos económicos, sociales y ambientales pueden ser verificados en forma periódica.
4. Todo proyecto requiere de recursos de diversa naturaleza que, en la gran mayoría de los casos, están limitados y restringen en diversas formas su ejecución. La cantidad y calidad de los recursos tiene mucho que ver con los alcances de un proyecto, porque el logro final de un objetivo implica el cumplimiento de ciertos estándares de calidad, los cuales pueden provenir de políticas empresariales o de los establecidos en un ámbito económico o social determinado.

De la lista anterior, el PMI considera los tres primeros como fundamentales para definir como tal un proyecto. En términos de su administración, el PMI considera importante

estudiar también las interrelaciones entre el tiempo, el costo y los alcances que, en forma indirecta, afectan la calidad del producto; estos factores, en el esfuerzo de desarrollar un proyecto, se complementan con otros factores que a su vez pueden generar otras restricciones al proyecto, como lo son el riesgo, el grado de satisfacción del cliente o cualquier otro factor que limite las opciones[41].

3.1.1. Ciclo del Proyecto

El ciclo de vida de un proyecto comprende tres etapas clásicas: diseño, ejecución y abandono. En el diseño se aportan elementos de juicio para tomar decisiones sobre las necesidades de apoyo y elementos para la ejecución y terminación del proyecto.

Para ello se analizan aspectos técnicos, económicos, financieros, administrativos, institucionales y ambientales. La ejecución implica las etapas de construcción de obras, y la puesta en marcha y operación de actividades. El abandono se vincula a la fase de cierre[42].

La preparación de un proyecto pasa diversas etapas, entre las que se encuentran[43]:

- Anteproyecto preliminar; (prefactibilidad). El objetivo de esta etapa es demostrar la existencia de una alternativa viable, desde los puntos de vista técnicos y económicos, así como tomando en consideración otros criterios que en casos concretos pueden ser factores determinantes de la viabilidad de la alternativa.

- Anteproyecto definitivo; (factibilidad). En esta etapa debe profundizarse la alternativa viable presentada en la etapa anterior, pero también hay que estudiar las demás

[41] FRANCISCO J. TORO LÓPEZ (2011). *Gestion de proyectos con enfoque PMI al usar project y excel*, 1a. ed. -- Bogota: Ecoe Ediciones.
[42] GUILLERMO ESPINOZA (2002). *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental.*
[43] MARÍA YESSENIA ROJAS T. (2003*). Manual de Evaluación de Impacto Ambiental.*

alternativas que mejoren el proyecto desde el punto de vista de los objetivos fijados previamente.

- Proyecto definitivo; (diseño de ingeniería). Una vez aprobado el anteproyecto anterior se pasa a esta etapa, que abarca la ordenación y afinación final de los datos y todos los detalles de diseño, organización, etc., que estudian y ajustan a su vez como se llevará cabo la acción.

Por lo general, el ciclo de vida del proyecto atraviesa, en forma secuencial, cuatro etapas: definición, planeación, ejecución y entrega, tal como se presenta en Figura 6. El punto de partida se inicia en el momento en que arranca el proyecto. Los esfuerzos comienzan poco a poco, pero llegan a un punto máximo y luego caen hasta la entrega del proyecto al cliente.

1. **Etapa de definición**: se definen las especificaciones del proyecto; se establecen sus objetivos; se integran equipos; se asignan las principales responsabilidades.
2. **Etapa de planeación**: aumenta el nivel de esfuerzo y se desarrollan planes para determinar qué implicará el proyecto, cuándo se programará, a quién beneficiará, qué nivel de calidad debe mantenerse y cuál será el presupuesto.
3. **Etapa de ejecución**: una gran parte del trabajo del proyecto se realiza tanto en el aspecto físico como en el mental. Se elabora el producto físico (un puente, un informe, un programa de software). Se utilizan las mediciones de tiempo, costo y especificación como medios de control del proyecto. ¿El proyecto está dentro de lo programado, dentro de lo presupuestado y cumple con las especificaciones? ¿Cuáles son los pronósticos para cada una de estas medidas? ¿Qué revisiones/cambios se necesitan?

4. **Etapa de entrega**: comprende dos actividades: entregar el producto del proyecto al cliente y volver a desplegar los recursos del proyecto. Lo primero puede comprender la capacitación del cliente y la transferencia de documentos. Lo segundo implica, por lo general, la liberación del equipo/materiales del proyecto hacia otros proyectos y encontrar nuevas asignaciones para los integrantes del equipo[44].

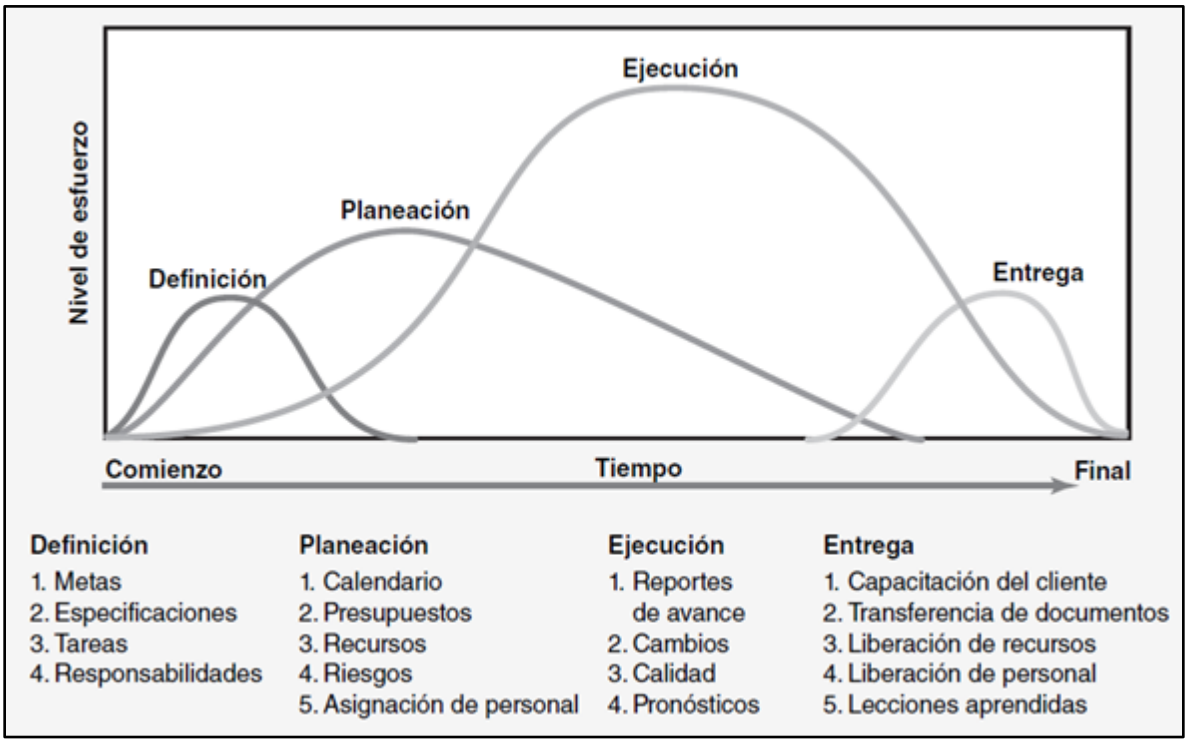


Figura 6: Ciclo de vida del proyecto.

Fuente: CLIFFORD F. GRAY Y ERIK W. LARSON (2009). Administración de Proyectos.

3.2. El proyecto y su Organización

Las estructuras organizacionales son uno de los elementos que se deben tener en cuenta a la hora de gestionar un proyecto, ya que es un factor que puede afectar de forma muy

[44] CLIFFORD F. GRAY Y ERIK W. LARSON (2009). *Administración de Proyectos*, Cuarta edición McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

significativa a la disponibilidad de recursos e influir de forma determinante en el modo de dirigir los proyectos[45].

La cultura, estilo y estructura de una organización influyen en la forma en que se llevan a cabo sus proyectos. También pueden influir en el proyecto el nivel de madurez de la dirección de proyectos de la organización y sus sistemas de dirección de proyectos. Cuando en el proyecto participan entidades externas, como las que forman parte de una unión temporal de empresas o de un convenio de colaboración, el proyecto será influenciado por más de una organización[46].

3.2.1. Estructura de la Organización[47]

La estructura de la organización es un factor ambiental de la empresa que puede afectar a la disponibilidad de recursos e influir en el modo de dirigir los proyectos. Las estructuras abarcan desde una estructura funcional hasta una estructura orientada a proyectos, con una variedad de estructuras matriciales entre ellas. La Tabla 4 muestra las características clave de los principales tipos de estructuras de una organización en relación con los proyectos.

Tabla 4: Influencia de la Estructura de la Organización en los Proyectos.

Estructura de la organización / **Características del Proyecto**	**Funcional**	**Matricial**			**Orientada a Proyectos**
		Débil	**Equilibrada**	**Fuerte**	
Autoridad del Director del Proyecto	Poca o Ninguna	Baja	Baja a Moderada	Moderada a Alta	Alta a Casi Total

[45] ITM PLATFORM (2015). *Estructuras organizacionales y gestión de proyectos*, obtenido de: http://www.itmplatform.com/es/blog/estructuras-organizacionales-y-gestion-de-proyectos/
[46] PMI (2013). *Guía del PMBOOK – Quinta Edición.*
[47] PMI (2013). *Guía del PMBOOK – Quinta Edición.*

Estructura de la organización / Características del Proyecto	Funcional	Matricial			Orientada a Proyectos
		Débil	Equilibrada	Fuerte	
Disponibilidad de Recursos	Poca o Ninguna	Baja	Baja a Moderada	Moderada a Alta	Alta a Casi Total
Quién gestiona el presupuesto del proyecto	Gerente Funcional	Gerente Funcional	Mixta	Director del Proyecto	Director del Proyecto
Rol del Director del Proyecto	Tiempo Parcial	Tiempo Parcial	Tiempo Completo	Tiempo Completo	Tiempo Completo
Personal Administrativo de la Dirección de Proyectos	Tiempo Parcial	Tiempo Parcial	Tiempo Parcial	Tiempo Completo	Tiempo Completo

Fuente: PMBOK Quinta Edición.

La organización funcional clásica, como muestra el Figura 7, consiste en una jerarquía donde cada empleado tiene un superior claramente definido. En el nivel superior los miembros de la plantilla se agrupan por especialidades, tales como producción, comercialización, ingeniería y contabilidad. A su vez, las especialidades pueden subdividirse en unidades funcionales específicas, como la ingeniería mecánica y la ingeniería eléctrica. Cada departamento de una organización funcional realizará el trabajo del proyecto de forma independiente de los demás departamentos.

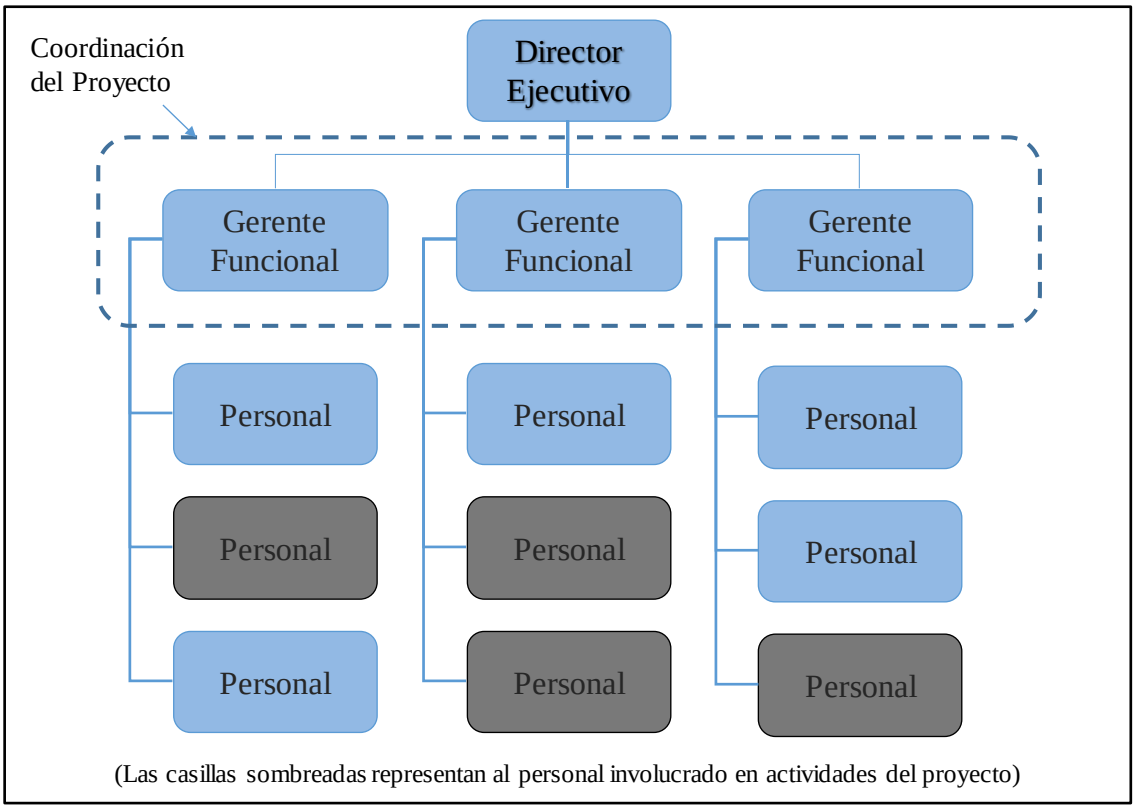


Figura 7: Organización funcional.

Fuente: PMBOK Quinta Edición.

Las organizaciones matriciales, como se muestra en Figura 8 a Figura 10, reflejan una mezcla de características de las organizaciones funcionales y de las orientadas a proyectos. Las organizaciones matriciales pueden clasificarse como débiles, equilibradas o fuertes, dependiendo del nivel relativo de poder e influencia entre gerentes funcionales y directores de proyecto. Las organizaciones matriciales débiles mantienen muchas de las características de una organización funcional, y el rol del director del proyecto es más bien el de un coordinador o facilitador. Un facilitador de proyectos trabaja como ayudante y coordinador de comunicaciones.

El facilitador no puede tomar o hacer cumplir las decisiones de manera personal. Los coordinadores de proyectos tienen poder para tomar algunas decisiones, gozan de cierta autoridad y dependen de un gerente de nivel superior. Las organizaciones matriciales fuertes tienen muchas de las características de la organización orientada a proyectos: tienen directores de proyecto con dedicación plena y con una autoridad considerable, así como personal administrativo dedicado a tiempo completo. Si bien la organización matricial equilibrada reconoce la necesidad de contar con un director del proyecto, no le confiere autoridad plena sobre el proyecto ni sobre su financiamiento. La Tabla 4 proporciona detalles adicionales sobre las diferentes estructuras matriciales que puede adoptar una organización.

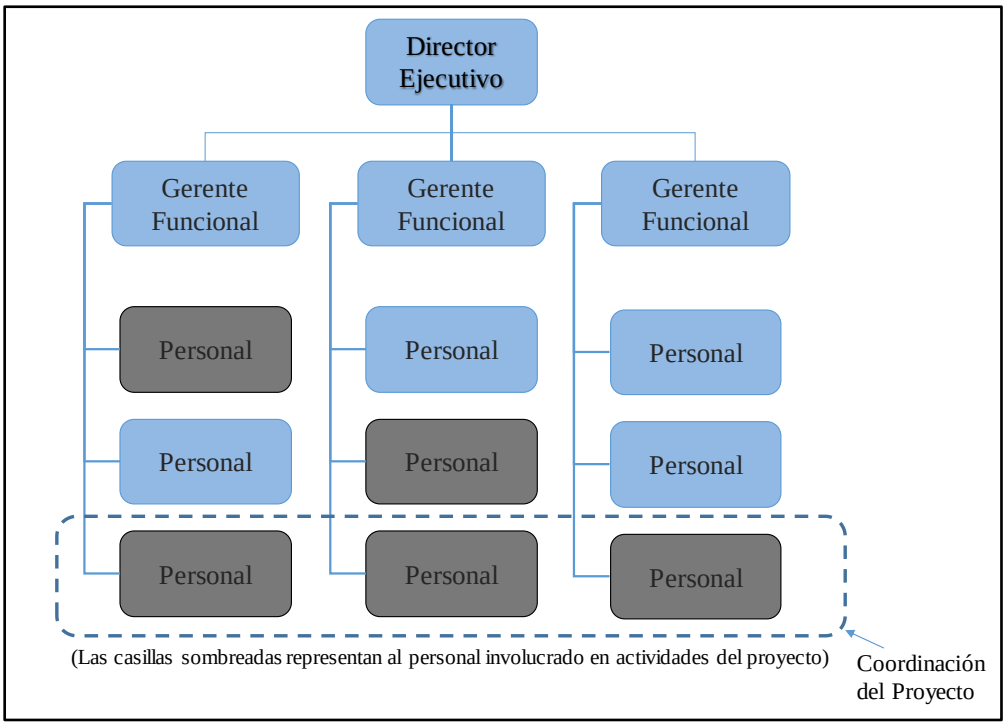


Figura 8: Organización Matricial Débil.

Fuente: PMBOK Quinta Edición.

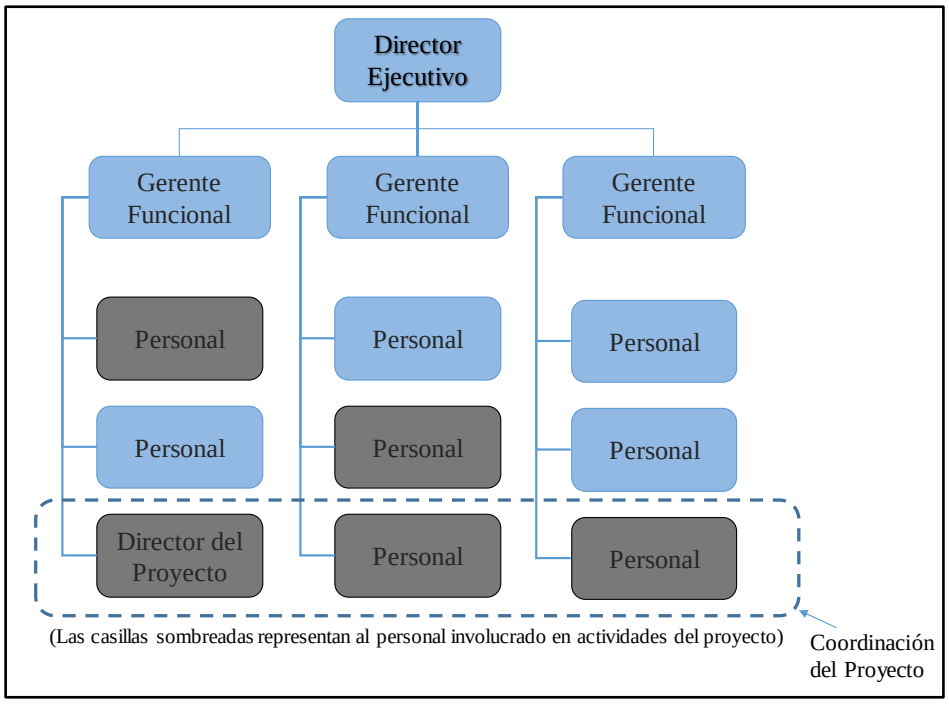


Figura 9: Organización Matricial Equilibrada.

Fuente: PMBOK Quinta Edición.

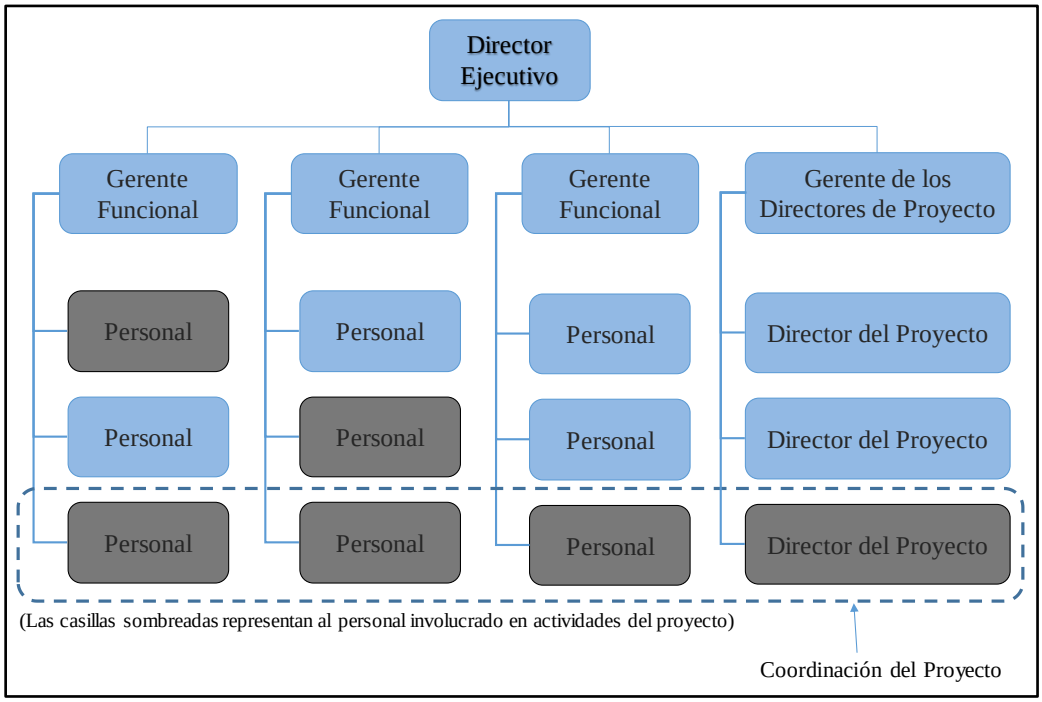


Figura 10: Organización Matricial Fuerte.

Fuente: PMBOK Quinta Edición.

En el extremo opuesto a la organización funcional, se encuentra la organización orientada a proyectos, como se muestra en Figura 11. En una organización orientada a proyectos, los miembros del equipo a menudo están ubicados en un mismo lugar. La mayor parte de los recursos de la organización están involucrados en el trabajo de los proyectos y los directores de proyecto tienen bastante independencia y autoridad. A menudo se utilizan técnicas de colaboración virtual para lograr beneficios similares a los de los equipos ubicados en un mismo lugar. Las organizaciones orientadas a proyectos suelen contar con unidades organizacionales denominadas departamentos, sin embargo pueden reportar directamente al director del proyecto o bien prestar servicios de apoyo a varios proyectos.

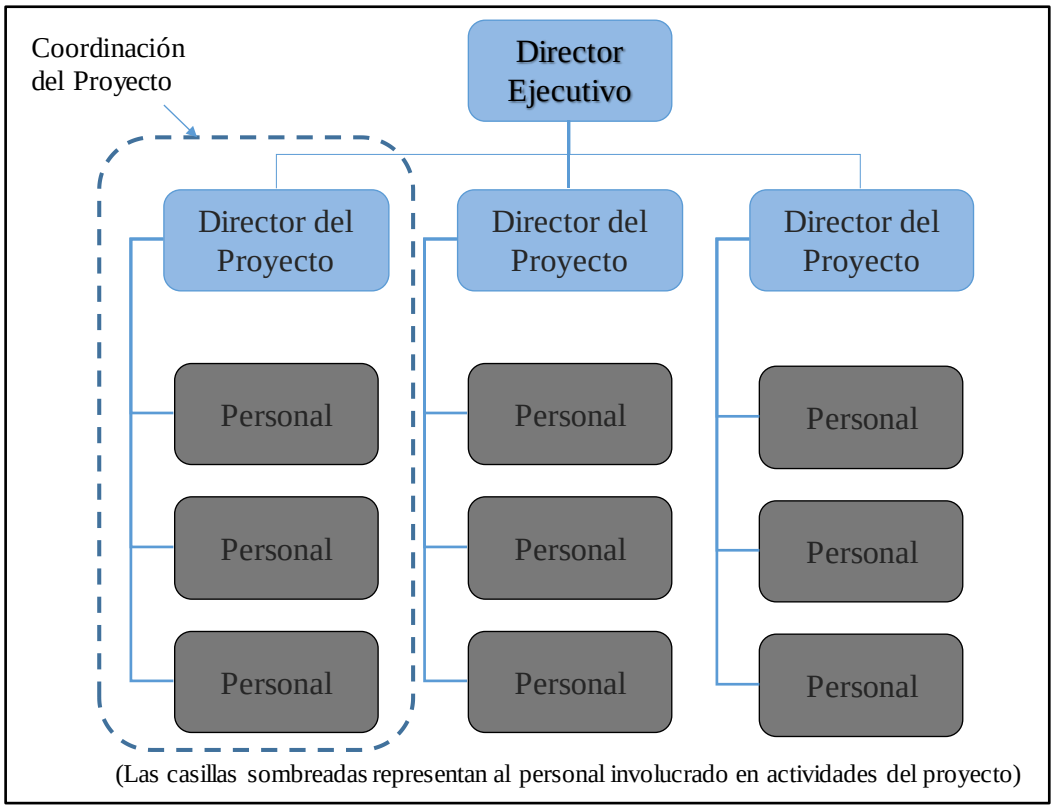


Figura 11: Organización orientada a Proyectos.

Fuente: PMBOK Quinta Edición.

Muchas organizaciones, a menudo conocidas como organizaciones compuestas, presentan todas estas estructuras a diferentes niveles, como se muestra en Figura 12. A modo de ejemplo, incluso una organización básicamente funcional puede crear un equipo de proyecto especial para que se encargue de un proyecto crítico. Dicho equipo podría tener muchas de las características de un equipo de proyecto de una organización orientada a proyectos. El equipo puede incluir personal a tiempo completo procedente de diferentes departamentos funcionales, desarrollar su propio conjunto de procedimientos operativos e incluso funcionar fuera de la estructura formalizada estándar de dependencia durante el período de ejecución del proyecto. Del mismo modo, una organización puede dirigir la mayor parte de sus proyectos como organización matricial fuerte, pero permitir que departamentos funcionales dirijan proyectos pequeños.

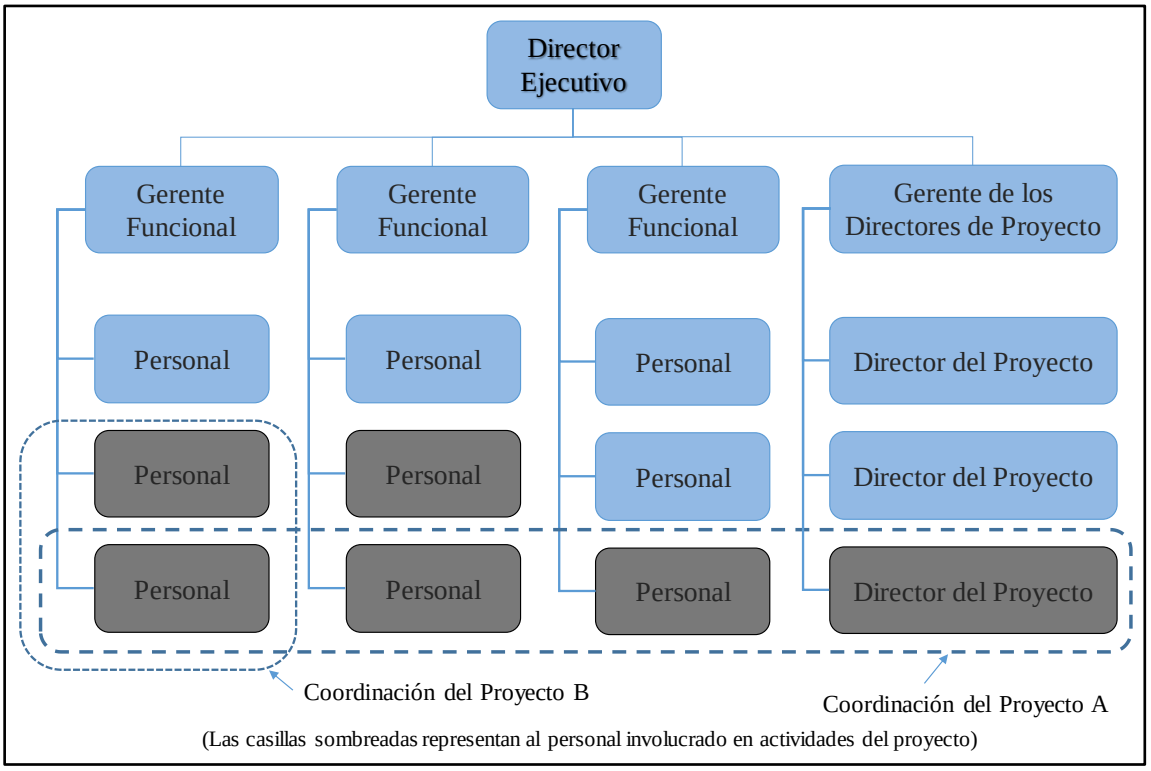


Figura 12: Organización compuesta.

Fuente: PMBOK Quinta Edición.

Muchas estructuras organizacionales incluyen los niveles estratégicos, de mandos intermedios y operativos. El director del proyecto puede interactuar con los tres niveles, dependiendo de factores tales como:

- La importancia estratégica del proyecto,
- La capacidad de los interesados para influir en el proyecto,
- El grado de madurez en la dirección de proyectos,
- Los sistemas de dirección de proyectos, y
- Las comunicaciones en la organización.

Esta interacción determina características del proyecto, tales como:

- El grado de autoridad del director del proyecto,
- La disponibilidad y la gestión de los recursos,
- La entidad que controla el presupuesto del proyecto,
- El rol del director del proyecto, y
- La composición del equipo del proyecto.

3.3. Gestión y Planificación de Proyectos[48]

Dado que la gestión de proyecto es una disciplina relativamente nueva, no nos debe sorprender que coexistan muchas definiciones de ella. La definición oficial proporcionada por el Instituto de Gestión de Proyectos (PMI, 2013) dice: "La gestión de proyecto, entonces, es el uso del conocimientos, habilidades y técnicas para ejecutar proyectos de manera eficaz y

[48] DR. WILLIAM WALLACE (2014). *Gestión de Proyectos.*

eficiente. Se trata de una competencia estratégica para organizaciones, que les permite vincular los resultados de un proyecto con las metas comerciales para posicionarse mejor en el mercado".

La definición oficial proporcionada por la Asociación para la Gestión de Proyectos (APM, 2013) dice: "La gestión de proyecto se enfoca en controlar la introducción del cambio deseado. Esto implica:

- Comprender las necesidades de los grupos de interés
- Planificar qué se necesita hacer, cuándo, por quién y bajo qué estándares
- Crear y motivar al equipo
- Coordinar el trabajo de diferentes personas
- Monitorear el trabajo que se realiza
- Gestionar cualquier cambio del plan
- Alcanzar resultados satisfactorios".

Ejemplos de otras definiciones típicas incluyen:

Los procesos de diseño e implementación necesarios para finalizar un proyecto a tiempo, dentro del costo y al nivel de desempeño requerido.

La organización, la planificación y el control de un proyecto requeridos para finalizar a tiempo, dentro del costo y al nivel de desempeño requerido.

La mayoría de los autores de literatura de gestión de proyecto concuerdan en que la gestión de proyecto se trata de establecer y, después, alcanzar (o superar) objetivos de tiempo, costo y desempeño (calidad). Progresivamente, los autores incluyen la variable de seguridad,

que cobra más y más importancia como resultado del aumento de disposiciones estatutarias sobre salud y seguridad. Algunos autores también incluyen la variable de riesgo, pues la necesidad económica conduce, cada vez más, a los proyectos hacia estados de riesgo más y más alto.

Una definición posible sería: "las habilidades y los procesos de planificación y control necesario para finalizar un proyecto con recursos del proyecto respetando o mejorando los límites de tiempo, costo, calidad y seguridad a un nivel de riesgo aceptable".

Esta es solamente una definición posible, y se pueden crear varias alternativas. El primero que se debe recordar es que la gestión de proyecto consiste en planificar, implementar y finalizar un proyecto dentro de ciertos límites. Por lo general, estos límites se relacionan con el tiempo, el costo, el desempeño y, cada vez más, con la seguridad y el riesgo.

Las técnicas clásicas de planificación y control toman en cuenta la planificación y el control de tiempo, costo y desempeño. No obstante, los enfoques tradicionales suelen considerar a estas variables como elementos independientes, que se planifican y monitorean mediante sistemas completamente diferentes. Por ejemplo, los sistemas de planificación y generación de informes de costos tradicionales no se vinculan, necesariamente, de manera directa con los sistemas de programación de recursos relevantes. Además, tradicionalmente, los informes están preparados por distintos consultores, los cuales son responsables de distintos aspectos del proyecto. Por lo general, los consultores de costos elaboran los informes de costo de manera independiente, mientras que el personal técnico se encarga de los informes de progreso de implementación. Estos enfoques tradicionales funcionaron satisfactoriamente durante, aproximadamente, el último siglo, pero se están volviendo cada vez más obsoletos a

medida que los proyectos crecen, se complejizan y se aceleran. En proyectos grandes es imprescindible que los informes integren datos de tiempo, costo y niveles de desempeño.

Esta idea de informes integrados es fundamental para la gestión de proyecto. Los gerentes de proyecto tienen que poder hacer observaciones de tiempo, costo y niveles de desempeño durante el transcurso del proyecto y percibir cómo estos niveles se relacionan entre sí. El tiempo, el costo y la calidad se consideran, a menudo, como criterios de éxito de los proyectos ya que, en última instancia, son estas las variables que determinan si un proyecto es exitoso o no. En la mayoría de los casos, no es posible maximizar ni minimizar estos criterios, y el objetivo del gerente de proyecto es alcanzar un equilibrio satisfactorio de los tres. Este concepto se muestra en la Figura 13.

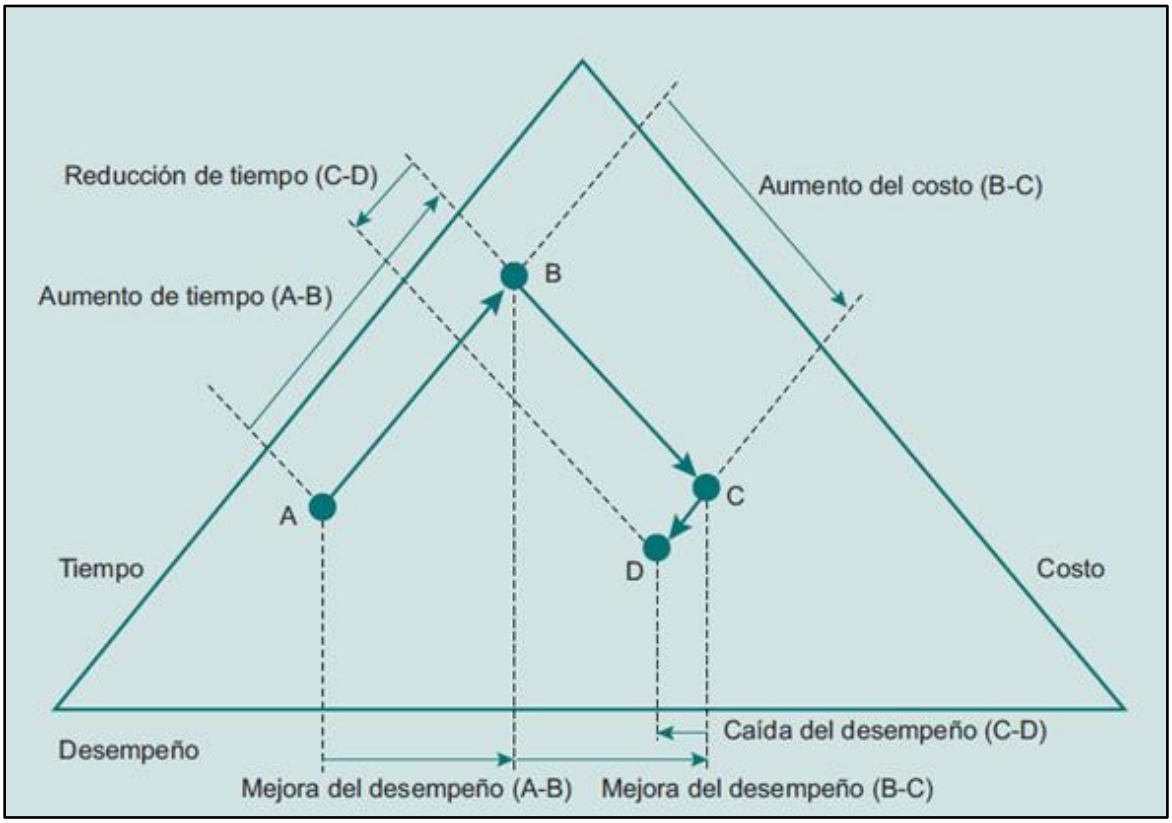


Figura 13: Típica función continua de costo-tiempo-calidad de la gestión de proyecto.
Fuente: Dr. William Wallace (2014), Gestión de Proyectos.

La Figura 13 podría representar el equilibrio entre el tiempo, el costo y el desempeño para un nuevo producto proyectado que comprende una serie de componentes diversos. El punto A representa la condición de un producto en un momento dado. Esta posición podría representar el estándar de producción con una tasa de defectos inaceptablemente alta. Como consecuencia, se debe mejorar el desempeño general del sistema. En este caso, esto se logra dedicando más tiempo al montaje de los componentes involucrados. Por lo tanto, el producto se mueve de la posición A a la B. El tiempo aumenta y el desempeño mejora dado que un montaje más cuidadoso conduce a un producto más confiable. La posición B podría representar el periodo de tiempo máximo que puede dedicarse a montar el producto. El producto en sí mismo puede ser parte de un producto más grande para el cual hay un tiempo de montaje mínimo establecido.

La única manera de mejorar el desempeño es utilizar componentes de calidad superior y, por lo tanto, más costosos. Si el producto se mueve a la posición C, aumenta el desempeño mientras que el costo de producción sube significativamente. Entonces, podría imponerse un nuevo requisito que diga que el tiempo de montaje es demasiado largo y debe reducirse en un 50%. Si no hay más dinero disponible para aumentar el costo, se debe aplacar el desempeño para lograr el ahorro de tiempo deseado. Los gerentes de proyecto deben ser capaces de imaginar este tipo de equilibrio entre tiempo, costo y desempeño y deben poder ver qué efecto tiene un cambio en una variable en las demás.

3.4. Project Management Institute (PMI) [49]

El Project Management Institute (PMI) es una de las asociaciones profesionales de miembros más grandes del mundo que cuenta con medio millón de miembros e individuos titulares de sus certificaciones en 180 países. Es una organización sin fines de lucro que avanza la profesión de la dirección de proyectos a través de estándares y certificaciones reconocidas mundialmente, a través de comunidades de colaboración, de un extenso programa de investigación y de oportunidades de desarrollo profesional.

El PMI es:

- **Certificación**: El PMI ofrece una serie de certificaciones que reconocen el conocimiento y la competencia, incluyendo la certificación del Profesional en Dirección de Proyectos (PMP)® que cuenta con más de 370.000 titulares alrededor del mundo. Los salarios y las oportunidades de desarrollo profesional de los individuos titulares de nuestras certificaciones demuestran que los empleadores reconocen el valor que entregan los profesionales capacitados.

- **Estándares mundiales**: Los estándares del PMI para la dirección de proyectos, programas, y portafolios son los más reconocidos en la profesión, el modelo para la dirección de proyectos en el gobierno y en los negocios.

  Miles de voluntarios del PMI con experiencia en este tipo de proyectos, desarrollan y actualizan estos estándares, y proveen un lenguaje común para la dirección de proyectos alrededor del mundo.

[49] PMI PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. *¿Qué es PMI?*, obtenido en: https://americalatina.pmi.org/latam/aboutus/whatispmi.aspx

- **Capítulos y comunidades de práctica**: La mayoría de las actividades del PMI se dan lugar en más de 250 capítulos geográficos y 30 comunidades de práctica según las industrias o intereses comunes. Estas comunidades, que están abiertas a los miembros del PMI y son dirigidas por voluntarios, fomentan el compartir el conocimiento y la vinculación entre profesionales, que es una parte central de nuestra misión.

- **Capacitación y educación**: PMI ofrece un amplio rango de oportunidades de desarrollo profesional, desde nuestros SeminarsWorld® y cursos a distancia, hasta los congresos globales del PMI y otros eventos.

  También se puede capacitar con alguno de los más de 1.400 Proveedores de Educación Registrados con PMI (REPs) para capacitación en dirección de proyectos y desarrollo continuo. Para quienes cursan programas universitarios, el Centro de Acreditación Global del PMI para los Programas de Educación en Dirección de Proyectos ha reconocido más de 60 programas a nivel de grado y posgrado.

- **Investigación**: El Programa de Investigación del PMI, el más extenso en este campo, avanza la ciencia, la práctica, y la profesión de la dirección de proyectos. El mismo expande los fundamentos para la dirección de proyectos a través de proyectos de investigación, de simposios, y de encuestas, y comparte este conocimiento mediante sus publicaciones, sus conferencias de investigación y sus sesiones de trabajo.

- **Gobernabilidad**: 15 miembros voluntarios del Directorio gobiernan al PMI. Cada año los miembros del PMI votan por cinco directores para períodos de tres años. Tres directores elegidos por otros miembros de la junta directiva sirven como oficiales por períodos de un año.

El Grupo de Dirección Ejecutivo y el personal profesional del Centro de Operaciones Globales del PMI ubicado en la ciudad de Newtown Square en Pennsylvania, USA, guía las operaciones diarias del PMI.

3.4.1. PMBOK[50]

La Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK®) proporciona pautas para la dirección de proyectos individuales y define conceptos relacionados con la dirección de proyectos. Describe asimismo el ciclo de vida de la dirección de proyectos y los procesos relacionados, así como el ciclo de vida del proyecto.

La Guía del PMBOK® contiene el estándar, reconocido a nivel global y la guía para la profesión de la dirección de proyectos. Por estándar se entiende un documento formal que describe normas, métodos, procesos y prácticas establecidos. Al igual que en otras profesiones, el conocimiento contenido en este estándar evolucionó a partir de las buenas prácticas reconocidas de los profesionales dedicados a la dirección de proyectos que han contribuido a su desarrollo.

Las primeras dos secciones de la Guía del PMBOK® presentan una introducción de los conceptos clave en el ámbito de la dirección de proyectos. La Sección 3 resume los Grupos de Procesos y proporciona una visión general de las interacciones entre procesos dentro de las diez Áreas de Conocimiento y los cinco Grupos de Procesos. Las Secciones 4 a 13 son la guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. Estas secciones amplían la información contenida en el estándar mediante la descripción de las entradas y salidas, así como de las herramientas y técnicas utilizadas para dirigir proyectos. El Anexo A1 es el estándar para la

[50] PMI (2013). *Guía del PMBOOK – Quinta Edición.*

dirección de proyectos y presenta los procesos, las entradas y las salidas que se consideran generalmente buenas prácticas en la mayoría de los proyectos, la mayoría de las veces.

La aceptación de la dirección de proyectos como profesión indica que la aplicación de conocimientos, procesos, habilidades, herramientas y técnicas puede tener un impacto considerable en el éxito de un proyecto.

La Guía del PMBOK® identifica ese subconjunto de fundamentos para la dirección de proyectos generalmente reconocido como buenas prácticas. “Generalmente reconocido” significa que los conocimientos y prácticas descritos son aplicables a la mayoría de los proyectos, la mayoría de las veces, y que existe consenso sobre su valor y utilidad. “Buenas prácticas” significa que se está de acuerdo, en general, en que la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas puede aumentar las posibilidades de éxito de una amplia variedad de proyectos. "Buenas prácticas" no significa que el conocimiento descrito deba aplicarse siempre de la misma manera en todos los proyectos; la organización y/o el equipo de dirección del proyecto son los responsables de establecer lo que es apropiado para cada proyecto concreto.

La Guía del PMBOK® también proporciona y promueve un vocabulario común para el uso y la aplicación de los conceptos de la dirección de proyectos dentro de la profesión de la dirección de proyectos. Un vocabulario común es un elemento esencial en toda disciplina profesional. El Léxico de Términos de Dirección de Proyectos del PMI proporciona el vocabulario profesional de base que puede ser utilizado de manera consistente por directores de proyecto, directores de programa, directores de portafolios y otros interesados.

El Anexo A1 constituye una referencia fundamental para los programas de desarrollo profesional de la dirección de proyectos del PMI. El Anexo A1 continúa evolucionando junto con la profesión y por lo tanto no incluye todo; este estándar constituye una guía, más que una metodología específica. Se pueden utilizar diferentes metodologías y herramientas (p.ej., ágil, cascada, PRINCE2) para implementar el marco de la dirección de proyectos.

3.5. Normas ISO[51]

Las normas ISO son documentos que especifican requerimientos que pueden ser empleados en organizaciones para garantizar que los productos y/o servicios ofrecidos por dichas organizaciones cumplen con su objetivo. Hasta el momento **ISO (International Organization for Standardization)**, ha publicado alrededor de 19.500 normas internacionales que se pueden obtener desde la página oficial de ISO.

El objetivo perseguido por las normas ISO es asegurar que los productos y/o servicios alcanzan la calidad deseada. Para las organizaciones son instrumentos que permiten minimizar los costos, ya que hacen posible la reducción de errores y sobre todo favorecen el incremento de la productividad.

3.5.1. ISO 21500[52]

Es un conjunto de indicaciones o pautas sobre Dirección y Gestión de Proyectos. Estas pautas concretan la forma en la que una compañía gestiona sus normas en relación a los proyectos, los procesos, los tiempos o los riesgos entre otros.

[51] ISOTOOLS. *Normas ISO*, Obtenido en: https://www.isotools.org/normas/
[52] ISOTOOLS (2017). *Norma ISO 21500: Guía para la gestión de proyectos*, obtenido de: https://www.isotools.org/2017/07/11/norma-iso-21500-guia-gestion-proyectos/

La norma ISO 21500 ha sido elaborada como una guía cuyo objetivo principal es conseguir dar una orientación a las organizaciones en su gestión. Por ello, la norma ISO 21500 no incluye requisitos como tal y no ha sido elaborada con ningún tipo de fin de certificación. Esta es una de las cuestiones que difiere con el estándar de sistemas de gestión de calidad, ISO 9001, el cual ofrece una descripción de los procedimientos y sistemas que se recomiendan a las compañías para la mejora de los procesos y cuestiones operacionales.

Esta norma ISO 21500 da soporte a uno de los principales motores económicos mundiales como son los proyectos. Conocer la gestión y saber gestionar los proyectos es una cuestión que cada día está adquiriendo una mayor importancia. Como ya hemos mencionado, la norma ISO 21500 ofrece una descripción detallada y muy explicativa de los conceptos y procesos que se consideran relevantes en esta línea, por eso, su finalidad es la ayuda a directores de proyecto, principiantes o experimentados, a aplicar las mejores prácticas en la gestión de sus proyectos, mejorando los resultados de negocio y concluyendo sus misiones con éxito. La norma europea puede hacerse extensible a multitud de áreas, lo que amplía aún más su utilidad. Está diseñada para permitir su aplicación a:

- Cualquier tipo de organización. Incluidas las organizaciones públicas, privadas o comunitarias.
- Proyectos de diversa índole. Independientemente de su complejidad, tamaño y duración.

El principal objetivo de la norma ISO 21500 es recomendar a las distintas compañías una forma profesional de elaborar los proyectos cumpliendo con los estándares más exigentes, demandados por el mercado global. Esta norma ofrece una descripción de alto nivel acerca de

los diferentes conceptos y procesos que componen las buenas prácticas en dirección y gestión de proyectos.

Dado que ofrece una descripción de alto nivel sobre conceptos y proyectos, los nuevos directores de proyectos junto con los gerentes con experiencia pueden servirse de la norma ISO 21500 para lograr una mejora del éxito del proyecto y la consecución de resultados empresariales. La norma ISO 21500 persigue la estabilización y sistematización de tareas, así como la homogeneización de las actividades. Es decir, pretende que el resultado de un proceso sea el mismo independientemente de la persona que lo realiza.

Gracias a la implementación de la norma ISO 21500 se desea conseguir que las compañías conecten sus objetivos con proyectos exitosos, potencien la mejora continua en toda la organización, tener en cuenta las sinergias positivas o los posibles conflictos con las partes interesadas antes de que aparezcan, mejorar la empleabilidad y movilidad de los usuarios y la capacidad para trabajar en proyectos internacionales.

Los beneficios de la aplicación de norma ISO 21500 en la compañía incluyen:

- Fomento de la transferencia de conocimientos entre proyectos y organizaciones.
- Mejora de las condiciones de ejecución de las diferentes etapas de los proyectos.
- Fomentar los procesos de licitación y su eficiencia.
- Promoción del uso de una terminología de gestión de proyectos coherente.
- Aumento de la flexibilidad de los trabajadores de gestión de proyectos.
- Adecuación de la capacidad de los equipos de proyecto para su trabajo en entornos internacionales.

3.6. Diagrama Causa-Efecto

El diagrama Causa-Efecto, diagrama de Ishikawa o diagrama espina de pescado es una herramienta gráfica utilizada para recopilar las posibles causas de un problema o identificar los diferentes aspectos necesarios para alcanzar un efecto específico, organizándolos por factores.

En la ejecución de los procesos pueden presentarse resultados o efectos no esperados o resultados que tienen alta variabilidad, que comprometan el cumplimiento de los objetivos del proceso. Por esta razón, es importante identificar las posibles causas que estén incidiendo en la ocurrencia del efecto para posteriormente analizarlas y establecer su prioridad antes de emprender acciones específicas.

El primer paso para su construcción es identificar el proceso y definir claramente el problema o efecto por analizar, situándolo en el extremo derecho de la flecha central. Del mismo modo, deben definirse los factores que se encuentran en los extremos de las líneas secundarias; para el ejemplo se han identificado ocho factores, los cuales pueden ajustarse conforme a la particularidad del caso.

Una vez se ha construido la estructura del diagrama, se procede a realizar una lluvia de ideas organizada por factor, donde al grupo se le pregunte, como aparece en el ejemplo, ¿por qué las personas pueden ser causa del efecto?, y cada respuesta irá registrándose como una línea dependiente del factor Personas.

Al finalizar el ejercicio se completa el diagrama y posteriormente puede analizarse la relevancia de las diferentes causas identificadas y establecer un orden de prioridad, mediante un diagrama de Pareto[53].

3.6.1. Construcción del Diagrama

Para desarrollar el diagrama de espina se deben seguir los siguientes pasos[54]:

1. Definir y determinar claramente el problema o efecto que se va a analizar, escribiéndolo dentro de un recuadro en el lado derecho del papel.

2. Identificar los factores o causas que originan el efecto, mediante un brainstorming. La enumeración de las causas debe ser lo más amplia y completa posible. Para clasificar las causas encontradas a menudo se utiliza como referencia las categorías de las cuatro M definidas por Ishikawa: mano de obra, maquinaria, materiales y métodos, aunque pueden ser cualesquiera que resulten apropiadas. Estas categorías son los rótulos de las espinas. En esta fase es importante no criticar ninguna aportación realizada por los miembros del grupo y animar a la participación.

3. Representación del diagrama. Una vez enumeradas todas las causas debemos ir colocándolas en el diagrama agrupando las de similar naturaleza, aunque también se puede hacer directamente conforme éstas vayan surgiendo. Algunas veces, una misma causa puede ser colocada en más de una espina, por lo que, si no hay consenso respecto

[53] ALDANA DE VEGA, L. Á., ÁLVAREZ BUILES, M. P., BERNAL TORRES, C. A., DÍAZ BECERRA, M. I., GONZÁLEZ SOLER, C. E., GALINDO URIBE, Ó. D., & VILLEGAS CORTÉS, A. (2010). *Administración por calidad.*
[54] CAMISÓN, C., CRUZ, S., & GONZÁLEZ, T. (2006). *Gestión de la calidad: Conceptos, enfoques, modelos y sistemas.*

a la ubicación, deberá colocarse repetidamente en todos los apartados o espinas necesarias.

4. Análisis de las relaciones causa-efecto que derivan de la construcción del diagrama. En esta fase se examinan críticamente las causas y se determinan las causas más probables, y entre ellas las más importantes, de manera que podamos jerarquizarlas y conocer el orden de prioridad a la hora de emprender acciones.

3.7. Modelación de Calidad de Aire

Una primera diferencia debe hacerse en cuanto a los dos tipos básicos de modelos existentes: modelos matemáticos y modelos físicos. Los modelos físicos son representaciones a pequeña a escala de la dispersión atmosférica; por ejemplo, réplica de una determinada área mediante túneles de viento. Los modelos numéricos o matemáticos son aquellos que están basados en determinados sistemas conceptuales siguiendo principios físico-químicos, e implementados en programas de ordenador. A partir de ahora nos referiremos exclusivamente a este segundo tipo de modelos.

En los modelos numéricos, cabe hacer también la diferencia entre los deterministas y los estadísticos/estocásticos. Así como también la diferencia entre los denominados modelos matemáticos de dispersión atmosférica: emisión-dispersión-inmisión; y los modelos de tipo receptor: inmisión-emisión.

Los modelos estadísticos, también llamados empíricos, permiten una diagnosis de la calidad del aire por medio de la extrapolación de las medidas obtenidas en una determinada zona geográfica. Dado un conjunto de observaciones de medidas de calidad de aire y

meteorológicas, se calculan las relaciones estadísticas entre estas variables usando técnicas de regresión o de análisis espectral, u otras técnicas estadísticas. Un modelo de tipo estadístico, es una ecuación empírica que expresa la relación entre la calidad del aire y otras variables representativas de las emisiones y, generalmente, de la meteorología.

Un modelo matemático de calidad del aire es un sistema por el cual se relacionan las emisiones de contaminantes emitidos a la atmósfera con las concentraciones de estos contaminantes en el aire a nivel del suelo, en cualquier punto, es decir las concentraciones de inmisión, mediante la aplicación de las leyes físicas y químicas traducidas en las ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos, termodinámica y otras representativas de las reacciones químicas.

La modelización matemática de los problemas de contaminación atmosférica en regiones de orografía compleja requiere el conocimiento de los flujos de aire regionales y los comportamientos locales del transporte de los contaminantes, así como de los factores que afectan a sus transformaciones químicas y a los procesos de deposición o depósito.

Los modelos matemáticos, de tipo determinista, que tratan de simular los complejos procesos atmosféricos relacionados con la contaminación del aire están basados en las ecuaciones de conservación de masa de cada uno de los contaminantes. Considerando los efectos de los procesos dinámicos que influyen en el equilibrio de masa y térmicos de un volumen de aire determinado. Entre estos procesos figuran la dispersión, la difusión turbulenta y las reacciones químicas, así como las fuentes y sumideros de contaminantes.

Evidentemente, los modelos basados en ecuaciones de conservación de la masa, o de continuidad, no pueden prever ni las variaciones del viento (velocidad y dirección), para lo

que hace falta las ecuaciones de cantidad de movimiento, ni las variaciones de la temperatura en función de la altura (hacen falta las ecuaciones de energía). Hay que añadir por tanto los datos referentes al viento, a la temperatura, a la presión, etc.; y a las emisiones, más la definición de las condiciones iniciales y de contorno[55].

3.7.1. Modelo Meteorológico WRF

El modelo de pronóstico e investigación del tiempo, WRF por su nombre en inglés (Weather Research and Forecasting), es un modelo meteorológico que actualmente lo mantiene y da soporte la división de meteorología de meso y micro escala de NCAR (National Center for Atmospheric Research).

WRF es un sistema de predicción numérica de meteorología de mesoscala de nueva generación. Es sucesor del modelo MM5. El desarrollo de WRF ha sido un esfuerzo colaborativo, principalmente por el National Center for Atmospheric Research (NCAR), la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), los National Centers for Environmental Prediction (NCEP) y el Forecast Systems Laboratory (FSL), la Air Force Weather Agency (AFWA), la Naval Research Laboratory, Oklahoma University, y la Federal Aviation Administration (FAA)[56].

Cuenta con dos núcleos dinámicos, un sistema de asimilación de datos y una arquitectura de software que facilita el cálculo paralelo y extensibilidad del sistema. El modelo

[55] IDEAM, ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. (s.f.). *Anexo 9 Guía para la Aplicación de Modelos de Calidad del Aire.*

[56] WINDGURU (s.f.), *Modelos meteorológicos utilizados por Windguru*, obtenido de: http://www.windguru.cz/es/help_index.php?sec=models.

sirve para una amplia gama de aplicaciones meteorológicas, a través de escalas de decenas de metros hasta miles de kilómetros[57].

El sistema de Modelación de Investigación Avanzada de WRF (ARW) ha estado en desarrollo durante los últimos años. La versión actual es la N° 3, disponible a partir de abril de 2008. El ARW está diseñado para ser un sistema de simulación flexible, el estado de la técnica atmosférica que es portátil y eficiente en las plataformas de computación en paralelo disponibles. El ARW es adecuado para su uso en una amplia gama de aplicaciones[58], que incluyen:

- Estudios meteorológicos
- Predicción numérica del tiempo (NWP Numerical Weather Prediction) en tiempo real
- Simulaciones idealizadas
- La asimilación de datos
- Investigación sobre el clima regional

En Chile, debido a que "la información meteorológica existente en Chile es insuficiente para el uso de modelos Gaussianos y modelos meteorológicos de diagnóstico"[59], se ha tomado como modelo recomendado por la autoridad ambiental para la modelación meteorológica que se presenta en una evaluación de impacto ambiental. Esto principalmente a

[57] NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH (s.f.), *The Weather Research & Forecasting Model*. Obtenido de: http://www.wrf-model.org/index.php
[58] NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH (2016). *ARW Version 3 Modeling System User's Guide*. USA.
[59] UNTEC (2012). *Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica – Región de Valparaíso, Implementación de un Modelo Atmosférico. Región de Valparaíso*.

que “no ocupa información observacional en sus simulaciones, lo que significa que su comparación con las observaciones siempre es independiente” [60].

3.7.2. Sistema de Modelación CALPUFF

Es sistema de modelación CALPUFF está integrado esencialmente por tres módulos: el modelo de diagnóstico meteorológico CALMET, el modelo de dispersión CALPUFF y el modelo de pos-procesamiento CALPOST.

Primero se ejecuta el modelo CALMET que procesa la información meteorológica, la cual puede provenir principalmente de dos vías: de datos registrados en estaciones de medición meteorológicas de superficie y de capas superiores (llamados radiosondeos), o de los datos de salida, en un formato de malla, de un modelo meteorológico de pronóstico como el MM5 (Mesoscale Model, versión 4 ó 5) o de ambos orígenes. También en este paso se incorpora la información geofísica del terreno del dominio de modelación, como la elevación, los parámetros de superficie y de uso de suelo, entre otros.

Una vez generada la información meteorológica en el dominio de modelación, ésta se introduce a CALPUFF, además de los datos de la fuente emisora, que son básicamente: la tasa de emisión, los parámetros físicos de la chimenea y la ubicación de los receptores de interés[61].

CALPUFF es un modelo tipo “puff” Lagrangiano Gaussiano no estacionario capaz de modelar el transporte y dispersión de contaminantes sobre un campo de vientos construido con CALMET. Los modelos tipo “puff” representan una pluma de contaminantes continuo como

[60] UNTEC (2012). *Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica – Región de Valparaíso, Implementación de un Modelo Atmosférico. Región de Valparaíso.*
[61] MARÍA TANIA LÓPEZ VILLEGAS (2009). *Tesis: Aplicación del modelo de dispersión CALPUFF para la estimación de concentraciones del PM2.5.*

un número discreto de paquetes de material contaminante. El modelo evalúa la contribución de un "puff" en la concentración atmosférica de un receptor en un instante determinado, para luego permitir que el puff se mueva, evolucione en tamaño, fuerza, etc., hasta la próxima iteración. Luego, la concentración total en un receptor resultara de la sumatoria de las contribuciones de todos los "puff". La ecuación básica del modelo se muestra a continuación:

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y}\ g\ exp[-d_a^2/(2\sigma_x^2)]\ exp\left[-d_c^2/\left(2\sigma_y^2\right)\right]$$

Ecuación 8

$$g = \frac{2}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z}\sum_{n=-\infty}^{\infty} exp[-(H_e + 2nh)^2/(2\sigma_z^2)]$$

Ecuación 9

Donde:

C: Concentración (g/m^3)

Q: Masa del contaminante en el "puff" (g)

σx: Coeficiente de dispersión en dirección del viento (m)

σy: Coeficiente de dispersión en dirección perpendicular al viento (m)

σz: Coeficiente de dispersión vertical (m)

da: Distancia desde el centro del "puff" hacia el receptor en el eje de la dirección del viento (m)

dc: Distancia desde el centro del "puff" hacia el receptor en el eje perpendicular a la dirección del viento (m)

g: Altura de la ecuación gaussiana (m)

H: Altura efectiva del "puff" (m)

h: Altura de la capa de mezcla (m)

A diferencia de un modelo de pluma, los modelos de tipo "puff" consideran las emisiones (de los puff) independientes de su fuente de emisión permitiendo que los "puff" respondan a la meteorología en la que se encuentra inmerso en cada instante. Lo anterior se representa esquemáticamente en la Figura 14[62].

[62] SGA S.A. (2013). *Anexo 2: Análisis de Calidad del Aire MP2,5 Secundario Proyecto "Modificaciones Central Combinada ERA"*.

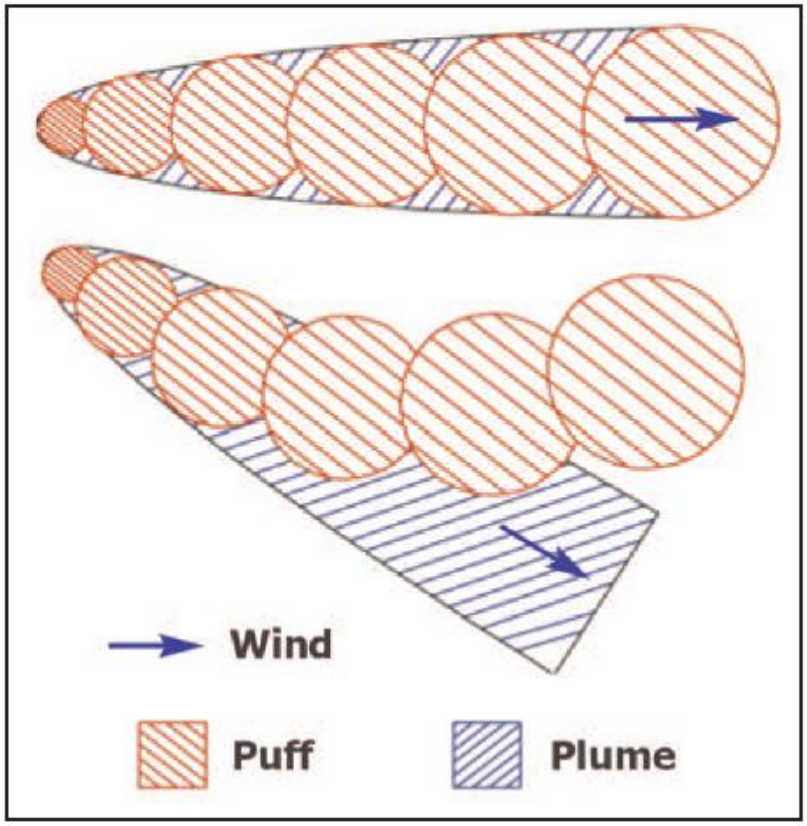


Figura 14: Representación gráfica del modelo tipo puff y de pluma.
Fuente: Lakes Environmental.

Finalmente, modelada la dispersión de los contaminantes, se ejecuta el pos-procesador CALPOST para extraer las concentraciones modeladas en los receptores de interés y procesar los datos de salida de CALPUFF.

CALPOST tiene la capacidad de calcular: los promedios de 8, 24 horas ó de todo el periodo modelado, los máximos de un periodo especificado por el usuario, entre otros, los cuales pueden comparar con los valores de las normas especificadas también por el usuario. Adicionalmente CALPOST genera cuadros resumen de los datos de concentración ordenados de manera ascendente y los archivos en formato matricial (grid) o en formato de tripletas (x, y,

parámetro) que permiten la visualización de los campos de concentraciones o de otros parámetros en algunos paquetes de visualización geográfica, como SURFER y ARCGIS[63].

3.7.3. Sistema de Modelación CAMx

El modelo CAMx (Comprehensive Air quality Model with extensions) es un modelo euleriano de dispersión que permite la modelización integrada de los distintos mecanismos de dispersión fotoquímica y transporte de los contaminantes en fase gaseosa y particulada. El modelo trata una amplia variedad de contaminantes inertes y reactivos, incluyendo Ozono, partículas, PM2.5/PM10 orgánico e inorgánico, Mercurio y diversos compuestos tóxicos, para distintos niveles de resolución espacial, con posibilidad de aplicación desde problemas de contaminación urbana, hasta modelización a una escala continental.

En la actualidad se trata de un código abierto que se encuentra paralelizado y permite el anidamiento de mallas telescópicas, optimizándose así el tiempo de cómputo sin disminuir la resolución espacial y temporal de los resultados del modelo.

Es capaz de tratar la dispersión y la química de penachos (emitidos desde focos puntuales) cuyo tamaño es inferior a una celdilla de cálculo (escala subgrid) hasta que estos penachos crecen y son comparables a las celdillas de cálculo. Incorpora un método muy interesante para rastrear o seguir unas emisiones determinadas, lo que puede ser útil para estimar la contribución de un foco a la contaminación en un punto[64].

---

[63] MARÍA TANIA LÓPEZ VILLEGAS (2009). *Tesis: Aplicación del modelo de dispersión CALPUFF para la estimación de concentraciones del PM2.5*.

[64] CIEMAT (s.f.). *Modelos fotoquímicos EPA*, obtenido de: http://mca-retemca.ciemat.es/MCAportal/portal.do;jsessionid=2BADABBE83A43086AC78509D1B282AB9?IDM=107&NM=4

El modelo CAMx ha sido desarrollado por el California Air Resources Board y sus principales características son[65]:

- Posibilidad de uso de mallas anidadas, tanto en horizontal como en vertical.
- Posibilidad de elección entre distintos mecanismos fotoquímicos y de fase gaseosa:
  - Cuatro versiones del mecanismo Carbon Bond IV (CB-IV).
  - Mecanismo SAPRC99.
- Sistema consistente para las ecuaciones de conservación de masa y transporte.
- Sistemas de proyección cartográfica (Geográfico, UTM, Lambert, Polar estereográfico).
- Resolución de las ecuaciones de continuidad para cada especie.
- Resolución individual de cada proceso (advección, difusión, etc.), para cada intervalo temporal y en cada retícula de la malla.
- Dos tipos de deposición de contaminantes: Húmeda y seca.

El cambio o variación temporal de un campo de concentraciones se describe mediante un sistema de ecuaciones en derivadas parciales, de acuerdo al principio de conservación de la masa:

[65] REFINERÍA DE PETRONOR PETRÓLEOS DEL NORTE, S.A. (2008). *Anexo IX-B: Estudio de Dispersión Fotoquímico del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Nuevas Unidades para Reducir la Producción de Fuel-Oil*.

$$\frac{\delta c_i}{\delta t} = -\left(\frac{\delta(uc_i)}{\delta x} + \frac{\delta(vc_i)}{\delta y} + \frac{\delta(wc_i)}{\delta z}\right) + \frac{\delta}{\delta x}\left(K_H \frac{\delta c_i}{\delta x}\right) + \frac{\delta}{\delta y}\left(K_H \frac{\delta c_i}{\delta y}\right) + \frac{\delta}{\delta z}\left(K_V \frac{\delta c_i}{\delta z}\right) + R_i + S_i + L_i$$

Ecuación 10

Esta considera que el cambio en la concentración está determinado por la advección (primer sumando), la difusión turbulenta (segundo, tercer y cuarto sumando), las reacciones químicas (quinto sumando), las emisiones (penúltimo sumando) y la deposición (último sumando).

Esta ecuación del sistema está a su vez acoplada a través de la velocidad del viento, las concentraciones y la temperatura, con las ecuaciones que describen la dinámica de la capa límite: ecuación de continuidad, momento, energía, conservación del vapor de agua, y la ecuación de estado.

En general esta ecuación se resuelve de forma independiente a las ecuaciones que describen la dinámica de la capa planetaria, puesto que se asume que las concentraciones de los contaminantes son pequeñas (del orden de los ug/m^3 o mg/m^3) y no tienen influencia en la radiación, el campo de vientos, o el perfil de temperatura.

La resolución del sistema de ecuaciones requiere de unas condiciones iniciales y de contorno[66].

La ecuación anterior describe los diferentes mecanismos que son responsables de la variación en los campos de concentración[67]:

[66] CEAM (CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES DEL MEDITERRÁNEO), UNIVERSIDAD DE HUELVA (2007). *Diagnóstico y Vigilancia del Impacto por Vía Atmosférica de un Complejo Refinero en Extremadura.*

- Transporte turbulento y difusión. En la ecuación en derivadas parciales aparecen dos términos relacionados con el transporte, uno relativo a la advección, encargado del transporte de contaminantes con el flujo de viento; y un término relativo a la dispersión, que representa el transporte turbulento. La advección horizontal puede resolverse mediante el algoritmo de Bott (1989) o el algoritmo Piecewise Parabolic Method (PPM) de Colella y Woodward (1984) en la implementación de Odman e Ingram (1993). Ambos proporcionan una gran precisión y un mínimo de difusión numérica.

- Química cinética. Los contaminantes reaccionan químicamente entre ellos, dando lugar a diferentes transformaciones químicas. Las reacciones químicas son función de parámetros tales como la intensidad solar, la transferencia radiativa, la temperatura, las concentraciones de otras especies presentes, etc. Algunos modelos, tales como el CAMx, incluyen química heterogénea, de gran importancia para la deposición ácida y la formación de aerosoles (McMurry, 2000). Los mecanismos químicos del CAMx están basados en el Carbon Bond versión 4 (CB4; Gery et al., 1989) y SAPRC99 (Carter, 2000). El CAMx soporta actualmente cuatro mecanismos específicos, y tiene la posibilidad de que el usuario incluya un mecanismo propio.

- Fuentes y sumideros. El modelo considera tanto las fuentes de emisión (tráfico rodado, industrias, vegetación, etc.) como los sumideros: deposición seca y húmeda. La deposición seca se parametriza generalmente a partir de la velocidad de deposición (Wesely and Hicks, 2000). La deposición húmeda es debida a que la lluvia, la nieve y

[67] CEAM (CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES DEL MEDITERRÁNEO), UNIVERSIDAD DE HUELVA (2007). *Diagnóstico y Vigilancia del Impacto por Vía Atmosférica de un Complejo Refinero en Extremadura.*

las nubes pueden absorber gases, capturarlos o formar partículas, promoviendo así las reacciones químicas. La deposición húmeda es uno de los módulos con mayor incertidumbre en la modelización fotoquímica, debido a que existe dificultad en la simulación de la formación de nubes y en la precipitación (Seaman, 2000).

3.8. Inventario de Emisiones

Un inventario de emisiones es una lista completa actualizada, por fuente, de las emisiones de contaminantes del aire, y cubre un área geográfica específica para un intervalo de tiempo específico. La información obtenida de un inventario de emisión es usada para diferentes fines, como por ejemplo: evaluar el estado de la calidad del aire, estudiar los problemas de contaminación del aire, evaluar la eficacia de las políticas de contaminación del aire. (USEPA; 1999). Los inventarios de emisión constituyen un dato de entrada básico en los estudios de calidad del aire realizados por medio de modelos fotoquímicos de dispersión.

Se encuentran dos aproximaciones para el desarrollo de los inventarios de emisiones: top-down (arriba-abajo) y bottom-up (abajo-arriba). La aproximación bottom-up o a microescala requiere un conocimiento detallado de los parámetros referidos a cada actividad emisora en cada celda (tipo de uso del suelo, aforos de tráfico, consumo de combustible, densidad de población, etc.), con el objetivo de estimar su contribución a las emisiones totales. Mientras que la aproximación top-down o a macroescala, calcula el total de las emisiones referidas a ciertas unidades administrativas para las cuales se dispone de datos relevantes y se distribuye entre las celdas haciendo uso de patrones locales de distribución apropiados (densidad de población, industriales o de tráfico, etc.).

Las emisiones se estiman generalmente mediante la aplicación de factores de emisión, los cuales estiman la tasa a la que es liberado un contaminante a la atmosfera, como un resultado de alguna actividad productiva. Para lo cual se emplea la siguiente ecuación:

$$E = FE \times A$$

Ecuación 11

En donde: E son las emisiones, FE es el factor de emisión y A es la tasa de actividad.

Los factores de emisión se pueden obtener de bases de datos, como por ejemplo la base de datos COPERT IV (Ntziachristos et al. 2007). En esta base de datos se puede estimar factores de emisión de CO, VOC, NOx y PM para diferentes categorías de vehículos tales como: vehículos livianos, vehículos pesados, carros de pasajeros, buses, camiones, motocicletas, entre otras. Los factores de emisión obtenidos se clasifican en tres categorías: arranque en frio, arranque en caliente y emisiones evaporativas.

Otra base de datos en donde se pueden obtener factores de emisión es la compilación de factores de emisión de contaminantes del aire, referenciada como la base de datos AP-42 (USEPA, 1995). Contiene factores de emisión y la información de los procesos para más de 200 categorías de fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos. Los factores de emisión se desarrollaron y compilaron a partir de las siguientes fuentes de información: pruebas de chequeo, balances de materia y estimaciones de ingeniería. La primera edición del documento AP-42 fue publicada en enero del año 1995. En los diferentes capítulos del documento en mención se encuentran los factores de emisión, principalmente para las fuentes fijas y de área,

tales como: fuentes de combustión externa, combustión interna de fuentes fijas, disposición final de residuos sólidos, fuentes biogénicas, entre otras[68].

3.9. Evaluación Ambiental

Es el procedimiento, a cargo del Servicio de Evaluación Ambiental, que, en base a un Estudio o Declaración de Impacto Ambiental, determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas vigentes[69].

La evaluación ambiental tiene por objetivo verificar el cumplimiento de la normativa y los parámetros ambientales actualmente vigentes. Estas evaluaciones ambientales nos dan a conocer el estado de los componentes del entorno, posibilitando la planificación de las acciones a tomar a fin de mantener o mejorar las características del medioambiente[70].

3.9.1. Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)

El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) es un organismo público funcionalmente descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio. El SEA fue creado por la Ley N°20.417, publicada en el Diario Oficial el 26 de enero de 2010, que modificó la Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

Este Servicio cumple la función de uniformar los criterios, requisitos, condiciones, antecedentes, certificados, trámites, exigencias técnicas y procedimientos de carácter

[68] NELSON E. PEÑALOZA, NÉSTOR Y. ROJAS, LUIS C. BELALCÁZAR (s.f.). *Revisión de inventarios de emisiones con fines de modelización de calidad del aire en Bogotá.*
[69] MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. *Ley 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Ultima Modificación: 01-JUN-2016 Ley 20920*.
[70] GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES (s.f.). *Resolución de calificación ambiental RCA*, obtenido de http://www.grn.cl/permiso-ambiental-sectorial-pas/permiso-ambiental/resolucion-de-calificacion-ambiental-rca.html

ambiental que establezcan los ministerios y demás organismos del Estado competentes, mediante el establecimiento, entre otros, de guías trámite.

La tecnificación del sistema apunta a establecer criterios comunes para evaluar cada tipo de proyecto, con el objeto de asegurar la protección del medio ambiente de manera eficiente y eficaz[71].

En resumen, las atribuciones del SEA son las siguientes[72]:

- Administración del SEIA
- Administrar sistemas de información:
  - Permisos y autorizaciones (web)
  - Líneas base de proyectos
- Uniformar requerimientos que formulen los distintos ministerios (guías trámite)
- Proponer la simplificación de trámites
- Administrar un registro público de consultores certificados para realización de Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) o Estudios de Impacto Ambiental (EIA).
- Interpretar administrativamente las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), vinculante para el ministerio sectorial.
- Fomentar la participación ciudadana en la evaluación ambiental.

[71] SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (s.f.). *Quienes Somos.* Obtenido de http://sea.gob.cl/sea/quienes-somos.

[72] SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (s.f.). *Quienes Somos.* Obtenido de http://sea.gob.cl/sea/quienes-somos.

3.9.2. Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)

Uno de los principales instrumentos para prevenir el deterioro ambiental es el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Este instrumento permite introducir la dimensión ambiental en el diseño y la ejecución de los proyectos y actividades que se realizan en el país; a través de él se evalúa y certifica que las iniciativas, tanto del sector público como del sector privado, se encuentran en condiciones de cumplir con los requisitos ambientales que les son aplicables[73].

El SEIA entró en vigencia el 03 de abril de 1997. A 13 años de su aplicación, más de 10.000 proyectos o actividades se han aprobado en el SEIA, lo que ha permitido que el país haya logrado un cambio sustancial en la forma de construir el futuro, al poder prevenir los impactos que pueda generar las inversiones públicas y privadas, o hacer que, cuando se generan impactos adversos significativos, exista una mitigación[74].

La gestión de este instrumento es función del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA).

El titular del proyecto o actividad que se somete al SEIA lo hace presentando una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), salvo que dicho proyecto genere o presente alguno de los siguientes efectos, características o circunstancias contemplados en el artículo 11 de la Ley, caso en el cual deberá presentar un Estudio de Impacto Ambiental (EIA)[75]:

1. Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones y residuos.

[73] SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (s.f.). Obtenido de http://www.sea.gob.cl/sea/que-es-seia.
[74] SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL. Obtenido de http://www.sea.gob.cl/sea/que-es-seia.
[75] SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL. *Declaración o estudio de impacto ambiental*. Obtenido en: http://sea.gob.cl/sea/declaracion-estudio-impacto-ambiental.

2. Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluido el suelo, agua y aire.
3. Reasentamiento de comunidades humanas, o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de los grupos humanos.
4. Localización en o próxima a poblaciones, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos, glaciares, susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar.
5. Alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona.
6. Alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.

3.9.3. Estudio de Evaluación Ambiental (EIA)

El documento que describe pormenorizadamente las características de un proyecto o actividad que se pretenda llevar a cabo o su modificación. Debe proporcionar antecedentes fundados para la predicción, identificación e interpretación de su impacto ambiental y describir la o las acciones que ejecutará para impedir o minimizar sus efectos significativamente adversos.

Los estudios de Impacto Ambiental considerarán las siguientes materias[76]:

a) Una descripción del proyecto o actividad;

[76] MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. *Ley 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Última Modificación: 01-JUN-2016 Ley 20920*.

b) La descripción de la línea de base, que deberá considerar todos los proyectos que cuenten con resolución de calificación ambiental, aún cuando no se encuentren operando.

c) Una descripción pormenorizada de aquellos efectos, características o circunstancias del artículo 11 que dan origen a la necesidad de efectuar un Estudio de Impacto Ambiental.

d) Una predicción y evaluación del impacto ambiental del proyecto o actividad, incluidas las eventuales situaciones de riesgo. Cuando el proyecto deba presentar un Estudio de Impacto Ambiental por generar alguno de los efectos, características o circunstancias señaladas en la letra a) del artículo 11, y no existiera Norma Primaria de Calidad o de Emisión en Chile o en los Estados de referencia que señale el Reglamento, el proponente deberá considerar un capítulo específico relativo a los potenciales riesgos que el proyecto podría generar en la salud de las personas.

e) Las medidas que se adoptarán para eliminar o minimizar los efectos adversos del proyecto o actividad y las acciones de reparación que se realizarán, cuando ello sea procedente;

f) Un plan de seguimiento de las variables ambientales relevantes que dan origen al Estudio de Impacto Ambiental, y

g) Un plan de cumplimiento de la legislación ambiental aplicable.

3.9.4. Declaración de Evaluación Ambiental (DIA)

El documento descriptivo de una actividad o proyecto que se pretende realizar, o de las modificaciones que se le introducirán, otorgado bajo juramento por el respectivo titular, cuyo

contenido permite al organismo competente evaluar si su impacto ambiental se ajusta a las normas ambientales vigentes.

Las declaraciones de Impacto Ambiental considerarán las siguientes materias[77]:

h) Una descripción del proyecto o actividad;
i) Los antecedentes necesarios que justifiquen la inexistencia de aquellos efectos, características o circunstancias del artículo 11 que pueden dar origen a la necesidad de efectuar un Estudio de Impacto Ambiental;
j) La indicación normativa ambiental aplicable, y la forma en la que se cumplirá, y
k) La indicación de los permisos ambientales sectoriales aplicables, y los antecedentes asociados a los requisitos y exigencias para el respectivo pronunciamiento.

3.9.5. Resolución de Calificación Ambiental (RCA)

La *Resolución de Calificación Ambiental o RCA* es una autorización que entrega el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), es un documento administrativo que se obtiene una vez culminado el proceso de evaluación, del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA). En la Resolución de Calificación Ambiental se establece si el proyecto presentado ha sido aprobado o rechazado.

La Evaluación de Impacto Ambiental concluye con una Resolución de Calificación Ambiental que puede ser de aprobación o rechazo (RCA Favorable o Desfavorable). En caso favorable, las condiciones que se impongan, serán de cumplimiento obligatorio: desarrollo de

[77] MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. *Ley 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Última Modificación: 01-JUN-2016 Ley 20920*.

la función de seguimiento y fiscalización. En caso de rechazo, el proyecto o actividad no puede ejecutarse en tanto su calificación no sea favorable: facultad de reingreso[78].

El proceso de evaluación concluirá con una resolución que califica ambientalmente el proyecto o actividad, la que deberá ser notificada a las autoridades administrativas con competencia para resolver sobre la actividad o proyecto, sin perjuicio de la notificación a la parte interesada.

Si la resolución es favorable, certificará que se cumple con todos los requisitos ambientales aplicables, incluyendo los eventuales trabajos de mitigación y restauración, no pudiendo ningún organismo del Estado negar las autorizaciones ambientales pertinentes.

Si, en cambio, la resolución es desfavorable, estas autoridades quedarán obligadas a denegar las correspondientes autorizaciones o permisos, en razón de su impacto ambiental, aunque se satisfagan los demás requisitos legales, en tanto no se les notifique de pronunciamiento en contrario.

Los organismos del Estado a los que corresponda otorgar o pronunciarse sobre los permisos ambientales sectoriales a que se refiere esta ley, deberán informar a la Superintendencia del Medio Ambiente cada vez que se les solicite alguno de ellos, indicando si ha adjuntado o no una resolución de calificación ambiental y los antecedentes que permitan identificar al proyecto o actividad e individualizar a su titular.

En los casos que la Superintendencia detecte que una solicitud de permiso ambiental sectorial recae sobre un proyecto o actividad que de acuerdo a esta ley deba ser objeto de una

[78] GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES (s.f.). *Resolución de calificación ambiental RCA*, obtenido de http://www.grn.cl/permiso-ambiental-sectorial-pas/permiso-ambiental/resolucion-de-calificacion-ambiental-rca.html

evaluación de impacto ambiental previa y que no cuenta con la respectiva resolución de calificación ambiental aprobatoria, lo comunicará al organismo sectorial que corresponda, el que deberá abstenerse de otorgar el permiso o autorización en tanto no se acredite el cumplimiento de dicha exigencia, informando de ello al Servicio de Evaluación Ambiental.

El titular del proyecto o actividad, durante la fase de construcción y ejecución del mismo, deberá someterse estrictamente al contenido de la resolución de calificación ambiental respectiva[79].

3.9.6. Informe de Evaluación Consolidado de evaluación o ICE

El *Informe de Evaluación Consolidado de evaluación o ICE* recopila los antecedentes generales del proyecto o actividad, la síntesis cronológica de las etapas de la evaluación y referencia a informes de los órganos de la Administración del Estado.

El Informe de Evaluación Consolidado de evaluación o ICE además entrega la síntesis de los impactos ambientales relevantes y de las medidas de mitigación, reparación y compensación. Además de las conclusiones del cumplimiento de la normativa.

Finalmente, el ICE entrega el lineamiento de los Permisos Ambientales Sectoriales PAS y las condiciones o exigencias específicas para ejecutar el proyecto, además de las síntesis de las observaciones que hubieren formulado las organizaciones ciudadanas en la PAC[80].

---

[79] MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. *Ley 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Última Modificación: 01-JUN-2016 Ley 20920*.

[80] GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES (s.f.). *Resolución de calificación ambiental RCA*, obtenido de http://www.grn.cl/permiso-ambiental-sectorial-pas/permiso-ambiental/resolucion-de-calificacion-ambiental-rca.html

3.9.7. ICSARA

ICSARA significa *Informe Consolidado de Aclaraciones, Rectificaciones o Ampliaciones*. Es el documento preparado por el Servicio de Evaluación Ambiental, que consolida las consultas, aclaraciones o rectificaciones solicitadas por los servicios competentes. Busca analizar mejor los impactos ambientales de un proyecto o actividad y las medidas propuestas por el Titular para hacerse cargo de los impactos significativos[81].

3.9.8. ADENDA

Etimológicamente, la palabra Adenda es todo aquel añadido que se agrega a un escrito.

En el caso de nuestra institucionalidad ambiental, la ADENDA se refiere al resultado de un proceso denominado Participación Ciudadana (PAC), donde los proyectos que requieren una Aprobación Ambiental para su ejecución se sociabilizan a las comunidades y servicios públicos para, posteriormente, generar un espacio de consultas u observaciones las que son recopiladas en el Informe Consolidado de Aclaraciones, Rectificaciones o Ampliaciones (ICSARA) enviado por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) a la empresa a cargo del proyecto para que las responda en los plazos definidos[82].

[81] PROYECTO DOMINGA (s.f.). *Preguntas Frecuentes*, obtenido en : http://www.conocedominga.cl/preguntas-frecuentes/

[82] CODELCO (s.f.). *Operaciones*, obtenido de: https://www.codelco.com/preguntas-y-respuestas-sobre-la-adenda-1-de-andina-244/prontus_codelco/2014-07-24/162220.html

CAPÍTULO IV
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1. Modelo Operacional y Organizacional de la Empresa

El modelo operacional de Enviromodeling y su forma de trabajo se basa en las siguientes áreas de negocio globales:

- Entrega del servicio de elaboración de Estudios de Calidad de Aire
- Venta de Productos
- Capacitaciones

El modelo organizacional de Enviromodeling es una organización orientada a proyectos. La mayor parte de los recursos de la organización están involucrados en el trabajo de cada proyecto. Las organizaciones orientadas a proyectos suelen contar con unidades organizacionales denominadas departamentos, sin embargo pueden reportar directamente al director del proyecto o bien prestar servicios de apoyo a varios proyectos. En el caso de Enviromodeling no existe un departamento como tal, sino que cada profesional que compone la empresa es el encargado de una o dos áreas de procesos de desarrollos de proyectos.

4.1.1. Descripción de las Áreas de Negocio que Componen la Empresa

Las tres áreas de negocio de la empresa Enviromodeling son las siguientes:

- **Estudios de calidad de aire:**

  El principal servicio entregado por Enviromodeling es la elaboración de estudios de calidad de aire. Estos estudios tienen en general dos objetivos: para ser presentados

como parte de Estudios de Impacto Ambiental (EIA) o Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) y para gestión de calidad de aire de ciudades o localidades o de empresas.

- **Capacitación:**

  Enviromodeling realiza capacitaciones en teoría y práctica de modelaciones atmosféricas para empresas privadas y organismos públicos. Estas capacitaciones pueden tratar sobre un modelo de calidad de aire en específico o de varios.

- **Productos:**

  Enviromodeling entrega principalmente dos tipos de productos desarrollados por la empresa: Softwares o procesadores realizados para el desarrollo de modelaciones y visualización de resultados de modelación atmosférica, y por otra parte, datos meteorológicos de WRF.

4.1.2. Principales Procesos de Cada Área

Los principales procesos de las tres áreas de negocio de la empresa Enviromodeling son los siguientes:

- **Estudios de calidad de aire:**

  Dependiendo de los objetivos y del tipo de proyecto se deben realizar para estos estudios, en conjunto o individualmente, los siguientes servicios:

  - Análisis de datos meteorológicos y de calidad de aire
  - Modelación meteorológica

- Análisis de Incertidumbre de resultados del modelo meteorológico WRF
- Modelación de impactos en calidad de aire
- Inventario de emisiones
- Elaboración de Informes

Cada uno de estos procesos se detallan más adelante en Sección 4.2.

- **Capacitación:**

  Dependiendo si las capacitaciones son solo teorías o teóricas y prácticas, los procesos a realizar son los siguientes:

  - Cotización y organización de coffee break y merchandising.
  - Organización y planificación de las clases.
  - Preparación de clases teóricas sobre modelos de calidad de aire.
  - Preparación y revisión de modelaciones para clases prácticas.
  - Elaboración de informe y calificaciones.

- **Productos:**

  Como se menciona en Sección 2.4.7, los principales productos ofrecidos por Enviromodeling son: CalDESK Advanced, CAMx_Desk y Datos de WRF; además de productos de Lakes Environmental como distribuidor oficial en Chile. Los procesos de venta de estos productos son los siguientes:

  - Software CalDESK Advanced y CAMx_Desk:

    Estos softwares son comercializados a nivel mundial a través de la página web de la empresa a un precio fijo. Sus ventas son a través de una orden de compra del

cliente, una vez cancelado el software se envía el instalador de éste. La instalación de estos programas tiene un sistema de clave que no permite el pirateo de éstos, el cual comienza al abrir el software y aparece un cuadro de texto en donde se debe poner la clave de instalación que se envía con el instalador, en ese momento aparece en este cuadro una nueva clave que debe ser enviada por correo a Enviromodeling y luego se les devuelve a través del mismo medio la clave de activación del programa.

- Datos de WRF:

  En el caso de los datos de WRF, el proceso comienza con la petición del cliente con las características con respecto al centro y extensión del dominio de modelación (zona de estudio), resolución del dominio y el periodo de tiempo. Con esta información se realiza una cotización para el cliente, con el precio y el plazo de entrega de los datos. El cliente acepta mediante una orden de compra.

  La modelación con WRF la realiza el profesional encargado del área informática de la empresa ocupando entre 3 a 6 computadores en Linux, dependiendo de las exigencias del cliente. Una vez terminada la modelación se envía la información al cliente grabados en un pendrive o disco duro, dependiendo del tamaño de los datos.

- Softwares de Lakes Environmental

  Cuando hay una petición de los programas de Lakes Environmental, se les envía a los clientes interesados una cotización, la cual incluye el costo del software más gastos operacionales. Estos gastos incluyen los costos de internación de aduana, pagos a bancos por salida de divisas y diferencias por el cambio monetario a dólar

canadiense. Una vez cancelado el costo por el cliente se realiza la transacción a Lakes Environmental y éstos envían el software al cliente.

4.1.3. Estadística General de Proyectos

Se revisaron los proyectos realizados por Enviromodeling durante 9 años, periodo 2008 – 2016, de las tres áreas de negocios de la empresa: estudios de calidad de aire (ECA), capacitación y productos. Durante este periodo se desarrollaron en total 84 proyectos.

En Figura 15 se presentan los 84 proyectos realizados por Enviromodeling durante el periodo 2008 – 2016, clasificados por cada área de negocio. En esta tabla se observa que la gran mayoría de proyectos son del área de estudios de calidad de aire (ECA). En cambio, los servicios de capacitaciones y la venta de productos son menos frecuentes.

Las capacitaciones eran más frecuentes en los dos primeros años analizados, cursos solicitados por organismos públicos encargados de evaluar proyectos ambientalmente. Esto se debe a que el uso de herramientas de modelación atmosféricas eran recientes en el país y Enviromodeling era una de las pocas empresas con experiencia en estas herramientas, por lo que se adjudicó las licitaciones correspondientes.

La venta y desarrollo de productos ha variado durante el periodo, los primeros años se desarrollaban pronósticos dos veces a la semana a sectores de alta cordillera. Durante los últimos dos años los productos entregados son resultados del modelo meteorológico WRF para distintas zonas del país. Este aumento de demanda de datos de WRF se debe a los requerimientos del sistema de evaluación ambiental de calidad de aire, que desde la

publicación de la "Guía de Uso de Modelos de Calidad de Aire en el SEIA" uniformó los criterios de evaluación sobre modelación atmosférica y se exige el uso de este modelo.

Finalmente, en Figura 15 se observa que el servicio de estudios de calidad de aire se ha mantenido durante todo el periodo analizado. Si bien se observa una disminución en el tiempo de la cantidad de proyectos realizados, éstos son la especialidad de la empresa. Por otra parte, han disminuido en cantidad, pero se han ido complejizando y respondiendo a mayores requerimientos de los clientes, especialmente a partir del año siguiente a la publicación de la "Guía de Uso de Modelos de Calidad de Aire en el SEIA".

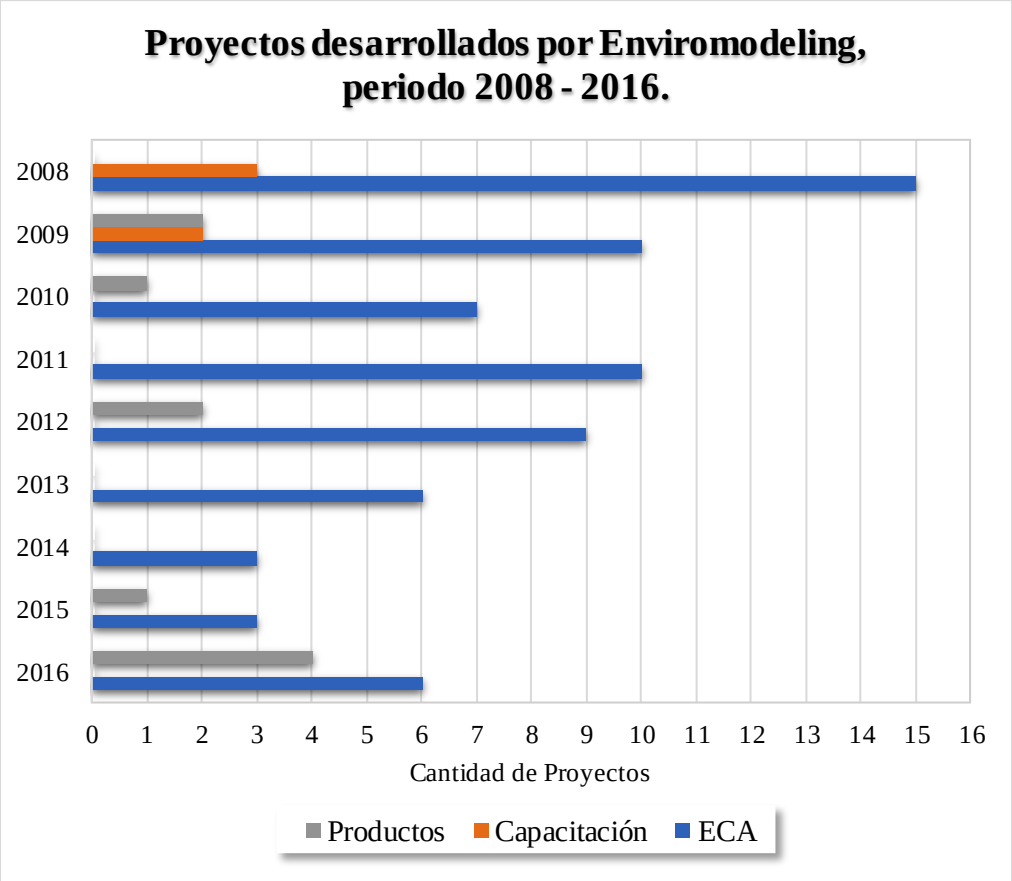


Figura 15: Estadística de proyectos desarrollados por Enviromodeling durante el periodo 2008 – 2016.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Descripción Proceso Productivo Área de Estudios de Calidad de Aire

El proceso productivo para la elaboración de estudios de calidad de aire se presenta en Figura 16 como diagrama de flujo del proceso. Como se observa en esta figura, hay tres actividades que se pueden comenzar en paralelo: Análisis de la información ambiental, modelación meteorológica con WRF y el desarrollo de Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos.

En Figura 16 también se aprecia que la información ambiental se puede dividir en línea base de calidad de aire y de meteorología. Con los resultados de esta última más los resultados del modelo meteorológico WRF se realiza en análisis de incertidumbre de los resultados de este modelo.

Por otra parte, al igual que para el análisis de información ambiental, para el desarrollo de Inventario de Emisiones es necesario información externa sobre el Proyecto.

Con los resultados del Inventario de Emisiones más los resultados de la modelación meteorológica se realiza la modelación de calidad de aire. Esta modelación puede ser para contaminantes primarios mediante el modelo de dispersión CALPUFF o para contaminantes secundarios mediante el modelo fotoquímico CAMx, dependiendo de los requerimientos del estudio puede ser con uno o con ambos.

Con los resultados de todas las actividades presentadas dentro del cuadro segmentado presentado en Figura 16 se preparan los informes del Estudio.

Finalmente, se realizan las respuestas a ICSARA si es que hay consultas con respecto al estudio de calidad de aire realizado.

La descripción detallada de cada una de estas actividades se presenta a continuación.

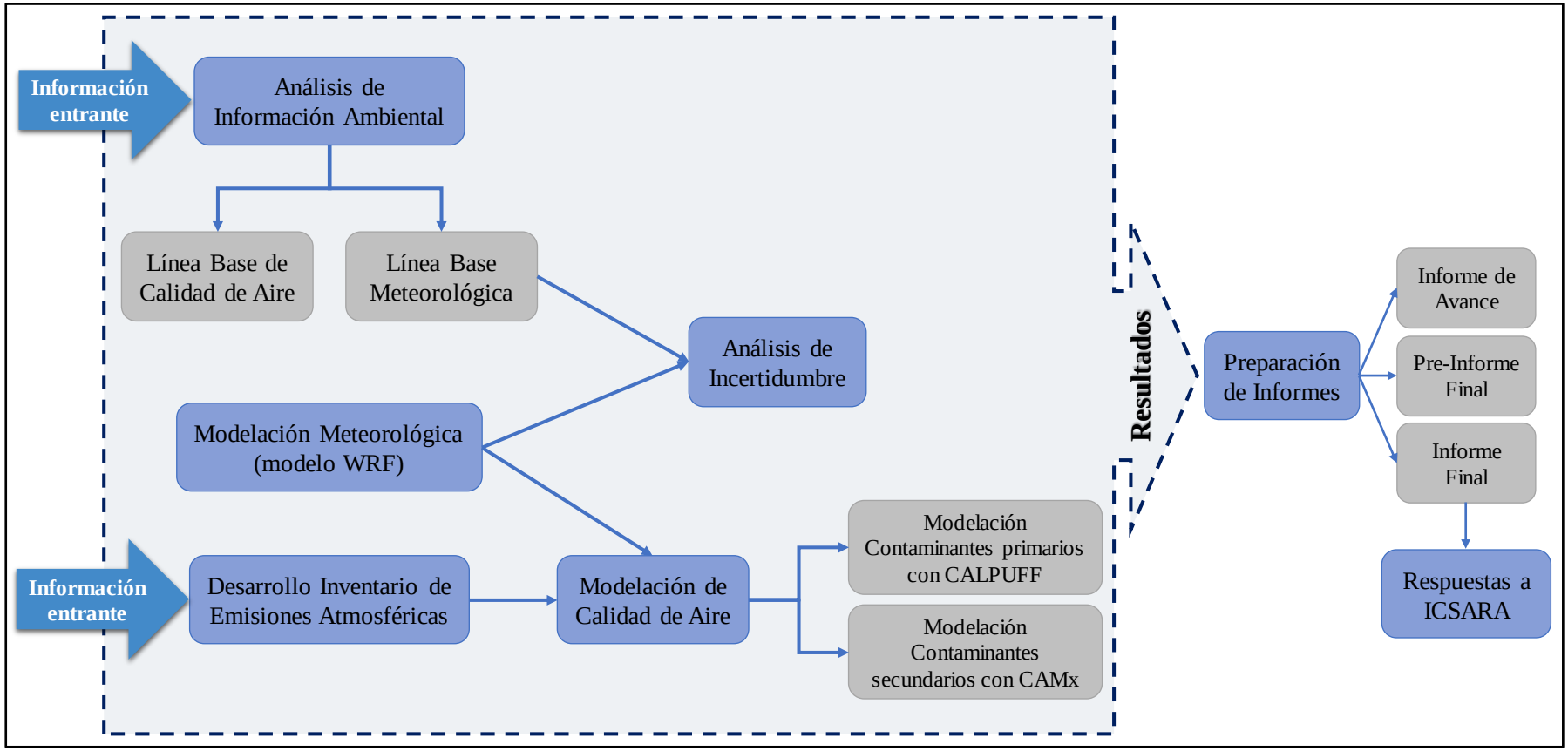


Figura 16: Diagrama de Procesos para la elaboración de Estudios de Calidad de Aire.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1. Análisis de Información Ambiental

El diagrama del proceso de análisis de información ambiental se presenta en Figura 17. En este diagrama se presentan los Input o información de entrada necesaria para el proceso y los Output o resultados entregados por el proceso.

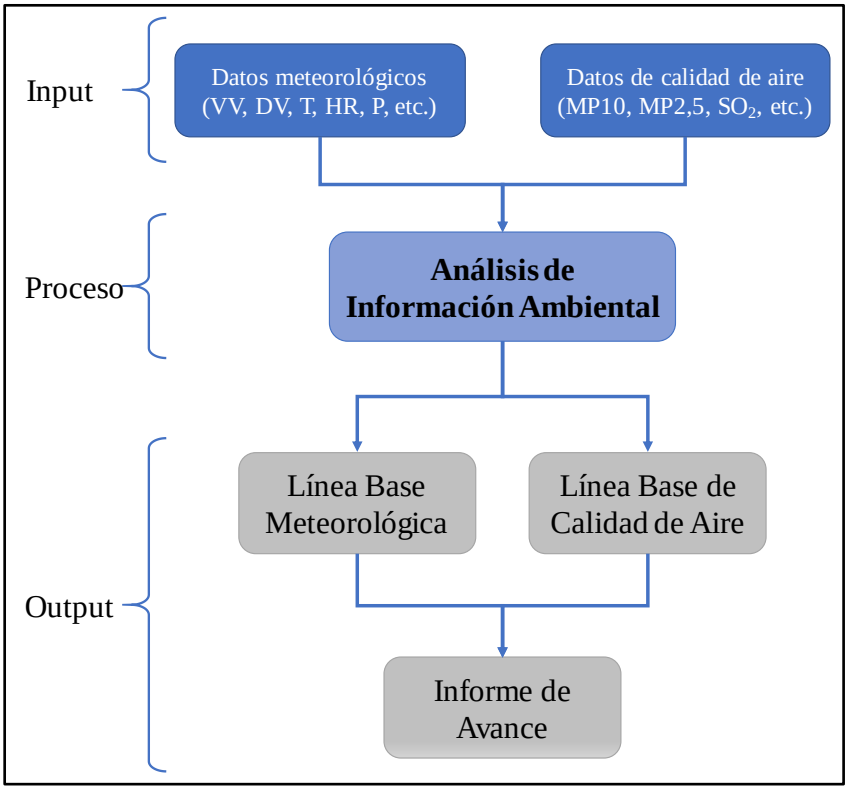


Figura 17: Diagrama del proceso de Análisis de Información Ambiental.
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en Figura 17, en primer lugar se recolecta la información ambiental de la zona de estudio de cada proyecto. Esta información es entregada por el mandante o se obtiene del portal de internet perteneciente al Ministerio de Medio Ambiente SINCA (Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire). Este portal pone a disposición del público información de calidad de aire de todo el país.

La información ambiental se divide en datos meteorológicos y de calidad de aire registradas por estaciones monitoras, registradas por lo menos por un año. Las variables meteorológicas a considerar, si están disponibles, son las siguientes:

- Velocidad y dirección de viento
- Temperatura
- Humedad relativa
- Presión atmosférica
- Radiación solar
- Precipitación

En el caso de la información de calidad de aire, se consideran, según el proyecto, los siguientes contaminantes criterio:

- Material Particulado Respirable (MP10)
- Material Particulado Fino Respirable (MP2.5)
- Dióxido de Nitrógeno (NO_2)
- Dióxido de Azufre o Anhídrido Sulfuroso (SO_2)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Ozono (O_3)
- Material Particulado Sedimentable (MPS)

En segundo lugar, el análisis de la información ambiental se realiza mediante series de tiempo y ciclos diarios de las variables meteorológicas y de calidad de aire registradas por las

estaciones monitoras de la zona de estudio del Proyecto. Las series de tiempo se realizan mediante el Software de visualización de datos DataVoyager[83] desarrollado por Enviromodeling. Un ejemplo de series de tiempo de Humedad Relativa se presenta en Figura 18. Esta herramienta (DataVoyager) permite realizar un análisis del comportamiento de cada variable durante un año, por lo tanto, sirve para analizar el comportamiento estacional de las variables. Además, permite visualizar anomalías en las series de tiempo de las variables meteorológicas medidas tales como: periodos de datos faltantes, datos constantes por fallas en equipos de medición, datos fuera de rango u ocurrencia de eventos meteorológicos, entre otros.

En tercer lugar, se elaboran, mediante gráficos generados con Excel, ciclos diarios promedio anuales y estacionales de variables meteorológicas medidas por las distintas estaciones disponibles para el periodo de al menos un año. Estos ciclos se utilizarán para analizar el comportamiento de las variables, comparar y evaluar si los valores son consistentes con la zona de estudio (altura, condiciones topográficas, etc.). En Figura 19 se presenta como ejemplo un ciclo diario promedio anual de Velocidad de Viento registrado durante del año 2011.

[83] Software de Visualización de datos meteorológicos horarios desarrollado por EnviroModeling Ltda.

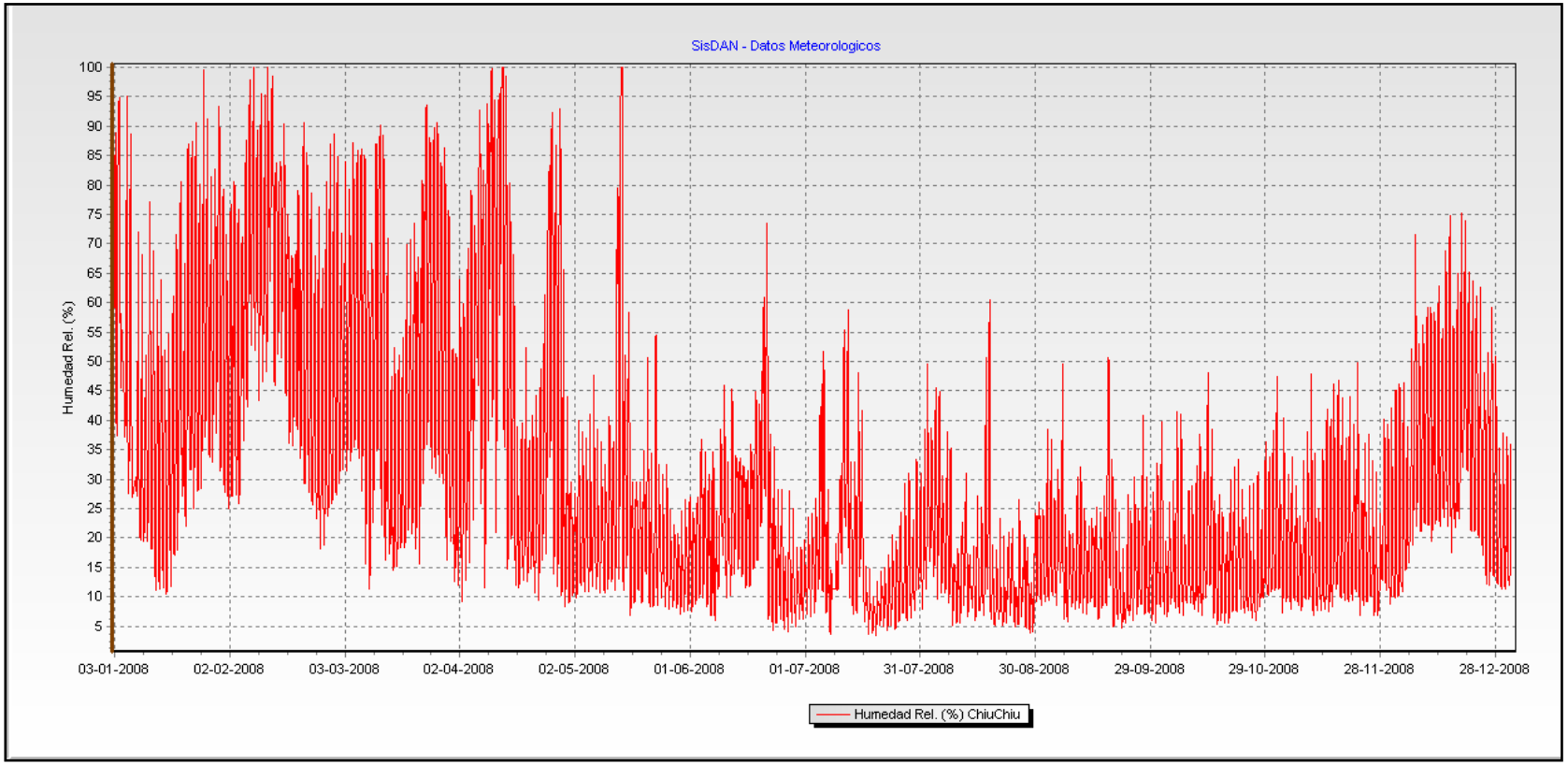


Figura 18: Ejemplo de visualización de serie de tiempo de Humedad Relativa mediante el software DataVoyager.

Fuente: Enviromodeling Ltda.

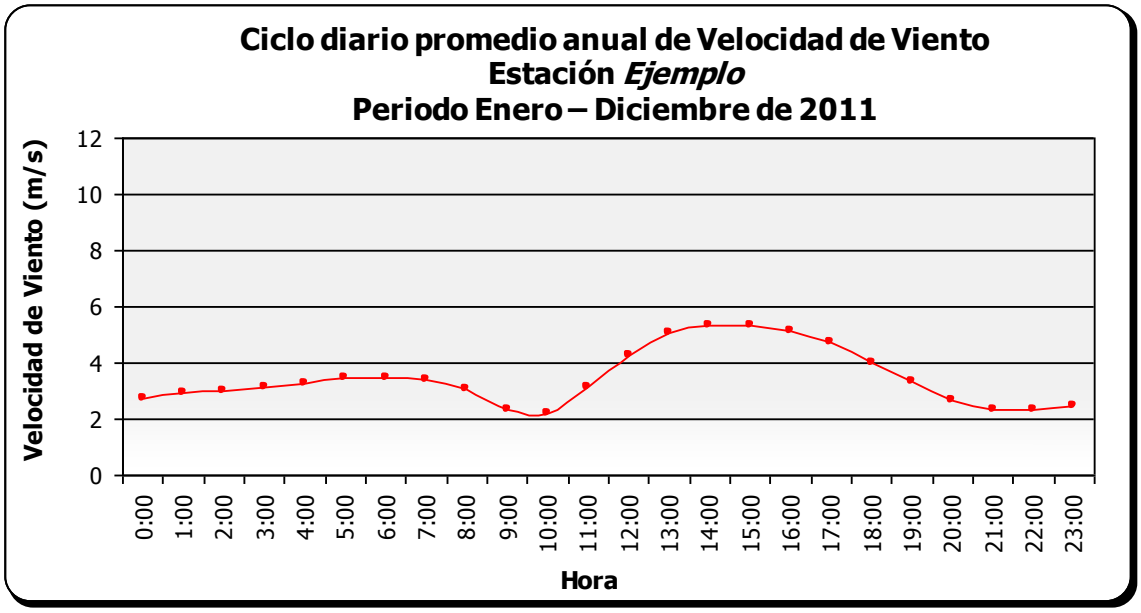


Figura 19: Ejemplo de ciclo diario promedio anual de velocidad de viento.
Fuente: Enviromodeling Ltda.

Finalmente, utilizando los datos de Velocidad y Dirección de viento observados, y mediante el uso del Software WRPLOT View de Lakes Enviromental, se generarán rosas promedio anuales, como la que se presenta en Figura 20, por periodos horarios y de diferentes periodos climáticos para cada estación monitora. Estas rosas de viento permiten tener una aproximación al comportamiento diurno y nocturno de los vientos en distintos periodos del año y su relación o influencia con los niveles de contaminantes medidos en la zona.

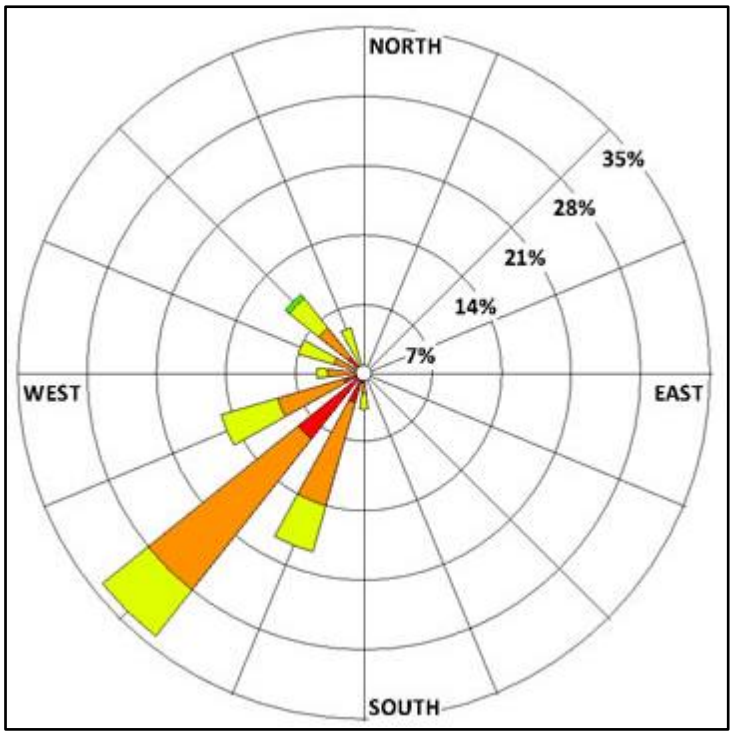


Figura 20: Ejemplo de rosa de vientos promedio anual.
Fuente: Enviromodeling Ltda.

4.2.2. Modelación Meteorológica

La modelación meteorológica se genera para cada proyecto, para el periodo de un año o cuatro meses representativos de las estaciones del año, utilizando el modelo WRF, actualmente en su versión más reciento 3.8, de acuerdo a los criterios de implementación regulados por el SEA. El diagrama de operación de este proceso se presenta en Figura 21, donde se muestran los Input y Output de este proceso.

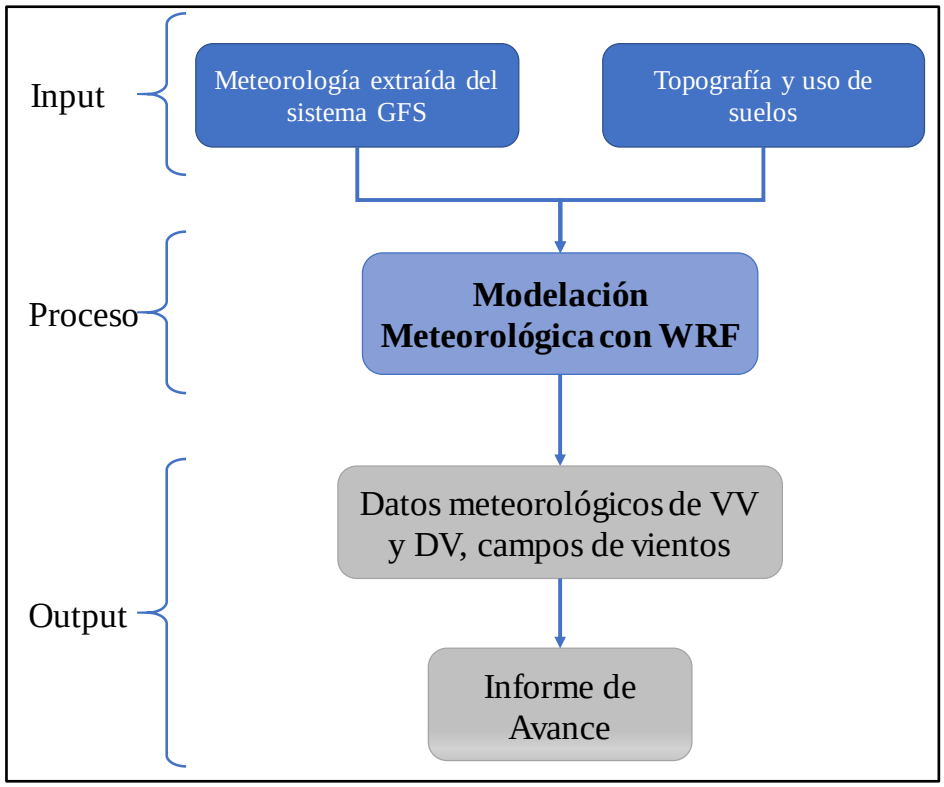


Figura 21: Diagrama de operación del proceso de Modelación con WRF.
Fuente: Elaboración propia.

El modelo se implementa utilizando grillas anidadas, hasta llegar a una resolución de la última grilla de 1 km x 1 km. El área a considerar en esta última grilla es de un mínimo de 60 x 60 km^2, dependiendo del tipo de proyecto.

La meteorología considerada como entrada al modelo WRF corresponde a los datos históricos globales del periodo a considerar en el EIA, proporcionados por el Sistema Global Forecast System (GFS), de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) de USA, con una resolución temporal de 3 horas y resolución espacial de 0.5 grados.

En general, el periodo meteorológico a considerar es de un año para las modelaciones de dispersión de contaminantes atmosféricos primarios y para cuatro meses representativos de

cada estación climática para modelaciones fotoquímicas de contaminantes de origen secundario.

Los resultados del modelo WRF se presentan como campos de vientos a través del software de visualización CalDESK Advanced[84] y también se obtienen como variables meteorológicas como velocidad y dirección de vientos y temperatura para coordenadas puntuales en donde se ubican las estaciones monitoras mediante un post-procesador desarrollado por Enviromodeling.

Estas modelaciones se realizan por periodos de 7 días en corridas paralelas en 3 o 4 computadores con sistema operativo Linux y procesadores de múltiples núcleos de entre 2.8 a 3.6 GHz, dependiendo del periodo, resolución y dominio de modelación apropiado para cada proyecto. También dependiendo de esto, las modelaciones se pueden demorar entre 4 días a 3 semanas.

4.2.3. Análisis de Incertidumbre

El análisis de incertidumbre o sensibilidad de los resultados del modelo meteorológico WRF es un aspecto fundamental de acuerdo a los requerimientos de la "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA". Este análisis se realiza para el periodo de un año y para los 4 meses representativos de cada estación climática, información meteorológica que se usa para realizar las modelaciones con los sistemas de modelación CALPUFF y CAMx, respectivamente.

[84] Software de visualización y Análisis, Desarrollado por Enviromodeling Ltda., para los modelos WRF, CALPUFF y CAMx.

Los modelos utilizados para predecir impactos tienen asociados errores e incertidumbres, por lo que es necesario analizar estos errores realizando una comparación entre las variables observadas y modeladas, evaluando así su capacidad predictiva.

En Figura 22 se presenta el diagrama de operación del proceso de Análisis de Incertidumbre. En esta figura se observa que los Input de este proceso son los Output de dos procesos descritos anteriormente: Modelación meteorológica con WRF y Análisis de Información Ambiental (Línea base meteorológica).

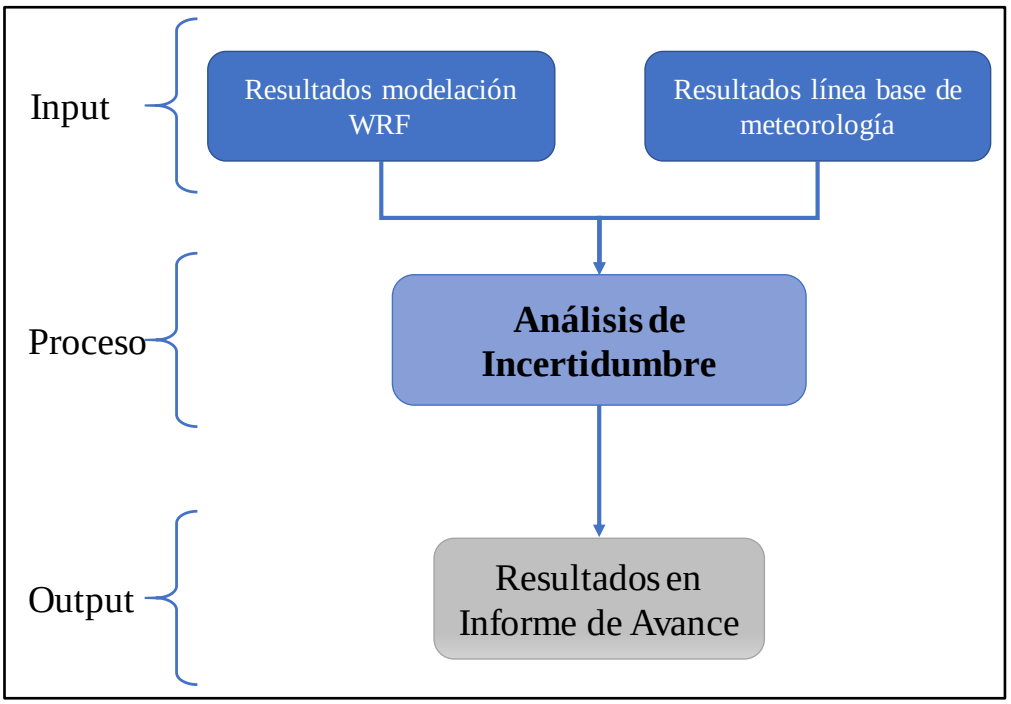


Figura 22: Diagrama de operación del proceso de Análisis de Incertidumbre.
Fuente: Elaboración propia.

Para fines de este análisis, se compara la meteorología de WRF generada por el modelo, generalmente, en su primer nivel (20 m), con la meteorología proporcionada por las

estaciones monitoras (datos locales observados a 10 metros procesados en la etapa de análisis de información ambiental).

El análisis de incertidumbre se realiza en base al diagnóstico en base a datos observados y a la comparación de meteorología observada y modelada (análisis cualitativo y cuantitativo), considerando las variables meteorológicas de velocidad y dirección de viento como de primer orden de relevancia en el fenómeno de dispersión de contaminantes.

El análisis comparativo cualitativo consiste en la comparación gráfica de ciclos diarios promedios y rosas de viento modeladas y observadas, tal como en el ejemplo presentado en Figura 23. En cuanto al análisis cuantitativo se realizan dos 2 tipos de actividades. En primer lugar, se realiza la comparación de velocidades de vientos promedio modeladas con WRF y observadas en las estaciones de la zona de modelación durante el intervalo horario de las 00:00 – 23:00 horas.

En segundo lugar, como parte de la evaluación cuantitativa se realiza un análisis estadístico entre los datos observados y modelados de velocidad de viento promedio. En este caso se aplica el test de observaciones pareadas T de Student. Para realizar este test se utiliza el software Excel. La prueba t para muestras pareadas se utiliza para comparar dos medias poblacionales, donde se tiene dos muestras en que las observaciones en una muestra se pueden combinar con las observaciones de la otra muestra. El Test de Student permite determinar si existen o no diferencias significativas entre las medias de los valores de dos grupos de muestras, en este caso las medias de los valores promedio anuales observados y las medias de los valores promedio anuales modelados considerando un nivel de confianza del 95%.

Todo este procedimiento se debe realizar tanto a las variables meteorológicas de superficie como de altura disponibles en cada proyecto.

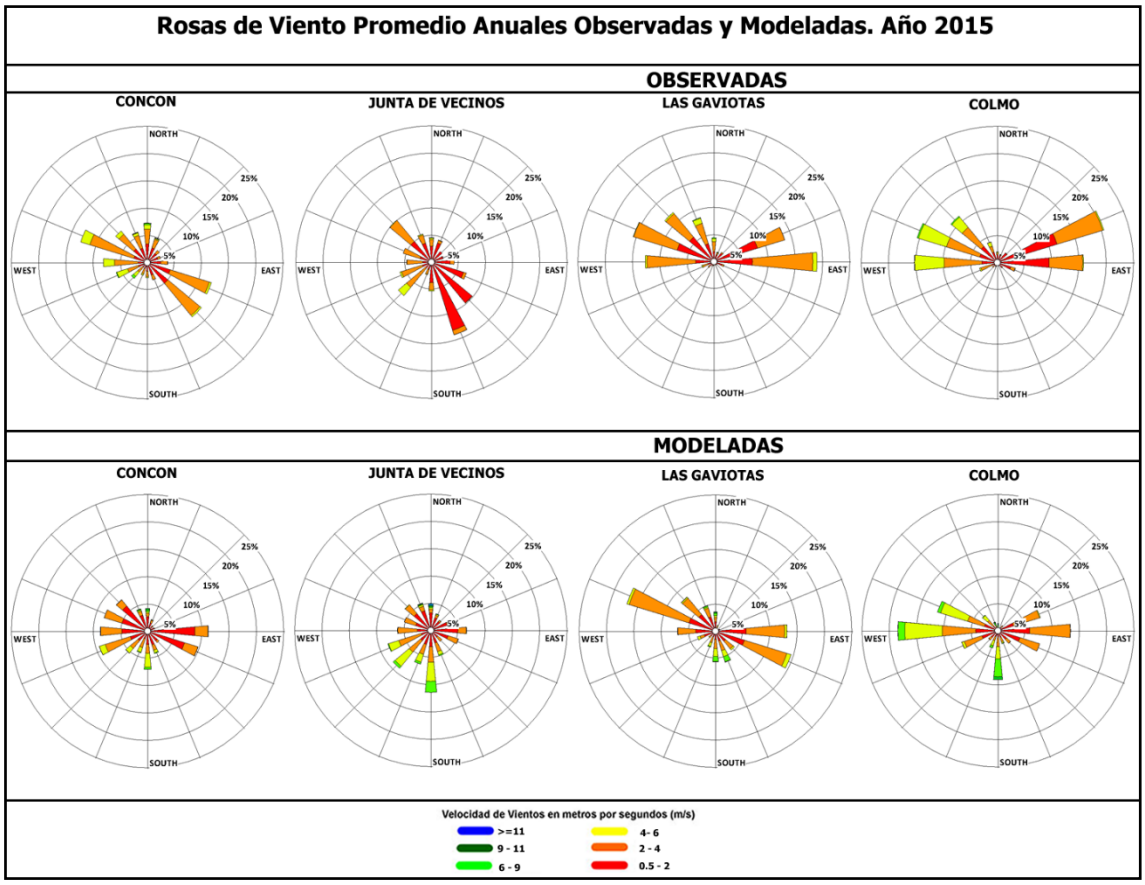


Figura 23: Rosas de viento en superficie promedio anual observadas y modeladas con WRF durante el año 2015 en las estaciones meteorológicas Concón, Junta de Vecinos, Las Gaviotas y Colmo de la zona de Concón.

Fuente: Enviromodeling Ltda.

4.2.4. Desarrollo de Inventario de Emisiones Atmosféricas

El inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos es un instrumento estratégico para la gestión de la calidad del aire. Un inventario permite conocer las fuentes emisoras de contaminantes, así como el tipo y cantidad de contaminantes que emite cada una de ellas[85].

El diagrama general de operación del Desarrollo de Inventario de Emisiones se muestra en Figura 24. Como se aprecia en este diagrama, para elaborar un inventario es necesario obtener la información de descripción del proyecto y los resultados de laboratorios de análisis físicos que entregan el porcentaje de humedad y contenido de finos de suelos y materiales, parámetros que se utilizan para calcular los factores de emisión.

[85] SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES DE MÉXICO (s.f.). *Inventario de emisiones*, obtenido de: http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/calidad-del-aire/inventario-de-emisiones.

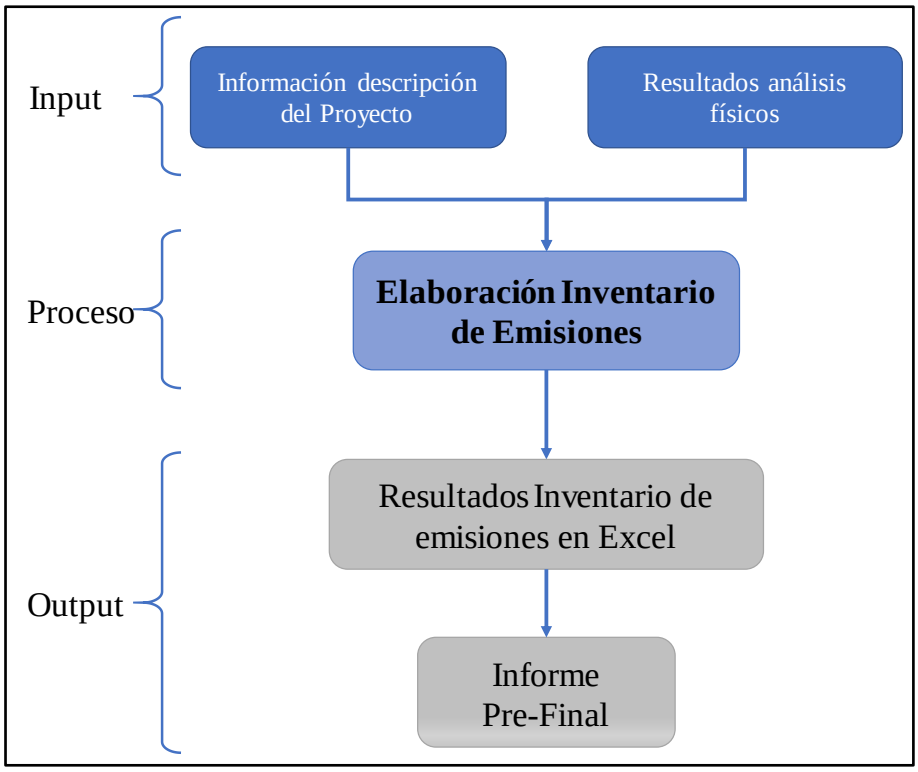


Figura 24: Diagrama de operación del proceso de Elaboración de Inventario de Emisiones. Fuente: Elaboración propia.

El Inventario de Emisiones considera las actividades y procesos unitarios de cada proyecto que puedan causar, en cualquiera de las fases, la emisión de contaminantes a la atmósfera. Es decir, se realiza un inventario para la fase de construcción del proyecto y otro para la operación.

Los contaminantes incluidos en cada inventario de emisiones están determinados por cada tipo de proyecto, pero frecuentemente son: MP10, MP2.5, MPS, NOx, SO_2 y CO.

Para cada fase del proyecto se identifican los principales procesos que se encuentran presentes en las actividades emisoras. Esta información constituirá la base para la elaboración

del Inventario de Emisiones y la entrega la ingeniería del proyecto a través de la Descripción del Proyecto, Capítulo I del EIA, o un avance de éste con la información necesaria.

Si es posible se realiza una visita a terreno, con el fin de revisar el terreno en donde se ubicará el proyecto y tomar muestras de suelos. Estas muestras son enviadas a laboratorios certificados para que les realicen análisis físicos con el propósito de obtener el contenido de finos (material que pasa por la malla tyler 200 de 75 µm) y porcentaje de humedad del material. Estos parámetros son esenciales en el cálculo de emisiones de algunos procesos.

Con la información recolectada, se calcularán las emisiones de contaminantes de las distintas actividades emisoras de cada fase del proyecto, mediante Excel. Estos cálculos se desarrollan mediante la metodología de cálculo de emisiones recomendada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S.EPA – Environmental Protection Agency).

La metodología está representada mediante la siguiente ecuación:

$$Em_i : FE_i * NA_j * \left[1 - \frac{EC_i}{100}\right]$$

Donde:

Emi: Emisión de contaminante i (kg/día, Ton/año).

FEi: Factor de Emisión (masa de contaminante liberada por unidad de masa procesada; kg/ton) de la actividad o proceso para el contaminante i.

NAi: Nivel de Actividad del proceso j (kg/día, ton/año).

ECi: Eficiencia de Control de Emisiones del proceso j (%).

Un factor de emisión es determinado mediante experimentos en terreno y permite estimar la cantidad liberada a la atmósfera de un contaminante en función de la actividad asociada a la generación de dicho contaminante. Estos factores se expresan generalmente en unidades de masa del contaminante por unidad de masa, volumen o distancia recorrida del proceso emisor.

El uso de estos factores facilita la estimación de emisiones de variadas fuentes de contaminación atmosférica. En la mayoría de los casos, estos factores son simplemente promedios de toda la información disponible de calidad aceptable; que se asumen como representativos de los promedios al largo plazo, para las instalaciones, actividades o procesos unitarios en la categoría de la fuente emisora.

Los factores de emisión a utilizar se obtienen de los siguientes documentos:

- "Recopilación y Sistematización de Factores de Emisión al Aire", elaborado por BS Consultores para el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), mayo 2015.
- "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la Región Metropolitana" del Seremi Medio Ambiente Región Metropolitana, año 2012.
- "Compilación de Factores de Emisión de Contaminantes del Aire AP42, Quinta Edición" de la EPA-USA (United States Environmental Protection Agency), publicado el año 1995. Desde entonces la EPA ha publicado suplementos y actualizaciones de los quince capítulos disponibles para fuentes puntuales y de área.

- "Manual Técnico de Estimación de Emisiones" de la NPI (National Pollutant Inventory) del Gobierno de Australia, año 2008.

En general, los principales procesos emisores, cuyos factores de emisiones se consideran para el cálculo de emisiones de contaminantes atmosféricos son los siguientes:

- Polvo resuspendido por tránsito en Calles pavimentadas y no pavimentadas.
- Carguío Pala-Camión.
- Descarga de Material.
- Perforaciones.
- Tronaduras.
- Excavaciones
- Chancado (Primario, secundario y terciario).
- Erosión Eólica.
- Combustión de motores.
- Grupos electrógenos.
- Etc.

Finalmente, el inventario de emisiones de cada fase del proyecto contiene, a lo menos, lo siguiente:

- Factores de emisión utilizados, con sus correspondientes referencias.
- Detalle de las variables usadas en el cálculo de los factores de emisión, con sus fuentes de origen (porcentaje de humedad, contenido de finos, etc.).
- Niveles de actividad.

- Porcentaje de eficiencia de las medidas de control.
- Tasa de emisión anual, o por otra unidad de tiempo, de cada actividad emisora.

En el caso de proyectos de Centrales Termoeléctricas, las emisiones de la fase de construcción se calculan en Enviromodeling, en cambio las de operación son entregadas directamente por el mandante. Estas emisiones las entrega el fabricante en conjunto con ingeniería del proyecto, al igual que las especificaciones como altura y diámetro de las chimeneas, temperatura y velocidad de gases de salida.

4.2.5. Modelación de Calidad de Aire

Dependiendo del tipo de proyecto, se realizan dos tipos de modelaciones de calidad de aire para evaluar el impacto de contaminantes. Estos dos tipos y los contaminantes que consideran son los siguientes:

- **Modelación de dispersión de contaminantes primarios**: Estas modelaciones se realizan mediante el modelo CALPUFF, modelo lagrangiano de dispersión tipo puff que permite simular el transporte, dispersión e impacto de emisiones de contaminantes primarios de procesos naturales y antropogénicos. Este modelo se implementa utilizando la meteorología generada por WRF para un año y sirve para predecir el aporte de los proyectos considerando los contaminantes primarios MP10, MP2.5, MPS, NO_2, SO_2 y CO.
- **Modelación de dispersión de contaminantes secundarios**: Estas modelaciones se realizan mediante el modelo CAMx y CALPUFF. El modelo fotoquímico CAMx considera el estado del arte de la fotoquímica atmosférica, para evaluar el incremento

en los niveles de Ozono (O_3) y Material Particulado Secundario (MP2.5) debido a emisiones de precursores de estos contaminantes, en un dominio o área de interés. El modelo se alimenta de la micrometeorología generada por el modelo WRF, además de las emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NOx), Compuestos orgánicos volátiles (COV), Anhídrido Sulfuroso (SO_2), Monóxido de Carbono (CO), etc., de las diferentes fuentes existentes en el área de modelación. Este modelo se implementa utilizando la meteorología generada por WRF para cuatro meses del año representativos de cada estación, generalmente, enero – verano, abril – otoño, julio – invierno y octubre - primavera.

Por otra parte, el modelo CALPUFF también se utiliza para evaluar el aporte de MP2.5 secundario como la formación de SO_4, HNO_3 y NO_3.

En Figura 25 se presenta el diagrama general del proceso de modelación de calidad de aire. Como se observa en esta figura, el proceso de modelación tiene como Input los Output de los procesos detallados anteriormente Desarrollo de Inventario de Emisiones y Modelación con WRF.

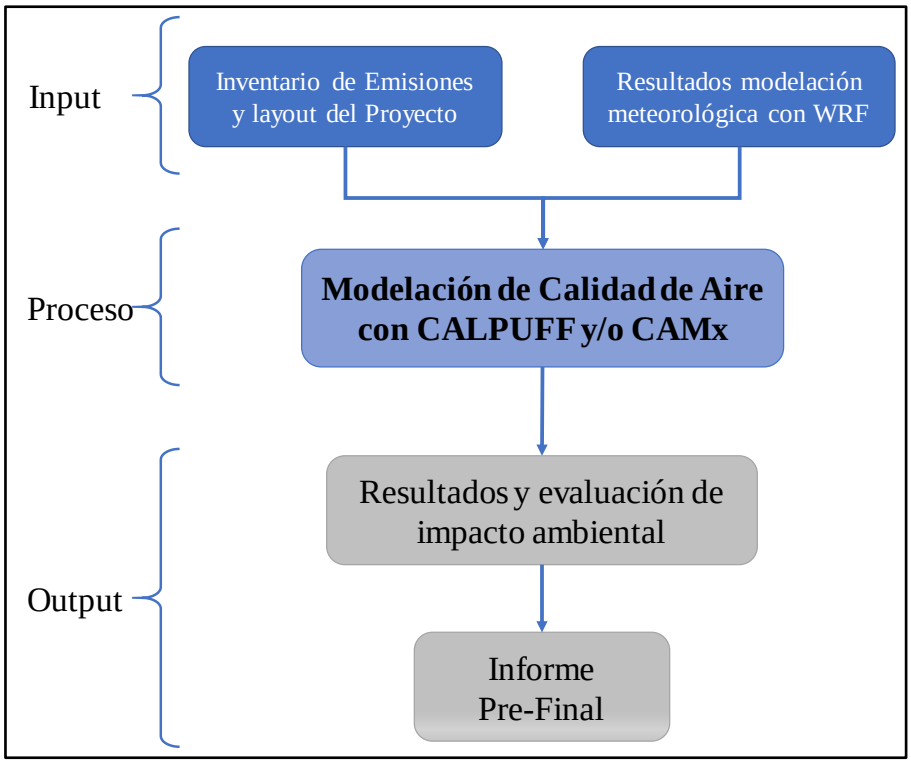


Figura 25: Diagrama de operación del proceso de Modelación de Calidad de Aire. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de resultados del modelo CALPUFF se realiza con el software CalDESK Advanced y para el modelo CAMx se utiliza la interface gráfica CAMx-Desk, ambos desarrollados por Enviromodeling. Estas herramientas permiten generar mapas de isoconcentraciones de contaminantes y visualizar los resultados de todas las variables entregadas por los modelos, en un mapa de la zona con uso de suelos, ubicación de ciudades, calles, etc.

Por otra parte, los resultados de los aportes de contaminantes de los proyectos en receptores puntuales, identificados con su ubicación geográfica, se obtienen con procesadores especiales. En el caso de los resultados de CALPUFF, el sistema tiene el post-procesador CALPOST, el cual entrega las concentraciones como promedios, máximos horarios y diarios

y/o concentraciones horarias. Estos últimos sirven para calcular en Excel estadísticas especiales según la norma de cada contaminante, como por ejemplo en el caso del CO, cuya norma hace referencia al percentil 99 de las máximas diarias concentraciones 8 horas (promedio móvil).

En lo que respecta a los resultados de CAMx, también se obtienen resultados puntuales mediante post-procesadores que entregan las estadísticas de Ozono (percentil 99 de las máximas diarias concentraciones 8 horas) y MP2.5 secundario (promedio y percentil 98 de las concentraciones 24 horas).

Las modelaciones con CALPUFF se realizan para el periodo de un año en una corrida para receptores de grilla en todo el dominio de modelación y en otras para receptores discretos en forme paralela un computador con sistema operativo Windows de procesador i7 de múltiples núcleos (hasta 8 virtuales) de entre 2.8 GHz. Dependiendo de la resolución y dominio de modelación (apropiado para cada proyecto), las modelaciones se pueden demorar entre 1 hora hasta 4 días.

En el caso de CAMx, las modelaciones se realizan por periodos de un mes en corridas paralelas en 3 o 4 computadores con sistema operativo Linux y procesadores de múltiples núcleos de entre 2.8 a 3.6 GHz. Dependiendo de la resolución y dominio de modelación (apropiado para cada proyecto), las modelaciones se pueden demorar entre 1 a 2 semanas.

4.2.6. Preparación de Informe de Resultados

Los resultados de las actividades descritas anteriormente se presentan generalmente en 3 informes de resultados: Informe de Avance, Pre-Informe Final e Informe Final. Cada uno de estos informes y sus contenidos se describen a continuación:

- Informe de Avance: Este informe se con los resultados del análisis de información ambiental, los resultados de la modelación meteorológica con WRF y el análisis de incertidumbre.

- Pre-Informe Final: Este informe contiene todos los resultados del estudio, incluyendo la evaluación de impacto en la calidad del aire, además de las correcciones a observaciones realizadas por la contraparte al Informe de Avance.

- Informe Final: Este informe contiene el 100% de los resultados del estudio, incluidas todas las observaciones y requerimientos realizados por la contraparte al Pre-Informe Final.

Los informes son entregados en formato digital, incluyendo como anexos las copias de todo el material y bases de datos generadas durante el estudio, tales como: cálculos para obtener Inventario de Emisiones en Excel, archivos de entrada y salida de los diferentes modelos utilizados.

En Figura 26 y Figura 27 se presentan los resultados de las actividades indicadas en Figura 16 que se incluyen en el Informe de Avance e Informe Final, respectivamente.

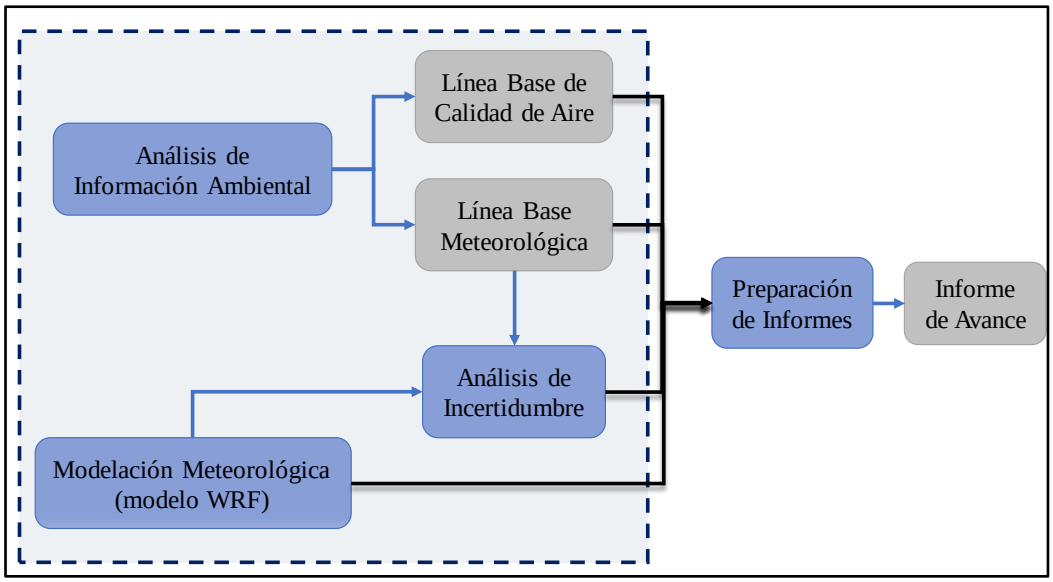


Figura 26: Resultados entregados en Informe de Avance.

Fuente: Elaboración propia.

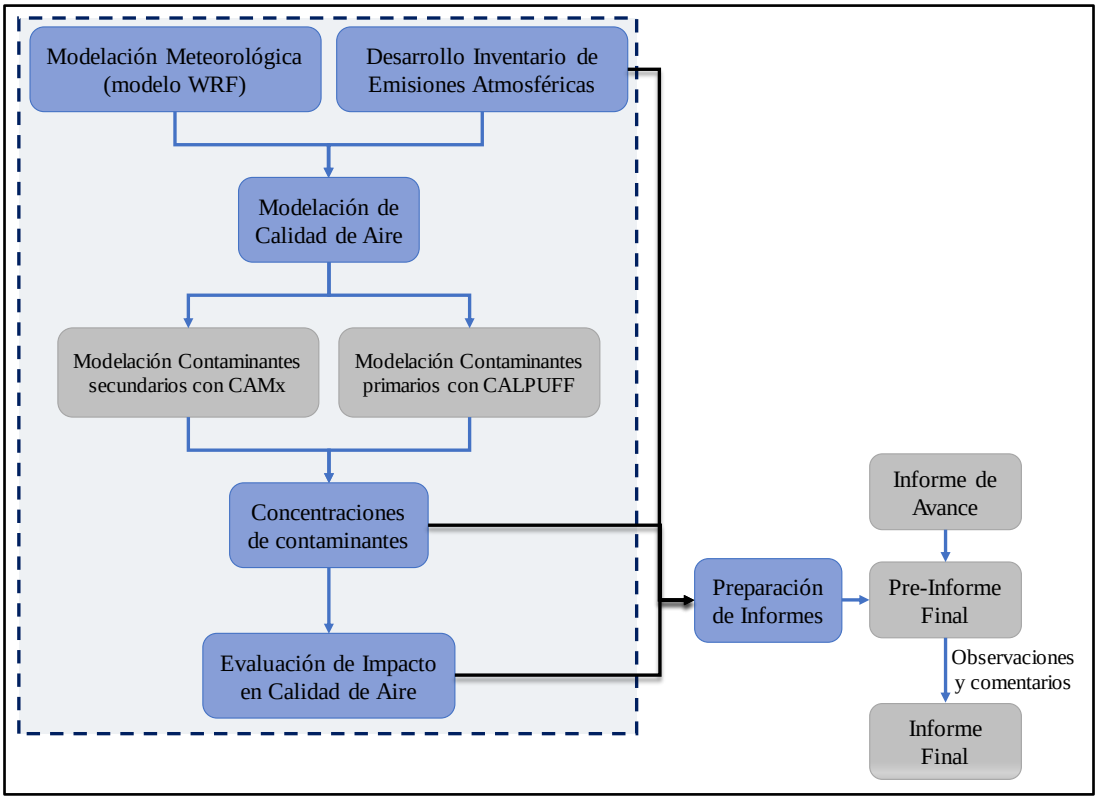


Figura 27: Resultados entregados en Pre-Informe Final e Informe Final.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.7. Respuestas a ICSARA

Una vez ingresado el EIA del proyecto al SEIA, los organismos con competencia ambiental entregan sus observaciones, las que se publican en un Informe Consolidado de Aclaraciones, Rectificaciones o Ampliaciones (ICSARA) en un plazo de 120 días o en algunos casos 180 días.

Luego de esto, Enviromodeling debe responder a las aclaraciones solicitadas con respecto al estudio de calidad de aire realizado. En el caso de haber rectificaciones o ampliaciones solicitadas, éstas se discuten con la contraparte y en conjunto con el titular del proyecto se decide si se debe ampliar y actualizar el estudio de calidad de aire. Dependiendo del tipo de requerimiento se pueden realizar nuevas modelaciones y nuevos análisis de resultados, lo que puede constituir un nuevo proyecto para Enviromodeling.

4.3. Análisis Macro de la Situación Actual

4.3.1. Análisis de Proyectos Desarrollados en el Periodo 2010 - 2016

Como se presentó anteriormente, en Sección 4.1.3, la empresa Enviromodeling se dedica principalmente a la realización de estudios de calidad de aire. Dentro de estos estudios, según el cliente, los proyectos se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- Minería: Estudios realizados para clientes finales relacionados con actividades mineras, tales como: explotaciones mineras a rajo abierto, actividades en tranques de relaves, fundición y refinería de metales, desarrollo de botaderos de estériles, etc.

- Energía: Estudios realizados para clientes finales relacionados con la construcción y operación de centrales termoeléctricas, líneas de transmisión y refinerías de petróleo.

- Gestión: Estudios para clientes finales relacionados con la gestión de calidad de aire del país, es decir, entidades gubernamentales que tienen como fin la protección de la población y los recursos naturales.

- Otros: Estudios realizados para otros tipos de clientes finales que no están en las categorías anteriores, tales como: chancherías, celulosas, cementeras, etc.

En Tabla 5 se presentan los estudios de las tres primeras categorías realizados por Enviromodeling para el periodo 2010 – 2016, debido a su mayor demanda, clasificados por año y categoría, minería, energía y gestión.

En Tabla 5 se presenta además del nombre del proyecto, el mandante y el titular del Proyecto (cliente final). En algunos casos el mandante es el titular y en otros se trata de subcontratos por parte de otras consultoras ambientales que están a cargo del EIA del Proyecto. En esta tabla se aprecia que más de la mitad de proyectos es contratado directamente por el titular del proyecto y en una cantidad un poco menor (44% del total) son contratados por un intermediario a cargo del EIA completo del Proyecto.

Tabla 5: Proyectos de minería, energía y gestión realizados por Enviromodeling durante el periodo 2010 – 2016.

Año	Proyecto	Categoría	Mandante	Titular
2016	Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Nueva ERA.	Energía	SGA	ENAP
	Estudio Modelación el Rajo de Dominga	Minería	SGA	Andesiron
	Actualización de la Información de Emisiones para Material Particulado Respirable y sus Precursores en la Ciudad de Calama.	Gestión	SEREMI Ministerio de Medio Ambiente Antofagasta	
	Estudio de Calidad de Aire para EIA del Proyecto de Expansión de Los Pelambres.	Minería	Minera Los Pelambres	
	Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble.	Energía	SGA	Global Power Generation Chile Spa
	Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Luz de Atacama.	Energía	+MG Medioambiente y Gestión	CONCESIONARIA LUZ DE ATACAMA SPA
2015	Modelación del Impacto en la Calidad del Aire por Ozono de las Emisiones del Complejo Industrial Coker de la Refinería Aconcagua de ENAP.	Energía	Jaime Illanes y Asociados	ENAP
	Estudio de Calidad de Aire del Proyecto Crecimiento Marginal de Minera Los Pelambres.	Minería	Minera Los Pelambres	
	Actualización Inventario de Emisiones y Modelamiento de Dispersión de Contaminantes, Proyecto Quetena.	Minería	CODELCO	
2014	Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Bocamina de ENDESA.	Energía	SGA	ENDESA (ENEL)
	Modelación del Impacto en la Calidad del Aire, de las Emisiones de la Empresa Härting.	Minería	Harting	

Año	Proyecto	Categoría	Mandante	Titular
	Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono y MP2.5 de la Operación de Central Energía Minera.	Energía	SGA	Energía Minera S.A. (CODELCO)
2013	Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire de Calama y Chiu Chiu Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros II, en Respuesta a ICSARA Nº 1	Minería	SGA	CODELCO
	Desarrollo del Inventario de Emisiones de MP10 y MP2.5 de Minera Los Pelambres, Año Base 2012.	Minería	Minera Los Pelambres	
	Mejoramiento y Ejecución del Modelo Meteorológico CALMET para la Zona de Minera Candelaria y Entrega de Resultados del Modelo a ARCADIS.	Minería	ARCADIS	Minera Candelaria
	Estudios para Determinar Metodología que Demuestre Cumplimiento de Compromisos de Calidad de Aire y Emisiones División Chuquicamata.	Minería	CODELCO Chuquicamata	
	Modelación del Impacto en la Calidad del Aire de las Emisiones de Precursores de Ozono de la Central Combinada ERA (ENAP Refinería Aconcagua).	Energía	SGA	ENAP
	Evaluación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama y Chiu Chiu debido a las Emisiones del Proyecto Expansión de Sulfuros Fase II de Radomiro Tomic.	Minería	SGA	CODELCO
2012	Actualización de Inventario de Emisiones de MP10, MP2.5 y MPS de Minera los Pelambres al año 2011	Minería	Minera Los Pelambres	
	Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama y Chiu Chiu debido a las Emisiones del Proyecto Quetena – ADENDA Nº 2.	Minería	SGA	CODELCO
	Análisis Eventos Ambientales Críticos por MP10 y MP2.5 en la Ciudad de Calama, Durante Octubre y Noviembre del Año 2011.	Gestión	CODELCO	
	Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama y Chiu Chiu debido a las Emisiones del Proyecto Quetena – ADENDA Nº 1.	Minería	SGA	CODELCO

Año	Proyecto	Categoría	Mandante	Titular
	Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Termoeléctrica Tarapacá Ubicada en Puerto Patache, Zona de Iquique, Primera Región.	Energía	SGA	ENDESA (ENEL)
	Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono Troposférico de las Emisiones de una Central Termoeléctrica a Ser Instalada en Quilpué.	Energía	SGA	No informado
	Modelación de Dispersión de Contaminantes MPS y MP10 Emitidos en Puerto Punta Chungo. Modelación de Impactos Mediante Aplicación de Modelo CALPUFF. Determinación del origen del MP10 Medido en Estaciones Monitoras de Tranque Mauro y Localidad de Caimanes.	Minería	Minera Los Pelambres	
	Modelación de Impactos en la Calidad del Aire por Emisiones de MP2.5 de Minera Los Pelambres y Fuentes Locales en Caimanes.	Minería	Minera Los Pelambres	
2011	Asesoría de Evaluación y Revisión del Estudio de Evaluación Ambiental del Proyecto Expansión Fase III de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.	Minería	Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi	
	Modelación de Impacto en la Calidad del Aire por MP10 y MP2.5 para el Plan Minero 2012	Minería	Minera Los Pelambres	
	Modelación del Impacto en la Calidad del Aire por Emisiones de MP2.5 de Fuentes locales en la Zona de Caimanes	Minería	Minera Los Pelambres	
	Actualización de Modelación de Impactos en la Calidad del Aire por Emisiones de MP10 y MP2.5 de escenario operacional Base de 175 y futuros de 197 y 210 ktpd de Minera Los Pelambres.	Minería	Minera Los Pelambres	
	Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama y Chiu Chiu debido a las Emisiones de las Etapas de Construcción y Operación del Proyecto Quetena.	Minería	SGA	CODELCO
	Modelación de Impactos en la Calidad del Aire por Emisiones de MP10 del Plan minero 2012 de Minera Los Pelambres.	Minería	Minera Los Pelambres	

Año	Proyecto	Categoría	Mandante	Titular
	Determinación Línea Base Atmosférica para Contaminantes Regulados por Calidad del Aire, Sector Desarrollo Proyecto Chuqui Subterráneo.	Minería	CODELCO	
	Actualización de Inventario de Emisiones de MP10 de Minera Los Pelambres al año 2010 y Evaluación de Impactos en la Calidad del Aire de los Escenarios Operacionales: 159 (Base), 197 y 210 ktpd.	Minería	Minera Los Pelambres	
	Modelación del Impacto de las Emisiones de MP10 del Proyecto Nuevo Botadero de Ripios de Radomiro Tomic.	Minería	Hatch Ltda.	CODELCO
	Desarrollo de Estudios de Modelación de Calidad de Aire para el Plan de Descontaminación de Calama.	Gestión	CODELCO	
2010	Servicio Revisión y Re - Modelación Ambiental de SO_2 Proyecto Reinicio Operación Planta de Renio, Subgerencia Concentración	Minería	CODELCO	
	Optimización del Diseño Actual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire en la Zona Saturada de Calama II Región.	Gestión	CODELCO	
	Identificación de Medidas para el Mejoramiento de la Calidad de Aire en Localidades de la Comuna de Pozo Almonte.	Gestión	CONAMA Región de Iquique	
	Modelación del Impacto de las Emisiones MP10 de la División El Salvador.	Minería	CIMM T&S	CODELCO
	Evaluación Integral del Impacto de las Emisiones de MP10 de Minera Los Pelambres en la Calidad del Aire de su Entorno, Actualización Año 2009.	Minería	Minera Los Pelambres	
	Evaluación de impactos de las emisiones de Minera Los Pelambres en la calidad del aire: escenarios operacionales 175, 197 y 210 ktpd	Minería	Minera Los Pelambres	
	Modelación del Impacto de las Emisiones MP10 del Tranque de Relaves Pampa Austral de la División CODELCO El Salvador en la Calidad del Aire en Localidades Cercanas, Parte II.	Minería	CIMM T&S	CODELCO

Fuente: Elaboración propia.

En Figura 28 se presenta un gráfico con la cantidad de proyectos realizados por Enviromodeling en el periodo 2010 – 2016 de los sectores Minería, Energía y Gestión. Como se observa en este gráfico, los proyectos por categorías son variables a través de los años. En Figura 28 se observa que el sector Energía ha ido en alza durante los últimos cinco años, en cambio los proyectos de Gestión han ido disminuyendo. En cuanto a los proyectos de Minería, si bien se mantienen, han disminuido en cantidad. Se observa además que durante el año 2011 se realizaron hasta 9 proyectos de Minería en el año. El hecho de que durante los años 2014 y 2015 no se realizaran proyectos de Gestión puede ser relacionado a la baja demanda de éstos debido a que los planes de descontaminación y prevención de calidad de aire se revisan cada cuatro años.

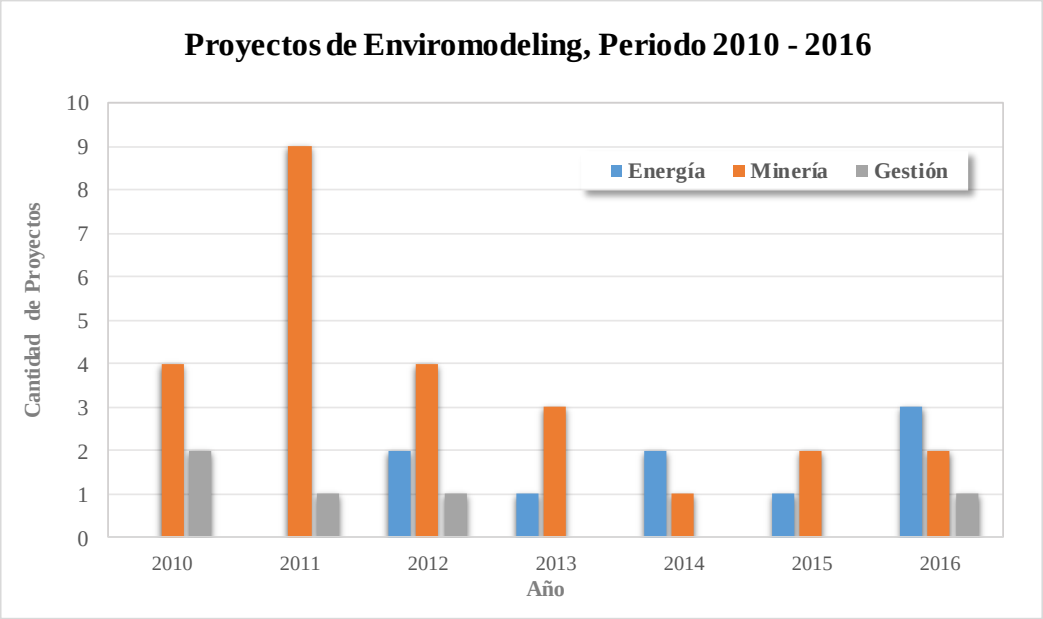


Figura 28: Cantidad de proyectos de Enviromodeling por categorías de Minería, Energía y Gestión, periodo 2010 – 2016.

Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, se observa que el fuerte de los proyectos de calidad de aire son del sector Minería y Energía, como se observa en Figura 29, en el periodo 2010 – 2016 el 64% de los proyectos realizados correspondieron a Minería seguido por un 23% del sector Energía.

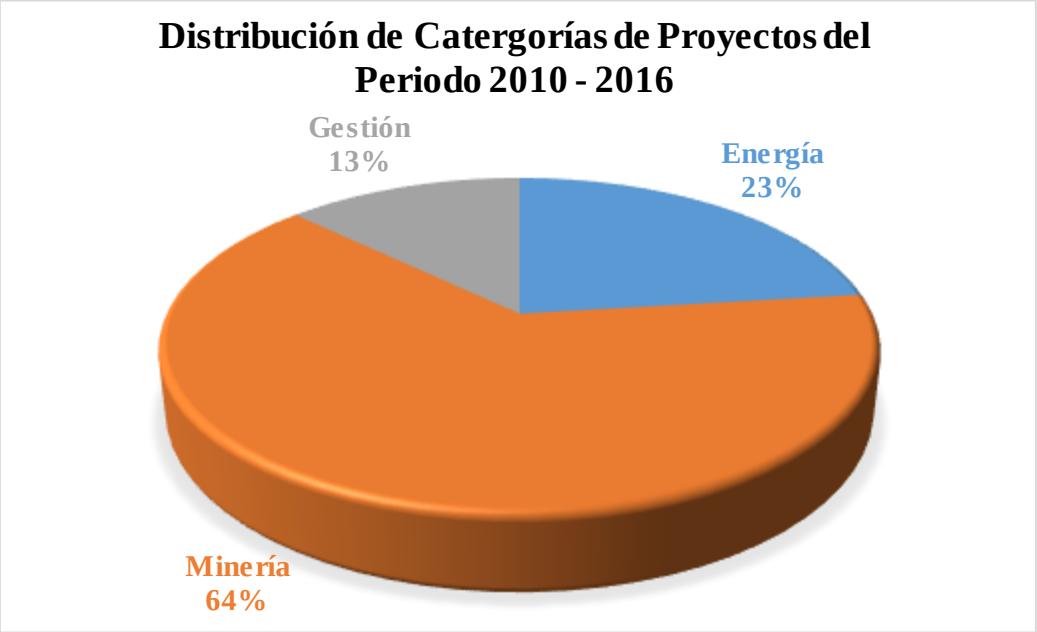


Figura 29: Distribución de proyectos de Enviromodeling por categorías de Minería, Energía y Gestión, periodo 2010 – 2016.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Análisis de los Procesos del Área de Estudios de Calidad de Aire

En Figura 30 se presenta un diagrama general de los procesos de Enviromodeling. En este diagrama se observa el flujo de información a través de flechas. Las azules representan la información que debe pasar de un proceso a otro y las grises los resultados que deben ir a los informes de Avance, Pre-Informe Final y Final.

Como se observa en Figura 30, los resultados obtenidos del análisis de información ambiental y de la modelación meteorológica con WRF son parte del análisis de incertidumbre,

por lo que los dos primeros procesos mencionados se realizan primero y se pueden hacer en paralelo. También se observa que los resultados de los tres procesos se presentan en el Informe de Avance.

También se observa que los resultados de la modelación con WRF y del inventario de emisiones se deben obtener antes de la modelación de calidad de aire (con CALPUFF y/o CAMx). Estos procesos también pueden ser en paralelo, sin embargo, dependiendo de la complejidad del Proyecto el inventario de emisiones puede extenderse por más tiempo, sobre todo si se informan cambios en el Proyecto.

Los resultados del inventario de emisiones, de la modelación de calidad de aire más lo presentado en el Informe de Avance se presentan en el Pre-Informe Final. Luego de recibidas las observaciones a éste de parte de la contraparte técnica de termina el Informe Final del servicio.

En conclusión, un atraso en el proceso de análisis de información ambiental causa un atraso en el proceso del análisis de incertidumbre y a su vez esto provoca un atraso en la entrega del Informe de Avance.

Por otro lado, un atraso en el proceso de modelación con WRF produciría también un atraso en el análisis de incertidumbre y un atraso en el proceso de modelación de calidad de aire. Otro proceso que podría retrasar la modelación de calidad de aire es la elaboración del inventario de emisiones. El atraso en la modelación de calidad de aire provocaría un retraso en el Pre-Informe Final.

Finalmente, el término del servicio depende de las observaciones por parte de la contraparte técnica al Pre-Informe Final. Luego de recibidas y solucionadas las observaciones, se puede entregar el Informe Final.

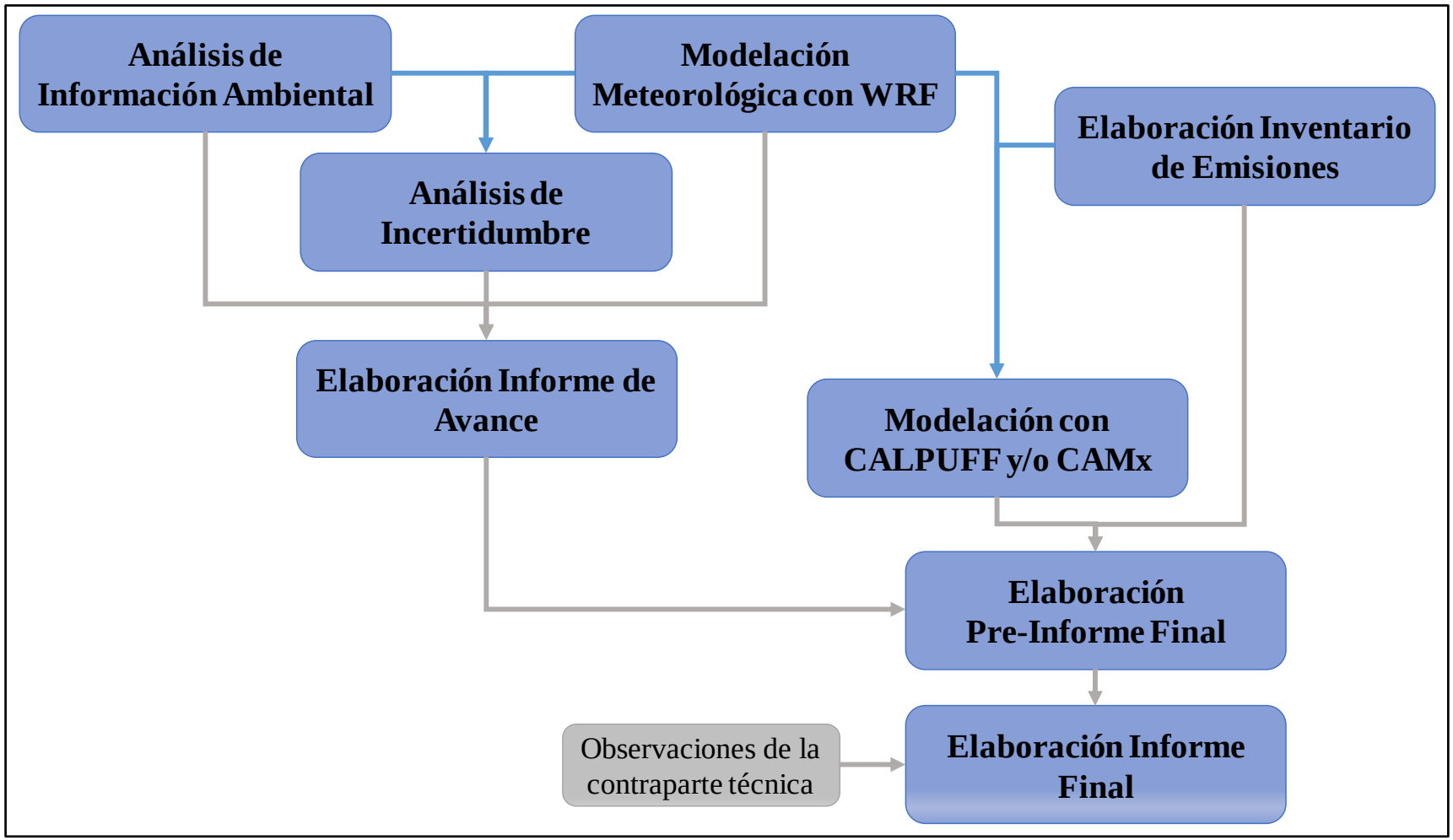


Figura 30: Diagrama general de procesos de Enviromodeling Ltda.

Fuente: Elaboración Propia.

El análisis anterior se complementará a continuación con la aplicación del método de ruta crítica por CPM. En Tabla 6 se presentan las actividades del proceso de elaboración de estudios de calidad de aire con sus respectivas actividades predecesoras y duración en semanas. Con esta información se elaboró el diagrama de redes para CPM presentado en Figura 31.

La información sobre la duración de cada actividad indicada en Tabla 6 es un promedio obtenido de la experiencia del equipo de profesionales de Enviromodeling de los distintos proyectos que se han trabajado en el último año.

Tabla 6: Actividades del proceso de elaboración de estudios de calidad de aire, actividades predecesoras y duración.

ID	**Actividad**	**Actividad Predecesora**	**Duración (semanas)**
A	Análisis información ambiental	-	2
B	Modelación meteorológica con WRF	-	3
C	Análisis de Incertidumbre	A, B	2
D	Elaboración de Inventario de Emisiones	-	4
E	Modelación con CALPUFF y/o CAMx	B, D	3
F	Elaboración de Informe de Avance	A, B, C	1
G	Elaboración de Pre-Informe Final	D, E, F	3
G’	Entrega de Observaciones de cliente	G	2
H	Elaboración de Informe Final	G’	2

Fuente: Elaboración Propia.

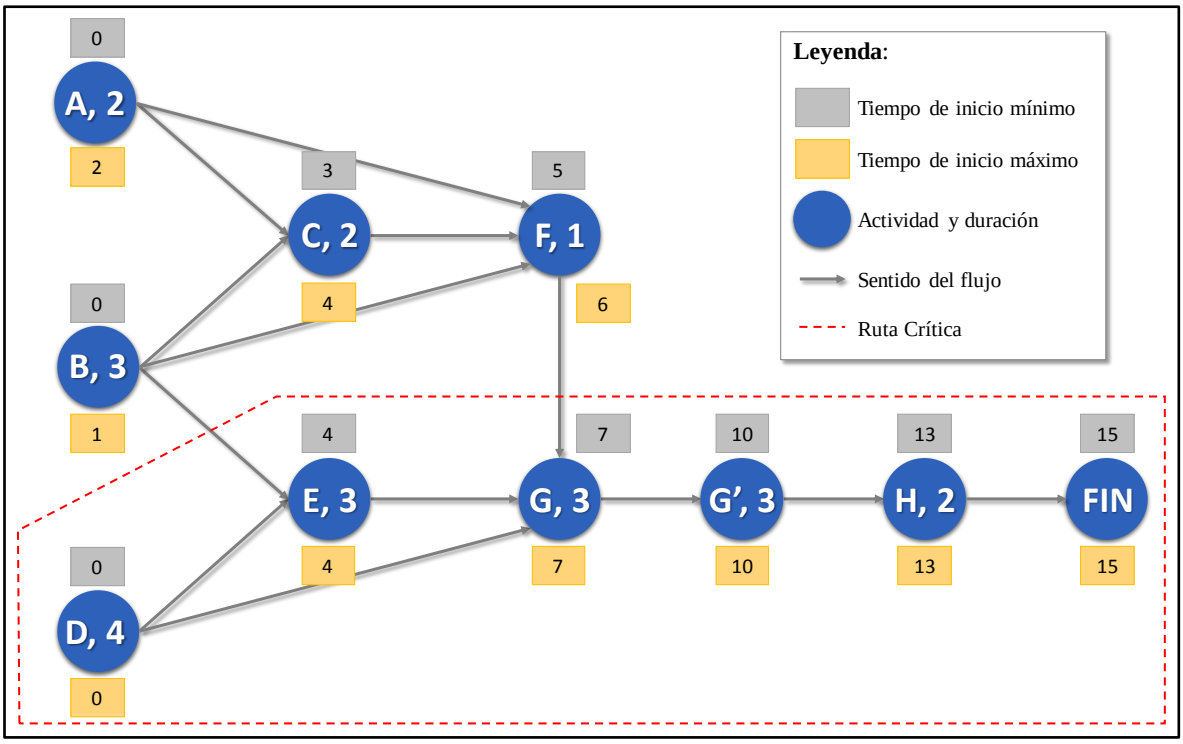


Figura 31: Diagrama de redes para CPM y Ruta Crítica resultante.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en Figura 31, la ruta crítica se compone por cinco actividades de un total de nueve, las que se presentan en Figura 32 con sus tiempos respectivos. Las actividades de la Ruta Crítica representan un 56% del total con una duración de 15 semanas.

También se aprecia en Figura 31 que la mayor parte de las actividades fuera de la Ruta Crítica solo tienen una semana de holgura y solo una actividad tendría una holgura de dos semanas.

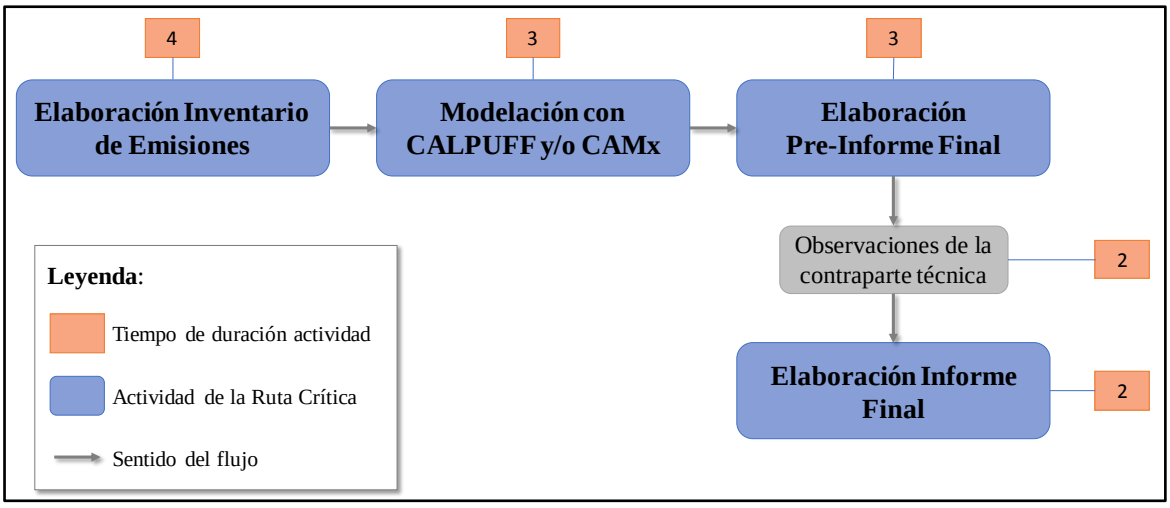


Figura 32: Ruta Crítica resultante y actividades del proceso de elaboración de estudios de calidad de aire.

Fuente: Elaboración propia.

De lo presentado en Figura 32 se puede observar que la actividad que tiene mayor duración es la elaboración de Inventario de Emisiones con 4 semanas como promedio. Luego le siguen las actividades de modelación de calidad de aire y la elaboración del Pre-Informe Final.

Es importante observar que la actividad de entrega de observaciones de la contraparte técnica es una actividad ajena a la empresa propiamente tal y depende de otros. En este caso se tiene una duración de dos semanas, lo que es un promedio en general. Esta actividad generalmente puede extenderse al ser subcontratada por el mandante del proyecto.

Por otra parte, se debe aclarar que este análisis con los tiempos promedio por actividad son tiempos puros, es decir, de las tareas propias de cada actividad y no contemplan atrasos de parte de clientes de entrega de información para el comienzo del proceso. Esta información es sobre lo siguiente:

- Actividad de análisis de información ambiental: datos meteorológicos y de calidad de aire de la zona de estudio.
- Elaboración de Inventario de Emisiones: Información sobre la descripción del proyecto y sus actividades y cronograma de actividades.
- Modelación de calidad de aire: Layout de las actividades del proyecto.
- Elaboración Informe Final: Como se menciona anteriormente, el cliente debe entregar sus observaciones y comentarios al Pre-Informe Final.

4.3.2.1 Diagrama de Flujo y Análisis de Actividades

A continuación, en Figura 33 se presenta un diagrama tipo BPM para el proceso de "Elaboración de Estudios de Calidad de Aire (ECA)" de Enviromodeling, el cual no existía en la empresa con anterioridad. Este proceso completo con sus actividades se describió anteriormente en forma detallada en la Sección 4.2.

Este diagrama se subdivide para presentar las actividades por cada actor responsable. Se identifican las actividades que son responsabilidad del cliente y de los profesionales de Enviromodeling a cargo. En Tabla 7 se presentan los responsables de Enviromodeling de cada proceso productivo.

Tabla 7: Profesionales encargados de cada proceso productivo del área de elaboración de estudios de calidad de aire de Enviromodeling Ltda.

Profesional	Proceso Productivo
Luis V. Matamala	Jefe de proyectos le corresponde participar de todo el proceso y especialmente de la revisión de los informes antes de entregar a los clientes.
LF: Leyla Fuentes	Encargada de: − Análisis de Información Ambiental − Análisis de Incertidumbre

Profesional	Proceso Productivo
FM: Francisco Matamala	Encargado de: - Modelación con WRF - Modelación con CAMx
NR: Nadia Ruminot	Encargada de: - Elaboración de Inventario de Emisiones - Modelación con CALPUFF

Fuente: Elaboración Propia.

Según la opinión de cada encargado, en el diagrama BPM se destacan en color rojo las actividades críticas que dan origen a problemas que impactan de manera negativa en el desarrollo de los proyectos. Además, se destacan en amarillo las actividades adecuadas, las que actualmente se realizan bien y generalmente no presentan problemas.

En Tabla 8 y Tabla 9 se presentan los análisis de las actividades críticas y adecuadas, respectivamente, presentadas en el diagrama ilustrado en Figura 33.

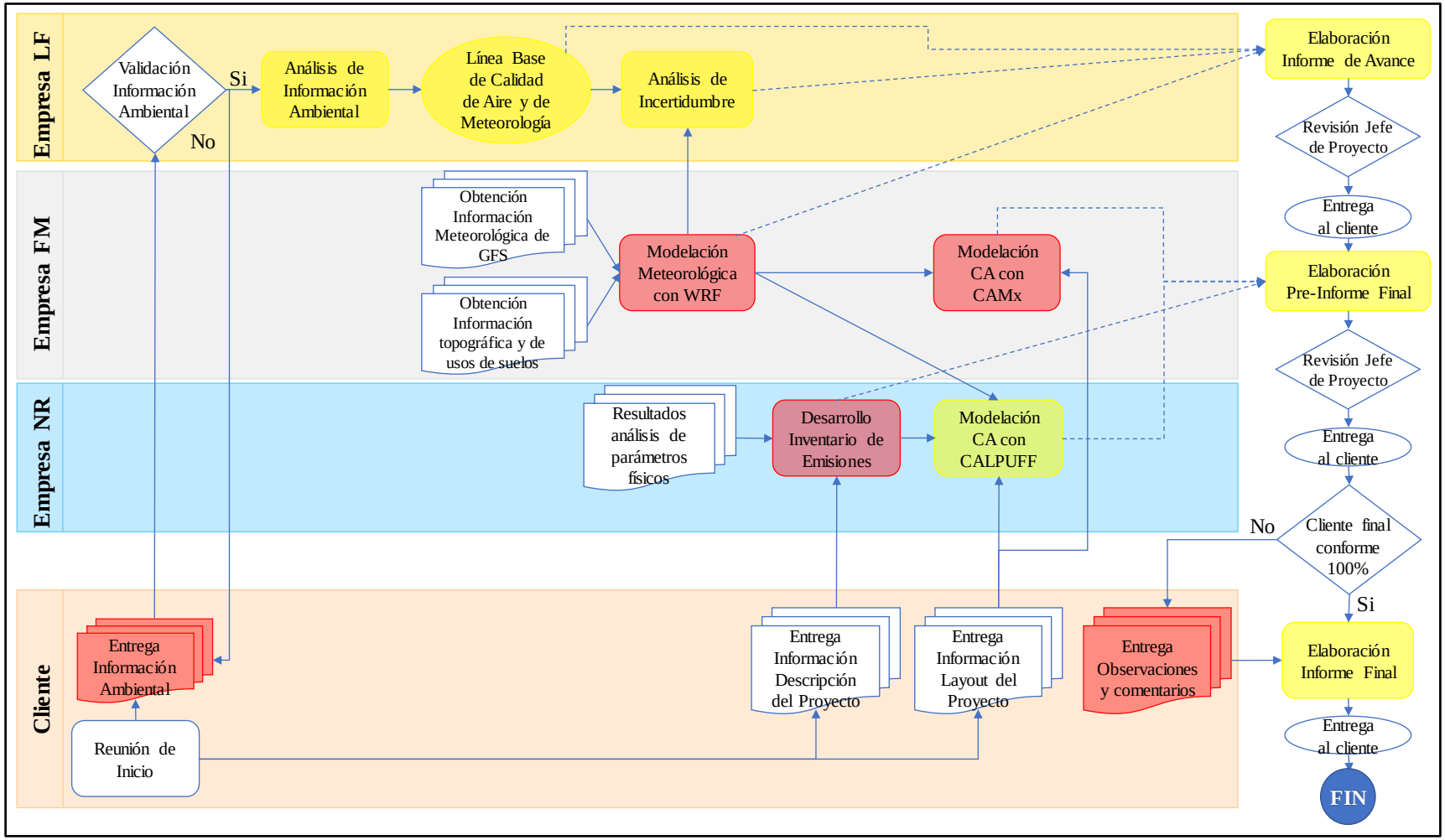


Figura 33: Diagrama de procesos BPM Elaboración de Estudios de Calidad de Aire.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8: Análisis de actividades críticas del área de elaboración de estudios de calidad de aire de Enviromodeling Ltda.

Actividad	Encargado	Observaciones
Entrega de Información Ambiental	Cliente	La gestión de la solicitud de entrega de información ambiental es algo crítico en el proceso de ECA ya que es el input de varias actividades. Su demora atrasa el inicio del proyecto y la entrega del Informe de Avance en el tiempo programado. Esta demora es mayor cuando el proyecto es subcontratado y no se pueden pedir los datos directamente al encargado de las redes de monitoreo. En reunión de inicio se debería dejar establecido el compromiso de proveernos de esta información y que los plazos contemplen el tiempo que demora su entrega.
Modelación con WRF	FM: Francisco Matamala	Esta actividad es crítica debido a que entrega resultados que son utilizados por otras actividades. Si bien la información de entrada al modelo está disponible y es de rápido acceso, esta modelación requiere gran capacidad computacional para correr. Este es un requerimiento muy importante ya que limita la rapidez de esta actividad y cualquier accidente en una corrida implica graves retrasos que pueden ser de un día hasta semanas. Accidentes pueden ser cortes de luz o falla de computadores. Estos imprevistos hacen que se deban recorrer periodos de meteorología que se cortaron. Además, es muy importante hacer pruebas cortas de modelaciones que tienen requerimientos especiales, tales como dominios muy grandes o pequeñas resoluciones. De esta manera se podría dimensionar mejor el tiempo de corrida, ya que este no es lineal, es decir, un dominio del doble de otro no necesariamente se demora el doble de tiempo.
Modelación con CAMx	FM: Francisco Matamala	Esta actividad entrega los resultados más importantes de los ECA, los aportes de contaminantes atmosféricos del proyecto, de donde se obtienen los Impactos del proyecto a la calidad del aire de la zona de interés. Al igual que en el caso de la modelación con WRF, esta modelación también requiere de gran capacidad computacional para correr, por ser modelos que resuelven complejas ecuaciones. Además, se requiere correr de entre 3 a 4 escenarios de emisiones diferentes para un solo proyecto. En este caso también son un gran problema los imprevistos de cortes de energía eléctrica y fallas en los computadores especialmente acondicionados para esta actividad, lo que hace parar las corridas y tener que repetirlas de nuevo. Se deberían buscar soluciones a estos problemas que permitan las corridas de

Actividad	Encargado	Observaciones
		forma ininterrumpidas.
Elaboración de Inventario de Emisiones	NR: Nadia Ruminot	Esta actividad entrega información muy importante para la realización de las modelaciones de calidad de aire, ya sea de contaminantes primarios con CALPUFF o secundarios con CAMx. Entrega las emisiones atmosféricas que el proyecto está declarando que va a tener cuando entre en funcionamiento, ya sea en la etapa de construcción como en la de operación. Esta actividad se vuelve más crítica entre más grande sea el proyecto a evaluar, ya que mayor es la cantidad de actividades emisoras y mayor es la probabilidad de equivocaciones. Una equivocación en los cálculos de emisiones puede llevar a tener que repetirse corridas de CALPUFF y/o CAMx ya realizadas si no se detectan antes de que se corran. Para esto se van desarrollando indicadores de sumas parciales de emisiones que se comparan al realizar los cálculos de manera diferente, es decir, se trata de desarrollar el inventario de dos formas para poder comparar los resultados. Algo importante que se debería aplicar es una revisión exhaustiva de las hojas Excel por parte de otra persona. Esto solo a veces lo realiza la contraparte técnica, lo que debería ser una exigencia. Otra tarea que se debería realizar es buscar otros inventarios de emisiones para comparar resultados, los que podrían dar una noción de órdenes de magnitudes coherentes. Esto se realiza solo con inventarios realizados anteriormente, también se podría buscar en el SEIA otros proyectos presentados.
Entrega observaciones y comentarios al Informe Final	Cliente	La revisión de los resultados de los ECA por parte de la contraparte y la entrega de sus observaciones y comentarios es crítica para el término del Proyecto. Una vez entregadas, se corrige el Pre-Informe Final y se entrega el Informe Final del Proyecto, el cual lo pueden utilizar para presentarlo en la evaluación ambiental del proyecto. En las propuestas se establece que el cliente tiene un plazo de dos semanas para entregar estas observaciones y comentarios, y después de ese periodo se da como aceptado el Pre-informe como Informe Final. En la práctica esto no se exige y se espera el tiempo que el cliente lo requiera para su revisión. Esto como una forma de fidelizarlos ya que no sería bien visto dar por terminado el proyecto de parte de la empresa. Se deberían fijar más reuniones con la contraparte para revisar el avance del proyecto y una reunión para la entrega de estas observaciones, así la contraparte se esforzaría más por revisar el

Actividad	Encargado	Observaciones
		Pre-informe antes de dicha reunión. En esta reunión debería participar el cliente final, no solo la contraparte técnica si el servicio es subcontratado.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9: Análisis de actividades adecuadas del área de elaboración de estudios de calidad de aire de Enviromodeling Ltda (EM).

Actividad	Encargado	Observaciones
Análisis de Información Ambiental	LF: Leyla Fuentes	Una vez validada la información ambiental entregada por la contraparte, esta actividad depende de la cantidad de información a analizar, es decir, cantidad de estaciones, cantidad de parámetros y número de años. Esta actividad, independientemente de la cantidad de información a analizar tiene un proceso estandarizado, por lo que difícilmente contiene errores ya que al observar sus resultados se verifican fácilmente. Además, esta actividad cumple generalmente con los plazos asignados por el jefe de proyecto. El resultado de esta actividad es la línea base de calidad de aire y de meteorología.
Análisis de Incertidumbre	LF: Leyla Fuentes	Una vez entregados los resultados de WRF (actividad crítica), este análisis es relativamente rápido, solo depende, al igual que la actividad anterior, de la cantidad de datos y también es un proceso estandarizado. Alguna complejidad que puede presentar este análisis se basa en las conclusiones que se deben obtener, lo que es solucionado al estudiar el caso con el jefe del proyecto, quien tiene mayor expertise en el tema.
Modelación Calidad de Aire con CALPUFF	NR: Nadia Ruminot	Esta actividad a diferencia de la modelación con CAMx no requiere de tanta capacidad computacional, aunque depende del tamaño del proyecto, una modelación de estas se demora en promedio entre un día a una semana. Por lo tanto, repetir una corrida puede no perjudicar el tiempo de entrega, ya que en caso de contratiempos se pueden realizar varias corridas en paralelo para apurar los resultados. Debido a la gran experiencia en la aplicación de este modelo, Enviromodeling ha desarrollado gran cantidad de pre y post procesadores que hacen más fácil y estándar el proceso de modelación con CALPUFF. Por otra parte, la información de entrada de layout del proyecto

Actividad	Encargado	Observaciones
		generalmente se entrega junto con la descripción, por lo que esa información no provoca retrasos en la implementación del modelo.
Elaboración Informe de Avance	Equipo EM	Los informes son prácticamente estándar, por lo que una vez que se tienen los resultados de línea base de calidad de aire y meteorología, análisis de incertidumbre y resultados de WRF se realiza este informe en los plazos asignados.
Elaboración Pre-Informe Final	Equipo EM	Los informes son prácticamente estándar, por lo que una vez que se tienen los resultados de inventario de emisiones y resultados de CALPUFF y/o CAMx se realiza este informe en los plazos asignados.
Elaboración Informe Final	Equipo EM	Una vez que se reciben las observaciones de la contraparte se corrige y termina la edición del Pre-informe final en los plazos asignados.

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.3. Análisis de Otras Variables

4.3.3.1 Registro y Control de Horas

En Enviromodeling no existe un sistema de registro de horas dedicadas a cada proceso de los servicios entregados por la empresa. Tampoco se utiliza algún software de seguimiento o de planificación de las actividades. Es por esto que el análisis de ruta Crítica se realizó en base a tiempos promedios y no se puede realizar un análisis estadístico de la duración esperada de cada actividad.

Por otra parte, también por esto las cotizaciones de los servicios se realizan en base a la experiencia del director de la empresa y del personal especializado.

Esto no solo provoca problemas con respecto a cumplir los plazos de los proyectos, sino que además no permite considerar eficientemente eventualidades y contingencias que puedan ocurrir a través del proyecto.

4.3.3.2 Falta de Indicadores

No existen indicadores que permitan realizar un análisis de costos de los proyectos y no se realiza un seguimiento estadístico las horas utilizadas versus las presupuestadas y sus costos.

4.3.3.3 Falta de Lecciones Aprendidas

Tampoco existe un registro de lecciones aprendidas formalizado. Si bien en cada proyecto se ajustan las actividades a las exigencias de los clientes, hay peticiones que se han ido manteniendo en nuevos proyectos principalmente porque tienen bases normativas o son exigencias de la autoridad ambiental, esto se realiza a juicio de cada profesional encargado, pero no hay algún registro de esto que pueda ser seguido por futuras contrataciones o por profesionales de otra área.

4.3.3.4 Elaboración de Propuestas

La elaboración de propuestas técnicas y económicas de los proyectos de estudios de calidad de aire se realizan en base a la experiencia del personal de la empresa y del director. Si bien técnicamente no tienen problemas mayores, se observa que la asignación de horas también se realiza en base a la experiencia, al no existir registros y controles de horas de

proyectos anteriores, no hay información que ayude asignar los recursos en base a estadísticas que consideren las contingencias que pudieron ocurrir.

4.3.4. Visión de los Clientes

Con el fin de obtener el punto de vista de los clientes de Enviromodeling, se realizaron entrevistas a dos de ellos, con los que se ha trabajado durante años.

La entrevista consta de preguntas generales acerca de Enviromodeling y otras son con respecto a un proyecto en específico.

Los clientes considerados y sus profesionales que respondieron a las entrevistas son los siguientes:

- **Minera Los Pelambres**: Andrés Marín, Ingeniero Civil en Industrias, contraparte técnica y coordinador de Líneas de Base en el Proyecto "Infraestructura Complementaria". El último servicio desarrollado por Enviromodeling para Minera Los Pelambres fue "Modelación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Infraestructura Complementaria de Minera Los Pelambres".

- **CODELCO Distrito Norte:** Rubén Alfaro, Asesor de Monitoreo Ambiental, contraparte técnica del servicio desarrollado por Enviromodeling para CODELCO División Chuquicamata "Actualización Inventario de Emisiones y Modelamiento de Dispersión de Contaminantes Proyecto Quetena".

  A continuación, se presenta el análisis de las respuestas entregadas por estos clientes.

4.3.4.1 Análisis de Entrevista a Minera Los Pelambres

En base a las respuestas entregadas por Andrés Marín, ver entrevista en Anexo 1, se obtuvo el siguiente análisis:

- En general, el cliente tiene muy buena opinión con respecto al trabajo realizado por Enviromodeling.
- Como mandante reconoce que se han debido modificar los plazos y trabajar con tiempos muy acotados producto de las indefiniciones y modificaciones que ha sufrido el proyecto.
- Con respecto a los problemas que se han presentado las respuestas han sido adecuadas y con muy buena voluntad por parte del personal de Enviromodeling.
- El cliente cree que un aspecto que Enviromodeling podría mejorar es que debería comunicar e informar periódicamente el avance de los trabajos, ya sea mediante reporte o reuniones periódicas.

4.3.4.2 Análisis de Entrevista a CODELCO Distrito Norte

En base a las respuestas entregadas por Rubén Alfaro, ver entrevista en Anexo 1, se obtuvo el siguiente análisis:

- En general, el cliente tiene muy buena opinión con respecto al trabajo realizado por Enviromodeling cumpliendo con los plazos establecidos.
- Con respecto a los problemas que se han presentado Enviromodeling ha respondido con rapidez a los requerimientos.

- La detención del proyecto fue por causas ajenas a Enviromodeling.
- El cliente cree que un aspecto que Enviromodeling podría mejorar es tener mayor difusión de sus servicios y productos con organismos relacionados con la evaluación ambiental.

4.4. Análisis Micro de la Situación Actual

Como se observa en Sección 4.3.1, el fuerte de los proyectos de estudios de calidad de aire realizados por Enviromodeling son del sector Minería y Energía. Es por esto, que este análisis micro se realiza a continuación considerando cuatro proyectos de este tipo. En primer lugar, se describirán los proyectos en general y el servicio entregado por Enviromodeling en cada uno, y en segundo lugar se presenta un análisis más detallado de estos.

4.4.1. Descripción Proyectos Destacados del Área de Estudios de Calidad de Aire

A continuación, se presenta la descripción de cuatro proyectos destacados en los que Enviromodeling participó en la realización de sus estudios de calidad de aire como parte del EIA presentado por sus titulares en SEIA. Estos proyectos se presentan con el nombre con el que el titular los presentó al sistema.

4.4.1.1 Proyecto Central Tierra Noble

El proyecto “Central Tierra Noble”, cuyo titular es Global Power Generation Chile SpA, se emplazaría en la región del Biobío y se encuentra en estado de Calificación en el SEIA.

El Proyecto considera la construcción y operación de una central térmica de ciclo combinado (CCC) para generar energía eléctrica a partir de gas natural (600 MW), operando continua, o intermitentemente de acuerdo a las necesidades del SIC (Sistema de Interconexión Central). La configuración de la CCC Tierra Noble, considera básicamente: una turbina de gas, una turbina de vapor y un generador eléctrico.

El estudio de calidad de aire para presentar en su EIA fue realizado por Enviromodeling subcontratado por Gestión Ambiental S.A. (SGA) durante el año 2016, y se denominó: "Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble".

Este estudio se llevó a cabo con el uso de los siguientes sistemas de modelación recomendados por el SEA-Chile y la EPA (USA) para emisiones en terreno complejo:

- Sistema de modelación CALPUFF 5.84: Para obtener el impacto en la calidad de aire de la zona de estudio para MP10, MP2,5 (primario y secundario), NO_2, SO_2 y CO.
- Sistema de modelación fotoquímica CAMx 6.2: Para obtener el impacto en la calidad de aire de la zona de estudio para Ozono Troposférico (O_3).

En el desarrollo del estudio se definieron los siguientes escenarios meteorológicos, topográfico y de emisiones:

- Escenario Meteorológico: El escenario meteorológico corresponde al año 2014 y fue obtenido mediante la modelación con WRF. Los resultados de este modelo se compararon mediante un análisis de incertidumbre con los datos observados en la zona

registrados por las estaciones Colicheu, Progreso, Charrúa y Pemuco. Las características de estas estaciones se presentan en Tabla 10.

Tabla 10: Características de las estaciones meteorológicas de superficie pertenecientes a la red de monitoreo en la zona de estudio del Proyecto "Central Tierra Noble".

Estaciones		Coordenadas UTM Datum WGS 84 – Z18 (km)		Altitud	Variables				
Abreviación	Nombre	UTM-E	UTM-N		VV	DV	Tº	HR	RS
COL	**Colicheu**	743,195	5.899,021	152	X	X	X	X	X
PRO	**Progreso**	740,990	5.894,115	154	X	X	X	X	X
CHA	**Charrúa**	737,815	5.890,314	162	X	X	-	-	-
PEM	**Pemuco**	757,736	5.903,298	200	X	X	-	-	-

VV: Velocidad de viento, m/s DV: Dirección de viento, grados Tº: Temperatura, ºC
HR: Humedad Relativa, % PA: Presión Atmosférica, mbar

Fuente: Enviromodeling Ltda.

- Escenario Topográfico o Dominio de Modelación: El escenario topográfico de la zona de estudio considera un área de 70 x 70 kilómetros, cubriendo la zona de Cabrero y otras localidades aledañas, tales como, Pemuco, Yungay y Florida. Esta área de modelación se presenta en Figura 34.

- Escenarios de Emisiones:

  - Escenario Construcción: Emisiones de MP10, MP2,5, SO_2, NO_2 y CO debido a las actividades de construcción del Proyecto, que consisten en las actividades de construcción de la Central, Línea Subterránea y el tránsito vehicular por camino pavimentado.

  - Escenario Operación: Emisiones de MP10, MP2,5, SO_2, NO_2, CO y COVs debido a la operación de la central Tierra Noble.

Las emisiones de ambos escenarios fueron proporcionadas por SGA S.A.

En este estudio, para la modelación fotoquímica, no se consideraron fuentes emisoras tipo áreas, tales como emisiones vehiculares y urbanas debido a la alta incertidumbre que presentan los inventarios de emisiones de estas fuentes. En reemplazo de estas emisiones se utilizó información del modelo global MOZART, el cual proporciona diariamente, para todo el planeta, información sobre la presencia de especies químicas, orgánicas e inorgánicas.

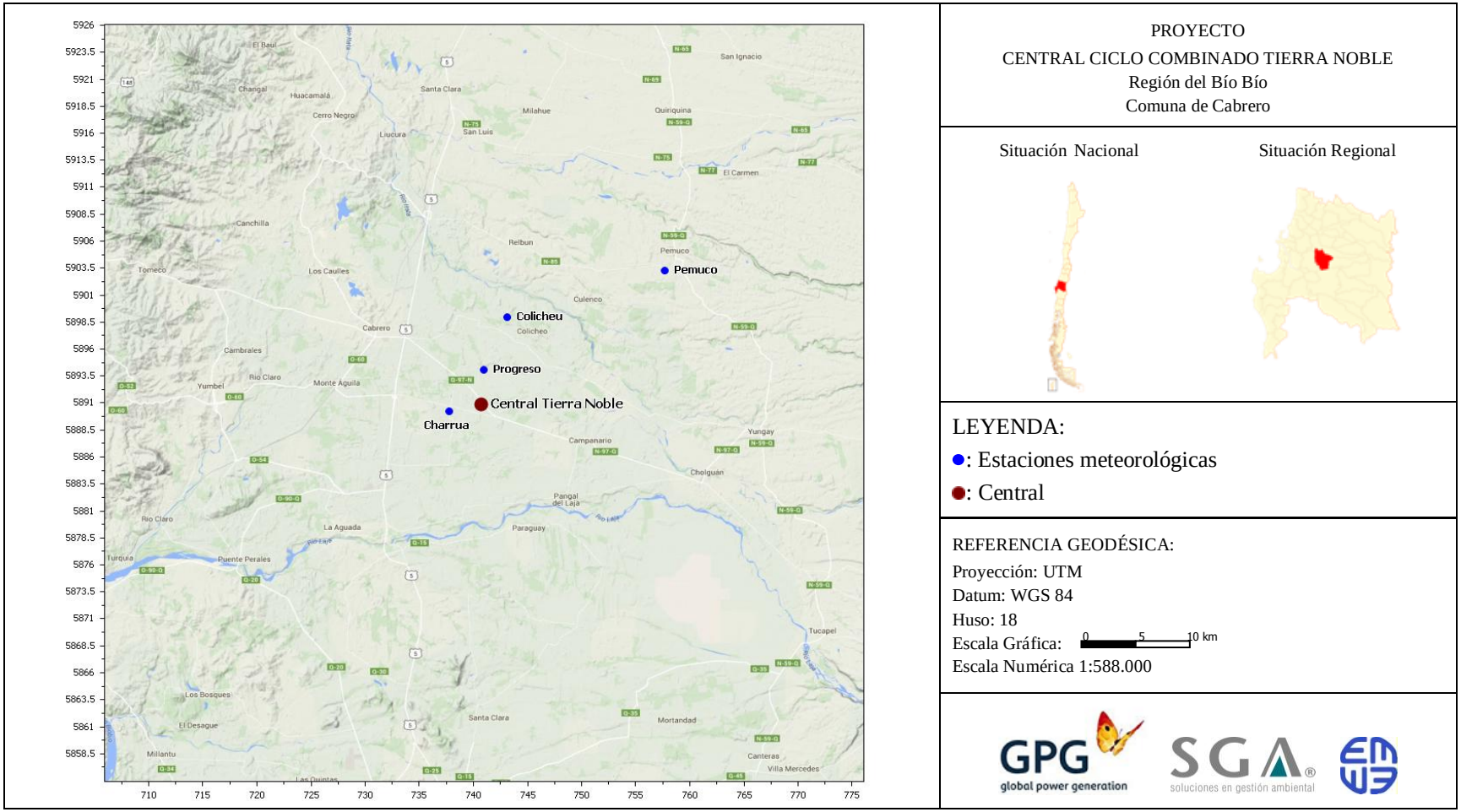


Figura 34: Área de modelación de la zona de estudio considerado en el proyecto de Enviromodeling "Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble".

Fuente: Enviromodeling Ltda.

Los resultados obtenidos en las modelaciones realizadas en este estudio permiten concluir lo siguiente:

- Al incluir los aportes del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble y los aportes de otros proyectos aprobados, además de la central de El Campesino (en Calificación en ese momento), no se supera la norma anual (52% como máximo) ni diaria (55% como máximo) de MP10, en ninguno de los receptores: Colicheu, Progreso, Charrúa, Pemuco y Cabrero. El aporte del proyecto es como máximo de 0,18% respecto a la norma anual y como máximo de 0,27% respecto a la norma diaria.

- La norma anual y diaria de MP2,5 no se superaría en estación Cabrero (única con monitoreo de MP2,5) al incluir los aportes del Proyecto, los aportes de otros proyectos aprobados y la central de El Campesino, siendo el máximo porcentaje respecto a la norma anual de 66% y el máximo porcentaje respecto a la norma diaria de 59%. En este caso, el aporte del proyecto es como máximo de 0,45% respecto de la norma anual y de cómo máximo de 0,74% respecto de la norma diaria.

- Con respecto al NO_2, con los aportes estimados del Proyecto en conjunto con otros proyectos aprobados y la central de El Campesino, los niveles en la zona de estudio no superarían el 17 y 50% de la norma anual y horaria, respectivamente. La aportación del proyecto es como máximo de 1% respecto de la norma anual y de cómo máximo 6,7% respecto de la norma diaria.

- Los niveles de SO_2, al incluir los aportes del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble, otros proyectos aprobados así como la central El Campesino en estado de tramitación, alcanzan como máximo un 16% de la norma anual, un 21% de la norma

diaria y un 53% de la norma horaria. Por otra parte, con los aportes de SO_2 del Proyecto, en los receptores de interés, se mantendrían los niveles de SO_2 bajo la norma secundaria vigente para la zona Sur del país. El aporte del proyecto es como máximo de 0,07% respecto de la norma anual, de cómo máximo 0,1% respecto de la norma diaria y de cómo máximo de 0,12% respecto de la norma horaria.

- Los niveles de CO, en los receptores de interés, al incluir los aportes del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble, otros proyectos aprobados de la zona y la central El Campesino en fase de aprobación, no superarían el 63% de la norma horaria y el 50% de la norma octohoraria de este parámetro, siendo la contribución del proyecto inapreciable.

- En relación al aporte del Proyecto en las concentraciones de Ozono, no se superaría la norma de calidad de aire primaria de este contaminante en ninguno de los receptores de interés. Sin embargo, en la estación Colicheu se registran niveles de Ozono que superan el nivel de latencia de la norma de Ozono, sin incluir el aporte del Proyecto, alcanzando un 83% de la norma respectiva. El aporte del Proyecto en esta estación respecto de la norma es tan solo de 0,75% y en el conjunto de estaciones varía entre -3% y 1,71%. Si tenemos en cuenta el aporte del proyecto, junto con otros proyectos aprobados en la zona así como con la central El Campesino, el aporte a la mencionada estación respecto a la norma supone un 5,8% (aunque en otras estaciones supone una reducción de hasta 3,15%).

- Finalmente, y en base a los resultados presentados en los puntos anteriores, en relación a los aportes que se generarían por la CCC Tierra Noble junto con los Proyectos con RCA

más el Proyecto El Campesino, se pudo determinar que los aportes son muy bajos en relación a los valores basales, por lo que tampoco se supera la norma en ninguno de los contaminantes estudiados.

A la fecha de esta tesis, el EIA de la Central Tierra Noble se encuentra en Calificación con una ampliación de plazos a petición del mandante del proyecto. Enviromodeling debe responder algunas consultas con respecto a este estudio de calidad de aire, sin embargo, no es responsable de la extensión de plazos ya que estas consultas no comprometen la aprobación del Proyecto en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, si no que más bien son decisiones estratégicas del mandante.

4.4.1.2 Proyecto Central Luz de Atacama

El proyecto "Central Luz de Atacama", cuyo titular es Concesionaria Luz De Atacama SPA, se emplazaría en la región de Atacama y se encuentra en estado de No Calificado en el SEIA.

El Proyecto contempla la construcción y operación de un Puerto, una Planta Desalinizadora, una Central de Generación de tecnología Supercrítica y sus instalaciones asociadas, su Subestación eléctrica, un Banco de Baterías y una Línea de Alta Tensión.

El Proyecto se emplaza en un terreno licitado por el Ministerio de Bienes Nacionales para el desarrollo de un proyecto de generación de energía eléctrica de operación continua de al menos 350 MW de potencia bruta, el cual se ubica en el sector de Totoralillo Norte, a aproximadamente a 25 kilómetros al Norte de la localidad de Caldera.

El estudio de calidad de aire de Ozono para presentar en su EIA fue realizado por Enviromodeling subcontratado por +MG Medioambiente y Gestión S.A. (+MG) en el año 2016 y se denominó: "Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono del Proyecto Luz de Atacama". El objetivo de este estudio consiste evaluar el impacto en la calidad del aire de los niveles de Ozono en el área de influencia de la Central Termoeléctrica Luz de Atacama a ubicarse en Totoralillo, comuna de Caldera Región de Atacama.

Para el cumplimiento de este objetivo se utilizó el sistema de modelación fotoquímica CAMx 6.2, en conjunto con el modelo meteorológico WRF, recomendado por la EPA (USA) para emisiones en terreno complejo, para obtener el impacto en la calidad de aire de la zona de estudio para Ozono Troposférico (O_3).

En el desarrollo del estudio se definieron los siguientes escenarios meteorológicos, topográfico y de emisiones:

- Escenario Meteorológico: El escenario meteorológico corresponde a los meses marzo, julio, septiembre y diciembre del año 2015 obtenidos con el modelo WRF. Los resultados del modelo WRF se compararon mediante un análisis de incertidumbre con los datos registrados por las estaciones meteorológicas Caleta Obispito, La Ovallina y Totoralillo Norte. Las características de esta red meteorológica se presentan en Tabla 11.

Tabla 11: Características de las estaciones meteorológicas de superficie pertenecientes a la red de monitoreo en la zona de estudio del Proyecto "Central Luz de Atacama".

Estaciones		**Coordenadas UTM Datum WGS 84 – Z19 (km)**		**Variables**				
Abreviación	**Nombre**	**UTM-E**	**UTM-N**	**VV**	**DV**	**Tº**	**HR**	**PA**
OBI	**Caleta Obispito**	327,343	7.041,592	X	X	X	X	
OVA	**La Ovallina**	327,498	7.039,707	X	X	X	X	

Estaciones		Coordenadas UTM Datum WGS 84 – Z19 (km)		Variables				
Abreviación	**Nombre**	**UTM-E**	**UTM-N**	**VV**	**DV**	**Tº**	**HR**	**PA**
TOT	**Totoralillo Norte**	321,555	7.031,278	X	X	X	X	X

VV: Velocidad de viento, m/s DV: Dirección de viento, grados Tº: Temperatura, ºC
HR: Humedad Relativa, % PA: Presión Atmosférica, mbar

Fuente: Enviromodeling Ltda.

- Escenario Topográfico: El escenario topográfico de la zona donde se evaluó el impacto de Ozono (dominio de modelación con CAMx) considera un área de 66 x 52 kilómetros, incluyendo la localidad de Totoralillo. Este dominio se presenta en Figura 35.

- Escenarios de Emisiones:

  - Escenario 1: Considera la operación con una unidad de generación de 660 MW.

  - Escenario 2: Considera la operación con una unidad de generación de 375 MW.

  - Escenario 3: Considera la operación con dos unidades de generación, cada una de 375 MW más una unidad de generación de 660 MW.

  Estas emisiones fueron entregadas por +MG.

Las condiciones iníciales y de borde utilizadas por el modelo CAMx fueron obtenidas del modelo MOZART (Model for Ozone And Related chemical Tracers) de NCAR (National Center for Atmospherics Research, USA, USA). Esto permitió no realizar inventario de emisiones base del área de estudio.

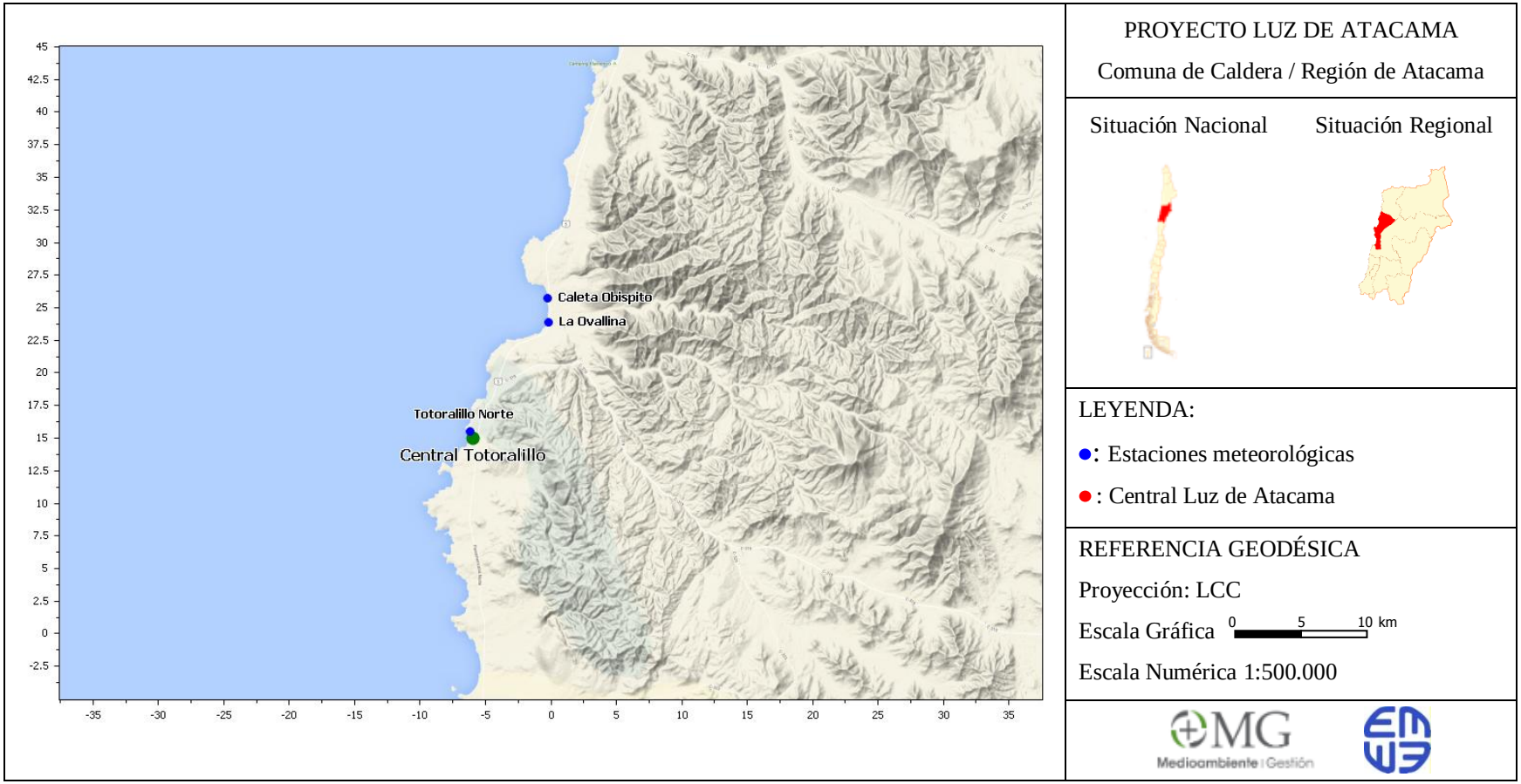


Figura 35: Dominio de modelación de CAMx en la zona de estudio (sistema de coordenadas Lambert Conformal Conic, LCC).

Fuente: Enviromodeling Ltda.

Con los resultados obtenidos mediante la aplicación del modelo CAMx en este estudio se puede concluir lo siguiente:

- Al aplicar el modelo fotoquímico CAMx en el escenario Base, es decir sin la operación de la Central, se observa que el modelo predice concentraciones de Ozono (percentil 99 de los máximos diarios de las concentraciones de 8 horas) muy similares a los niveles de Ozono observado con diferencias no mayores a 1 $\mu g/m^3$ en los meses de julio y septiembre. Las desviaciones del modelo durante el mes de diciembre son un poco mayores, aunque no superan el 20% de lo observado. Para el mes de marzo no es posible realizar una comparación entre concentraciones modeladas con CAMx para el escenario Base 2015 y las observadas ya que no se cuenta con datos medidos para este mes.

- En lo que respecta a la distribución espacial de los niveles de Ozono en el escenario Base 2015, se observa que los niveles de Ozono alcanzan en el dominio valores máximos al Noreste de la Central en el rango entre 65 a 75 $\mu g/m^3$ durante los meses de marzo, julio y septiembre del 2015. Durante el mes de diciembre, los niveles máximos de Ozono ocurren también al Noreste de la Central con niveles máximos en el rango 48 a 50 $\mu g/m^3$, como percentil 99 de los máximos diarios de las concentraciones de 8 horas.

- Los aportes del Escenario 1 (operación de una unidad de generación de 660 MW), obtenidos como como la diferencia entre los resultados de CAMx del Escenario 1 con el escenario Base 2015, indican que el modelo CAMx predice en promedio para los meses modelados y para el promedio anual, niveles de Ozono más altos en el Escenario 1 que los obtenidos en el escenario Base 2015, con excepción del mes de marzo, donde los

valores del escenario Base 2015 superan a los valores modelados para el Escenario 1 para casi todos los receptores de interés.

- En lo que respecta a la distribución espacial de los aportes del Escenario 1 a los niveles de Ozono, se observa que este escenario el Escenario 1 provocaría concentraciones de Ozono menores que en el escenario Base 2015 en el entorno inmediato a la Central durante los meses marzo y diciembre. Sin embargo, se observaría un aumento en los niveles de Ozono en cada mes, de hasta 11 $\mu g/Nm^3$, en los sectores Este y Norte de la Central.

- Los aportes del Escenario 2 (operación de una unidad de generación de 375 MW), obtenidos como la diferencia entre los resultados de CAMx del Escenario 2 con el escenario Base 2015, indican que el modelo CAMx predice también, en promedio para los meses modelados y para el promedio anual, niveles de Ozono más altos en el Escenario 2 que los obtenidos en el escenario Base 2015.

- En lo que respecta a la distribución espacial de los aportes del Escenario 2 a los niveles de Ozono, se observa que este Escenario 2 provocaría concentraciones de Ozono menores que en el escenario Base 2015 durante marzo y diciembre en el entorno inmediato a la Central y a aproximadamente 20 km al Este de la Central durante julio. Sin embargo, se observaría un aumento en los niveles de Ozono en cada mes entre 8 y 10 $\mu g/Nm^3$ en zonas ubicadas hasta 30 kilómetros al Este y Norte de la Central.

- Finalmente, los aportes del Escenario 3 (operación de dos unidades de generación, cada una de 375 MW más una unidad de generación de 660 MW), obtenidos como la diferencia entre los resultados de CAMx del Escenario 3 con el escenario Base 2015,

indican que el modelo CAMx predice en promedio para los meses modelados y para el promedio anual, niveles de Ozono más altos en el escenario Base 2015 que los obtenidos en el Escenario 3, con excepción del mes de diciembre, donde los valores del Escenario 3 superan a los valores modelados para el escenario Base 2015.

- En lo que respecta a la distribución espacial de los aportes del Escenario 3 a los niveles de Ozono, se observa que este escenario provocaría concentraciones de Ozono menores que en el escenario Base durante marzo y diciembre en el entorno inmediato a la Central y hacia el Este de la Central durante julio. Sin embargo, se observaría un aumento en los niveles de Ozono de hasta 10 $\mu g/Nm^3$ en sectores ubicados hasta 35 km hacia el Este de la Central.

Como se menciona anteriormente, este proyecto está No Calificado debido a las siguientes razones:

- Que, de conformidad a las normas y criterios citados y examinados en los antecedentes presentados, el EIA del Proyecto carece de **información relevante** para su evaluación ambiental, y la falta de la misma, además, no es susceptible de ser subsanada mediante aclaraciones, rectificaciones o ampliaciones.

- Que, de conformidad a las normas y criterios citados y examinados en los antecedentes presentados, el EIA del Proyecto carece de **información esencial**, por lo que no es posible evaluar si éste genera o presenta alguno de los efectos, características o circunstancias contemplados en las letras a, b, c y d del artículo 11 de la Ley N° 19.300, ni determinar si las medidas de mitigación, reparación y compensación propuestas son adecuadas, así como tampoco la efectividad del plan de seguimiento y que dicha falta de

información esencial, además, no es susceptible de ser subsanada mediante aclaraciones, rectificaciones o ampliaciones

De lo cual, el estudio entregado por Enviromodeling no tiene responsabilidad de esta calificación. Por lo tanto, para la empresa este servicio se da por terminado.

4.4.1.3 Proyecto Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad

El proyecto "Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad", cuyo titular es Enel Generación Chile S.A., se emplaza en la región del Bío-Bío y se encuentra en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) en estado Aprobado.

Este proyecto corresponde a una central termoeléctrica de 350 MW de potencia, aledaña a la Primera Unidad de la actual Central Termoeléctrica (CT) Bocamina, en el sector Lo Rojas, comuna de Coronel, aproximadamente 30 kilómetros al sur de la ciudad de Concepción.

El estudio de calidad de aire para presentar en su EIA, específicamente en la Adenda N° 1, fue realizado por Enviromodeling en el año 2014 subcontratado por SGA S.A. y se denominó: "Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina".

El estudio se llevó a cabo con el uso de los siguientes sistemas de modelación recomendados por la EPA (USA) para emisiones en terreno complejo:

- Sistema de modelación CALPUFF 5.84: Para obtener el impacto en la calidad de aire de Concepción Metropolitano para MP10, MP2.5, NO_2, SO_2 y CO.

- Sistema de modelación fotoquímica CALGRID 2.5: Para obtener el impacto en la calidad de aire de Concepción Metropolitano para Ozono Troposférico y MP2.5 Secundario.

- Sistema de modelación fotoquímica CAMx 6.0: Para obtener el impacto en la calidad de aire de Concepción Metropolitano para Ozono Troposférico y MP2.5 Secundario.

En este estudio ambos modelos fotoquímicos se aplicaron y evaluaron para recomendar el más apropiado para los fines de la Central Bocamina.

En el desarrollo del estudio se definieron los siguientes escenarios meteorológicos, topográfico y de emisiones:

- Escenario Meteorológico: El escenario meteorológico que se presentó en el EIA corresponde al año 2012. En tanto el proyecto realizado por Enviromodeling también consideraba el periodo 2007 – 2009.

Las características de las estaciones meteorológicas utilizadas para comparar los resultados del modelo WRF se presentan en Tabla 12.

Tabla 12: Características de las estaciones meteorológicas de superficie pertenecientes a la red de monitoreo en la zona de estudio del Proyecto "Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad".

Estaciones			**Coordenadas UTM Datum WGS 84 (km)**		**Variables**						
Red	**Abreviación**	**Nombre**	**UTM-E**	**UTM-N**	**VV**	**DV**	**Tº**	**HR**	**RS**	**PA**	**PP**
ENDESA	**LURB**	**Lota Urbana**	664,855	5.895,289	X	X	X	X	X	X	X
	LRUR	**Lota Rural**	664,203	5.892,415	X	X	X	X	X	X	X
	LAG	**Lagunillas**	663,786	5.905,329	X	X	X	X	X	X	X
	BOC	**Bocamina 2**	663,129	5.901,165	X	X	X	X	X	X	X

Estaciones			Coordenadas UTM Datum WGS 84 (km)		Variables						
Red	**Abreviación**	**Nombre**	**UTM-E**	**UTM-N**	**VV**	**DV**	**Tº**	**HR**	**RS**	**PA**	**PP**
COLBÚN	**CSUR**	**Coronel Sur**	665,556	5.899,980	X	X	X	X	X	X	
	CNOR	**Coronel Norte**	664,773	5.902,542	X	X	X	X	X	X	
	CAL	**Calabozo**	668,725	5.903,495	X	X					
	SMAR	**Santa María**	666,031	5.898,978	X	X	X	X	X	X	X
MMA	**HUA**	**Hualqui**	684,073	5.905,632	X	X	X	X	X		

VV: Velocidad de viento, m/s DV: Dirección de viento, grados Tº: Temperatura, ºC

HR: Humedad Relativa, % RS: Radiación Solar, W/m2 PA: Presión Atmosférica, mbar

PP: Precipitaciones, mm

Fuente: Enviromodeling Ltda.

- Escenario Topográfico: El escenario topográfico de la zona de estudio considera un área de 85 x 85 kilómetros, cubriendo la zona de Concepción Metropolitano. Este dominio de modelación del estudio se presenta en Figura 36.

- Escenarios de Emisiones:

  - Escenario Base: Emisiones de MP10, MP2.5, SO_2, NO_2, CO y COVs debido a la operación de la primera unidad de la central Bocamina durante el año 2012.

  - Escenario RCA: Emisiones de MP10, MP2.5, SO_2, NO_2, CO y COVs debido a la operación de la central Bocamina bajo la autorización indicada en la RCA: Resolución Exenta N°206/2007.

  - Escenario OPT: Emisiones de MP10, MP2.5, SO_2, NO_2, CO y COVs debido a la optimización de la operación de la central Bocamina, modificando lo autorizado en la RCA N°206/2007.

- Escenario RCA-SEA: Emisiones de MP10, MP2.5, SO_2, NO_2 y CO debido a la operación de la central Bocamina bajo la autorización indicada en la RCA: Resolución Exenta N°206/2007, además de los proyectos aprobados por el SEA y que no se encuentran en operación durante el año 2012.

- Escenario OPT-SEA: Emisiones de MP10, MP2.5, SO_2, NO_2 y CO debido a la optimización de la operación de la central Bocamina, modificando lo autorizado en la RCA N°206/2007, además de los proyectos aprobados por el SEA y que no se encuentran en operación durante el año 2012.

Todas estas emisiones fueron entregadas por SGA a Enviromodeling.

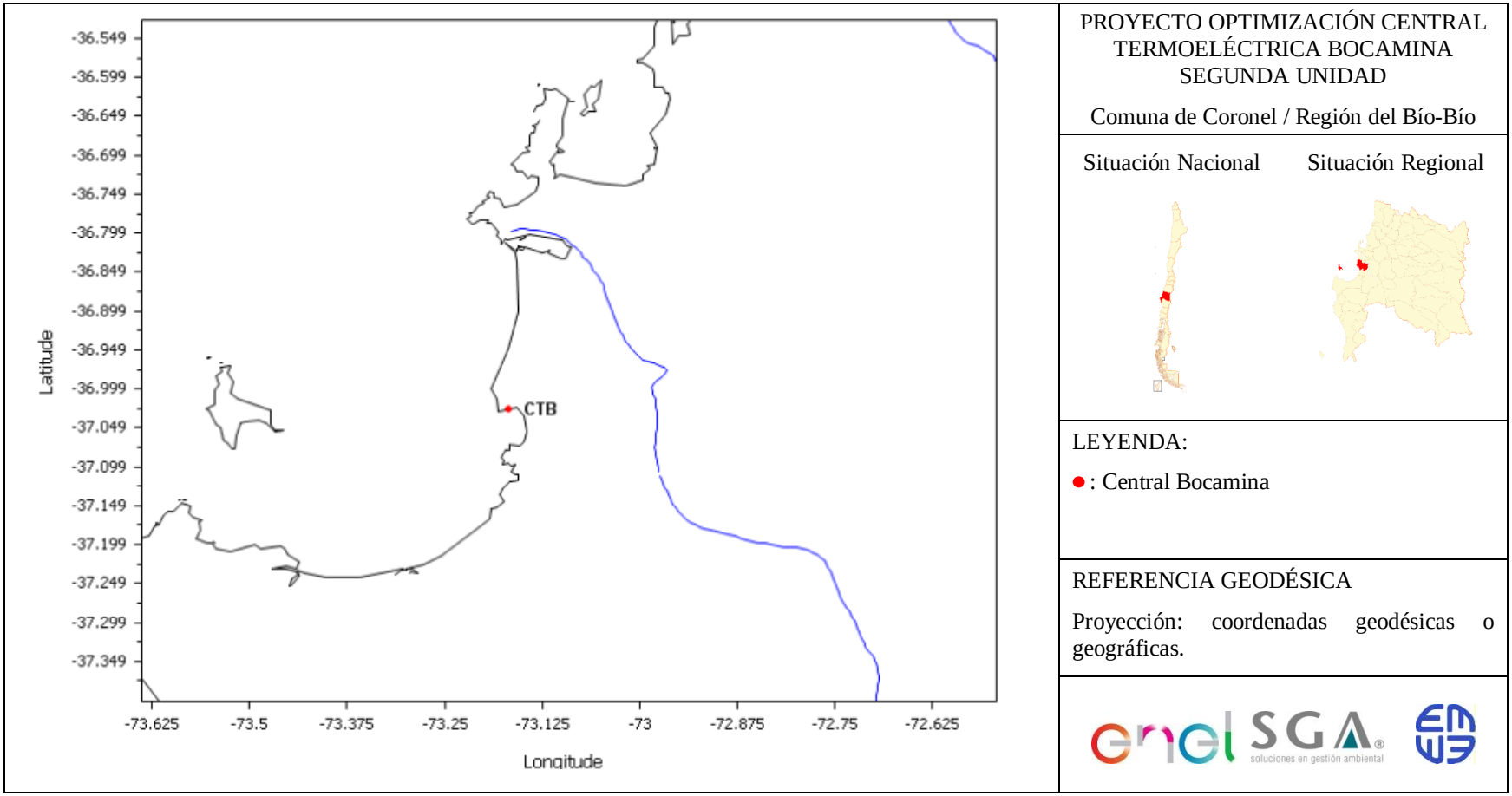


Figura 36: Dominio de modelación de la zona de estudio considerado en el proyecto de Enviromodeling "Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad".

Fuente: Enviromodeling Ltda.

Los principales resultados del aporte del Proyecto a la calidad del aire modelado con el sistema CALPUFF, considerando el escenario meteorológico del año 2012, son los siguientes:

- El modelo predice que los mayores aportes de MP10 promedio anual, para el escenario RCA del proyecto son 1,20 μg/Nm^3 en el receptor Coronel Norte, mientras que los menores aportes para este escenario son de 0,28 μg/Nm^3 en Calabozo y Lota Rural. Con respecto al percentil 98 de las concentraciones diarias de MP10, en el escenario RCA se aportaría entre 1,55 y 4,47 μg/Nm^3, en los receptores Calabozo y Coronel Norte, respectivamente.

- En el caso del escenario OPT, los mayores aportes son 1,07 μg/Nm^3 en el receptor Coronel Norte, mientras que los menores aportes para este escenario son de 0,24 μg/Nm^3 en Lota Rural. Con respecto al percentil 98 de las concentraciones diarias de MP10, muestran que la CT Bocamina en el escenario OPT se aportaría entre 1,36 y 4,08 μg/Nm^3, en los receptores Lota Rural y Coronel Norte, respectivamente.

- En el escenario RCA el aporte al MP2.5 promedio anual se encuentra en el rango entre 0,02 μg/Nm^3 en los receptores Nueva Libertad, Consultorio y Hualqui, y 0,27 μg/Nm^3 en el receptor Coronel Norte. El impacto, como percentil 98 de los promedios diarios de MP2.5, varía entre los 0,09 y 1,10 μg/Nm^3, en los receptores Consultorio y Merken, respectivamente.

- En el escenario OPT, el aporte al MP2.5 promedio anual se encuentra en el rango entre 0,01 μg/Nm^3 en Hualqui y 0,25 μg/Nm^3 en los receptores Coronel Norte y Merken. El impacto, como percentil 98 de los promedios diarios de MP2.5, varía entre los 0,07 y 1,09 μg/Nm^3, en los receptores Consultorio y Merken, respectivamente.

- El aporte del escenario RCA al promedio anual de NO_2 es de 9,53 μg/Nm^3 en Coronel Norte, mientras que el menor es de 2,91 μg/Nm^3 en Calabozo. Con respecto al percentil 99 de las concentraciones horarias de NO_2, en el escenario RCA del proyecto los aportes varían entre los 141,00 y 271,18 μg/Nm^3, en los receptores Calabozo y Coronel Norte, respectivamente.

- En el caso del escenario OPT, los mayores aportes al promedio anual de NO_2 son de 6,12 μg/Nm^3 en Coronel Norte, mientras que los menores son de 2,12 μg/Nm^3 en Lota Rural. Con respecto al percentil 99 de las concentraciones horarias de NO_2, los aportes varían entre los 108,28 y 251,92 μg/Nm^3 en los receptores Lota Rural y Coronel Sur, respectivamente.

- Los aportes de SO_2 para el escenario RCA son entre 2,86 y 10,64 μg/Nm^3 como promedio anual, en los receptores Lota Rural y Coronel Norte respectivamente. El modelo predice impactos que fluctúan entre 18,50 y 53,18 μg/Nm^3 como percentil 99 de las concentraciones 24 horas de SO_2, en los receptores Calabozo y Coronel Norte, respectivamente.

- Además, se observa que el aporte de SO_2 como concentración horaria (percentil 99,73), para el escenario RCA del proyecto van desde los 86,69 a los 208,81 μg/Nm^3, en los receptores Lota Rural y Coronel Norte, respectivamente.

- Para el escenario OPT, el modelo predice aportes de SO_2 entre 2,93 μg/Nm^3 y de 9,23 μg/Nm^3 como promedio anual, en los receptores Lota Rural y Coronel Norte, respectivamente. Los impactos fluctúan entre 22,97 y 49,11 μg/Nm^3 como percentil 99

de las concentraciones 24 horas de SO_2, en los receptores Lota Rural y Coronel Norte, respectivamente.

- Además, se observa que el aporte de SO_2 como concentración horaria (percentil 99,73) de la CT Bocamina, para el escenario OPT del proyecto van desde los 92,98 $\mu g/Nm^3$ a los 235,96 $\mu g/Nm^3$, en los receptores Lota Rural y Coronel Norte, respectivamente.

- En lo que respecta al CO, en el escenario RCA, los aportes como percentil 99 de las concentraciones 8 horas (promedio móvil) serían de 10,58 $\mu g/Nm^3$ en el receptor Coronel Norte, mientras que los menores se observarían en Calabozo y corresponderían a 4,14 $\mu g/Nm^3$. Con respecto al percentil 99 de las concentraciones horarias de CO, en el escenario RCA, aportaría con concentraciones que irían desde los 13,56 a 26,72 $\mu g/Nm^3$ en los receptores Calabozo y Coronel Norte, respectivamente.

- Con respecto al escenario OPT, los aportes de CO en el percentil 99 de las concentraciones 8 horas (promedio móvil) serían de 28,60 $\mu g/Nm^3$ en el receptor Coronel Norte, mientras que los menores se observarían en Lota Urbana y corresponderían a 12,15 $\mu g/Nm^3$. Con respecto al percentil 99 de las concentraciones horarias de CO, la CT Bocamina en el escenario OPT aportaría con concentraciones que irían desde los 25,74 a 68,28 $\mu g/Nm^3$ en los receptores Lota Rural y Coronel Sur, respectivamente.

Los sistemas de modelación CALGRID y CAMx se aplicaron para modelar el impacto en los niveles de Ozono Troposférico y Material Particulado Fino (MP2.5) Secundario considerando los 3 primeros escenarios de emisiones que se han descrito previamente: Base, RCA, y OPT.

Los resultados de los aportes del proyecto a la calidad del aire modelados con el sistema CALGRID indican lo siguiente:

- En el escenario Base, el modelo CALGRID predice con diferencias entre 2 y 37% las concentraciones observadas en las estaciones monitoras de la zona de Concepción Metropolitano.

- El escenario RCA del Proyecto aporta una disminución en el Ozono (percentil 99 de las concentraciones de 8 horas) en el rango de 0,31 a 16,64 $\mu g/Nm^3$ en los receptores Calabozo y Coronel Sur, respectivamente. La disminución del Ozono en el caso del escenario RCA con respecto al escenario Base, puede ser debido a un proceso de titulación fotoquímica, por el cual el Ozono es consumido por el aumento de las emisiones de Óxido de Nitrógeno. Esta misma situación se repite en el caso del escenario OPT, donde la disminución en las concentraciones de Ozono varía entre 0,91 a 13,31 $\mu g/Nm^3$, en los receptores Calabozo y Coronel Sur, respectivamente.

- En lo que respecta al MP2.5 secundario, el modelo CALGRID predice concentraciones anuales para el escenario Base en el rango entre 0,65 y 2,58 $\mu g/Nm^3$ en las estaciones monitoras de Concepción Metropolitano. Con respecto al percentil 98 de las concentraciones de 24 horas, los resultados del modelo en los receptores de interés varían entre 2,58 y 12,04 $\mu g/Nm^3$, en las estaciones Calabozo y Nueva Libertad, respectivamente.

- Con respecto a los niveles de MP2.5 secundario del escenario RCA modelado por CALGRID, éste presenta un leve incremento en comparación con el escenario Base de emisiones, aumento que alcanzaría su mayor nivel como promedio anual, de 0,02

μg/Nm^3 en la estación Coronel Norte y 0,05 μg/Nm^3 en la estación Lota Rural como percentil 98.

- El promedio anual de MP2.5 secundario del escenario OPT modelado por CALGRID presenta una disminución con respecto al escenario Base de 0,11 μg/Nm^3 en la estación Consultorio. Con respecto al percentil 98 de las concentraciones diarias de MP2.5 secundario, estas concentraciones disminuirían entre 0,75 y 4,16 μg/Nm^3.

Los principales resultados de los aportes del Proyecto a la calidad del aire modelado con el sistema CAMx 6.0 son los siguientes:

- El modelo CAMx versión 6.0 predice razonablemente bien los niveles del Percentil 99 de Ozono promedio móvil de 8 horas observados en las estaciones monitoras de la zona de Concepción Metropolitano durante los cuatro meses de cada año meteorológico considerado (enero, abril, julio y octubre). Los niveles de Ozono modelados presentan una desviación promedio del orden de -10,4 μg/Nm^3 respecto de los niveles observados de Ozono (del orden de 61,4 μg/Nm^3 en enero y 30,1 en Abril μg/Nm^3).

- De acuerdo a la recomendación de la Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA, elaborado por el SEA, los impactos de los escenarios RCA y OPT sobre la calidad del aire para Ozono se estimaron relativos al impacto modelado para el escenario Base. Según este procedimiento, se observa que el impacto de la Central Bocamina bajo la operación en el escenario RCA es negativo, es decir, las concentraciones de Ozono, son inferiores a los niveles de ozono modelados por CAMx para el escenario Base.

- En lo que respecta al escenario OPT, se observa que el impacto de la Central Bocamina bajo la operación en este escenario también es negativo, es decir, las concentraciones de

Ozono son inferiores a los niveles de ozono modelados por CAMx para el escenario Base. Las zonas más favorecidas del impacto negativo del escenario OPT habrían sido San Pedro, Concepción, y Talcahuano, donde se esperarían reducciones en los niveles de Ozono, respecto al escenario Base, de hasta 6,84 $\mu g/Nm^3$, percentil 99 de las concentraciones 8 horas, durante el mes de abril de 2012. En todo caso, es importante señalar que todas las modelaciones relativas a Ozono siempre indican valores bajo la norma de calidad del aire, al igual que los valores medidos en Concepción Metropolitano.

- En lo que respecta a la incertidumbre del sistema de modelación WRF en su aplicación en el proyecto, se aprecia que el modelo meteorológico representa apropiadamente los flujos de vientos que ocurren en la zona del proyecto, en particular durante los intervalos más críticos para la formación de Ozono, es decir durante las 14 y 18 horas del día, cuando existe la más alta radiación solar, es decir la mayor actividad fotoquímica.

- De acuerdo al análisis comparativo entre los modelos CAMx y CALGRID, se recomienda considerar preferentemente el uso del modelo CAMx 6.0 como sistema de modelación para evaluar a futuro otros escenarios de emisiones de la CT Bocamina que involucren precursores de Ozono Troposférico y MP2.5 Secundario.

Con los resultados obtenidos con los sistemas de modelación CALPUFF, CALGRID y CAMx, se obtuvieron los siguientes impactos en la calidad del aire por cada escenario de emisiones en relación a las normas de calidad del aire:

- Impactos del escenario RCA del Proyecto "Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad":

  - Las mediciones de MP10 para el año 2012, indican que la norma anual se encuentra superada en las estaciones Coronel Sur, Coronel Norte, Lota Urbana y Lagunillas sin incluir los aportes del escenario RCA del Proyecto, el que contribuiría con 0,53; 1,20; 0,33 y 0,70 μg/Nm^3 en las estaciones mencionadas, respectivamente.

  - Las mediciones de MP10 para el año 2012, indican que la norma diaria se encuentra superada en las estaciones Coronel Sur, Coronel Norte, Lota Urbana y Lagunillas, sin incluir los aportes del escenario RCA del Proyecto, el cual aportaría con 2,67; 4,47; 1,91 y 2,89 μg/Nm^3 más en cada estación, respectivamente.

  - En las otras estaciones, Calabozo y Lota Rural, las mediciones indican que ni la norma anual ni diaria se encuentran superadas y el aporte del Escenario RCA permite seguir cumpliendo con la normativa de calidad del aire en dichas estaciones.

  - Con respecto a la norma anual de MP2.5, ésta se encuentra superada en las estaciones Nueva Libertad, Consultorio y Kingstone College sin incluir los aportes del escenario RCA del Proyecto el que contribuiría con 0,03 μg/Nm^3 en la estación Consultorio. Con respecto a la norma diaria, los niveles observados de MP2.5 también superan este límite, establecido en 50 μg/Nm^3, en las estaciones Nueva Libertad, Consultorio, Punteras, Merken, Kingston College y Hualqui durante el año 2012. El Proyecto en el escenario RCA aportaría en estas estaciones con -1,02; 0,07; 0,19; 0,99; 0,09 y 0,13 μg/Nm^3, respectivamente.

- Con respecto al Dióxido de Nitrógeno (NO_2) en el escenario RCA del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio –considerando el aporte más la línea base- no superan el 16% de la norma anual y el 68% de la norma horaria correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Con respecto a la norma primaria para Anhídrido Sulfuroso (SO_2), en el escenario RCA del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio –considerando el aporte más la línea base- no superan el 25% de la norma anual y el 41% de la norma diaria correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Con respecto a la norma secundaria para Anhídrido Sulfuroso (SO_2), en el escenario RCA del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio – considerando el aporte más la línea base- no superan el 34% de la norma anual, el 44% de la norma diaria y el 50% para la norma horaria correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Con respecto a Monóxido de Carbono (CO), en el escenario RCA del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio –considerando el aporte más la línea base- no superan el 36% de la norma de 8 h y el 23% de la norma horaria correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Finalmente, si se consideran los impactos entregados por el modelo CALGRID para el Ozono del año 2012 y los resultados obtenidos mediante la modelación con CAMx para los meses enero, abril, julio y octubre del año 2012, se concluye que con el aporte del proyecto en el escenario RCA no se superaría la norma de calidad de aire primaria de Ozono, alcanzando un máximo de 43% de la norma citada.

- Impactos del escenario OPT del Proyecto "Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad":

  - La norma anual de MP10 para el año 2012, se encuentra superada en las estaciones Coronel Sur, Coronel Norte, Lota Urbana y Lagunillas sin incluir los aportes del escenario OPT del Proyecto, el que contribuiría con 0,45; 1,07; 0,31 y 0,63 μg/Nm^3 en las estaciones mencionadas, respectivamente.

  - Con respecto a la norma diaria, ésta superó su límite, establecido en 150 μg/Nm^3, en las estaciones Coronel Sur, Coronel Norte, Lota Urbana y Lagunillas durante el año 2012 y el escenario OPT del Proyecto aportaría con 2,42; 4,08; 1,67 y 2,48 μg/Nm^3 más en cada estación, respectivamente.

  - En las otras estaciones, Calabozo y Lota Rural, las mediciones indican que ni la norma anual ni diaria se encuentran superadas y el aporte del Escenario OPT permite seguir cumpliendo con la normativa de calidad del aire en dichas estaciones.

  - Con respecto a la norma anual de MP2.5, ésta se encuentra superada en las estaciones Nueva Libertad, Consultorio y Kingstone College sin incluir los aportes del escenario OPT del Proyecto el que contribuiría con 0,14 μg/Nm^3 en la estación Kingstone College. Con respecto a la norma diaria, los niveles observados de MP2.5 también superan este límite, establecido en 50 μg/Nm^3, en las estaciones Nueva Libertad, Consultorio, Punteras, Merken, Kingston College y Hualqui durante el año 2012. El Proyecto en el escenario RCA aportaría con una disminución en los niveles de MP2.5 en estas estaciones de 4,07; 2,11; 1,39; 0,50; 0,64 y 0,81 μg/Nm^3, respectivamente.

- Con respecto al Dióxido de Nitrógeno (NO_2) en el escenario OPT del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio –considerando el aporte más la línea base- no superan el 14% de la norma anual y el 64% de la norma horaria (Estación Coronel Sur) correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Con respecto a la norma primaria para Anhídrido Sulfuroso (SO_2), en el escenario OPT del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio -considerando el aporte más la línea base- no superan el 24% de la norma anual y el 40% de la norma diaria correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Con respecto a la norma secundaria para Anhídrido Sulfuroso (SO_2), en el escenario OPT del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio – considerando el aporte más la línea base- no superan el 32% de la norma anual, el 43% de la norma diaria y el 54% para la norma horaria correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Con respecto a Monóxido de Carbono (CO), en el escenario OPT del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio –considerando el aporte más la línea base- no superan el 36% de la norma de 8 h y el 23% de la norma horaria correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Finalmente, con el aporte de Ozono del escenario OPT del proyecto "Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad", según los resultados entregados por el modelo CALGRID para el año 2012 y los resultados obtenidos mediante la modelación con el modelo CAMx para los meses enero, abril, julio y octubre del año

2012, la norma de calidad de aire primaria de Ozono no se superaría, alcanzando un 43% de la norma respectiva.

- Impactos del escenario RCA-SEA del Proyecto "Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad":

  - La norma anual de MP10 para el año 2012, se encuentra superada en las estaciones Coronel Sur, Coronel Norte, Lota Urbana y Lagunillas sin incluir los aportes del escenario RCA-SEA del Proyecto, el que contribuiría con 1,35; 1,89; 1,06 y 1,34 $\mu g/Nm^3$ en las estaciones mencionadas, respectivamente. Con respecto a la norma diaria, ésta superó su límite, establecido en 150 $\mu g/Nm^3$, en estaciones Coronel Sur, Coronel Norte, Lota Urbana y Lagunillas durante el año 2012 y el escenario RCA-SEA del Proyecto aportaría con 3,60; 5,58; 3,36 y 4,72 $\mu g/Nm^3$ más en cada estación, respectivamente.

  - En las otras estaciones, Calabozo y Lota Rural, las mediciones indican que ni la norma anual ni diaria se encuentran superadas y el aporte del Escenario RCA-SEA permite seguir cumpliendo con la normativa de calidad del aire en dichas estaciones.

  - La norma anual de MP2.5 se encuentra superada en las estaciones Nueva Libertad, Consultorio y Kingstone College sin incluir los aportes del escenario RCA del Proyecto, el que contribuiría con 0,09; 0,08 y 0,09 $\mu g/Nm^3$, respectivamente. Con respecto a la norma diaria, los niveles observados de MP2.5 también superan este límite, establecido en 50 $\mu g/Nm^3$, en las estaciones Nueva Libertad, Consultorio, Punteras, Merken, Kingston College y Hualqui durante el año 2012. El Proyecto en el

escenario RCA aportaría en estas estaciones con 0,35; 0,32; 0,58; 1,61; 0,39 y 0,38 $\mu g/Nm^3$ más, respectivamente.

- Con respecto al Dióxido de Nitrógeno (NO_2) en el escenario RCA-SEA del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio –considerando el aporte más la línea base- no superan el 21% de la norma anual y el 96% de la norma horaria (Estación Coronel Sur) correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Con respecto a la norma primaria para Anhídrido Sulfuroso (SO_2), en el escenario RCA-SEA del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio -considerando el aporte más la línea base- no superan el 28% de la norma anual y el 41% de la norma diaria correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Con respecto a la norma secundaria para Anhídrido Sulfuroso (SO_2), en el escenario RCA-SEA del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio -considerando el aporte más la línea base- no superan el 38% de la norma anual, el 44% de la norma diaria y el 54% para la norma horaria correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Con respecto a Monóxido de Carbono (CO), en el escenario RCA-SEA del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio -considerando el aporte más la línea base- no superan el 36% de la norma de 8 h y el 23% de la norma horaria correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Impactos del escenario OPT-SEA del Proyecto "Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad":

  - La norma anual de MP10 para año 2012, se encuentra superada en las estaciones Coronel Sur, Coronel Norte, Lota Urbana y Lagunillas sin incluir los aportes del escenario OPT-SEA del Proyecto, el que contribuiría con 1,35; 1,88; 1,03 y 1,29 $\mu g/Nm^3$ en las estaciones mencionadas, respectivamente. Con respecto a la norma diaria, ésta superó su límite, establecido en 150 $\mu g/Nm^3$, en las estaciones Coronel Sur, Coronel Norte, Lota Urbana y Lagunillas durante el año 2012 y el escenario OPT-SEA del Proyecto aportaría con 3,59; 5,67; 3,00 y 4,42 $\mu g/Nm^3$ más en cada estación, respectivamente.

  - En las otras estaciones, Calabozo y Lota Rural, las mediciones indican que ni la norma anual ni diaria se encuentran superadas y el aporte del Escenario RCA-OPT permite seguir cumpliendo con la normativa de calidad del aire en dichas estaciones.

  - La norma anual de MP2.5 se encuentra superada en las estaciones Nueva Libertad, Consultorio y Kingstone College sin incluir los aportes del escenario RCA del Proyecto, el que contribuiría con 0,09; 0,08 y 0,09 $\mu g/Nm^3$, respectivamente. Con respecto a la norma diaria, los niveles observados de MP2.5 también superan este límite, establecido en 50 $\mu g/Nm^3$, en las estaciones Nueva Libertad, Consultorio, Punteras, Merken, Kingston College y Hualqui durante el año 2012. El Proyecto en el escenario RCA aportaría en estas estaciones con 0,33; 0,30; 0,57; 1,58; 0,37 y 0,38 $\mu g/Nm^3$ más, respectivamente.

- Con respecto al Dióxido de Nitrógeno (NO_2) en el escenario RCA-OPT del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio -considerando el aporte más la línea base- no superan el 21% de la norma anual y el 89% de la norma horaria (Estación Coronel Sur) correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Con respecto a la norma primaria para Anhídrido Sulfuroso (SO_2), en el escenario RCA-OPT del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio -considerando el aporte más la línea base- no superan el 30% de la norma anual y el 42% de la norma diaria correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Con respecto a la norma secundaria para Anhídrido Sulfuroso (SO_2), en el escenario RCA-OPT del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio -considerando el aporte más la línea base- no superan el 40% de la norma anual, el 45% de la norma diaria y el 57% para la norma horaria correspondiente a este contaminante para el año 2012.

- Con respecto a Monóxido de Carbono (CO), en el escenario RCA-SEA del Proyecto, los niveles ambientales en la zona de estudio -considerando el aporte más la línea base- no superan el 36% de la norma de 8 h y el 23% de la norma horaria correspondiente a este contaminante para el año 2012.

Este proyecto está Aprobado en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Enviromodeling participó en la fase de respuestas al ISCARA N° 1. Es decir, este estudio de calidad de aire se presentó, considerando los resultados del año 2012, en la Adenda N° 1, del cual no hubo observaciones en el ICSARA N° 2.

En conjunto con los resultados del año 2012, Enviromodeling también realizó, casi en paralelo, un informe con resultados para el periodo 2007 – 2009. Este informe no se presentó al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, fue parte del servicio pero como antecedentes para el cliente final y serviría de respaldo en caso de que la Autoridad lo solicitara, ya que en el EIA se presentó en primera instancia ese periodo como línea base de calidad de aire y en la Adenda N° 1 se actualizó al año 2012.

4.4.1.4 Proyecto RT Sulfuros

El proyecto "RT Sulfuros", cuyo titular es CODELCO Chile, División Radomiro Tomic, se desarrolla en la Región de Antofagasta, y se emplaza en la provincia de El Loa, comuna de Calama; en la provincia de Tocopilla, comunas de Tocopilla y María Elena; y en la provincia de Antofagasta, comunas de Sierra Gorda, Antofagasta y Mejillones y se encuentra en estado Aprobado en el SEIA.

El objetivo del Proyecto es explotar y procesar las reservas de sulfuros de la División Radomiro Tomic, mediante el desarrollo de obras y actividades que permitan mantener en el largo plazo los actuales niveles de producción de la División.

Lo anterior se llevará a cabo con la explotación de nuevas fases de minerales sulfurados de la mina RT a rajo abierto y su procesamiento mediante una nueva planta concentradora en RT de capacidad 200.000 toneladas por día (200 ktpd), para obtener una producción media y máxima estimadas, en el horizonte del Proyecto, de 756.000 y 1.051.000 t/año de concentrado de cobre (Cu) y 7.000 y 11.900 t/año de concentrado de molibdeno (Mo), respectivamente.

Para lograr la producción señalada, se considera el aprovechamiento de alrededor de 2.595 millones de toneladas de reservas estimadas de minerales sulfurados con una ley media de Cu de 0,47% y 0,011% de Mo. Sin perjuicio de lo cual, la División Radomiro Tomic continuará con su actual extracción y procesamiento de óxidos y otros recursos lixiviables, cuyo agotamiento se proyecta en la actualidad hacia el año 2018 y de igual manera con el actual envío y procesamiento de sulfuros en la planta concentradora de Chuquicamata, hasta el año 2035.

El concentrado de cobre será transportado mediante camiones al Terminal Graneles del Norte (TGN), al interior del Complejo Portuario Mejillones en Mejillones.

Los relaves generados, producto del procesamiento de los sulfuros en la planta concentradora RT, serán transportados a través de una nueva canaleta de relaves hasta el tranque Talabre, para su disposición final. Para ello, el Proyecto considera incorporarse a la operación actual mediante la disposición de relaves de manera convencional hasta el 2021, año en que se iniciará la puesta en marcha de la Planta de Espesadores de Alta Densidad (PEAD), que permitirá el funcionamiento del tranque con tecnología de relaves espesados, para todos los usuarios de la Corporación en el Distrito. Este proceso entrará en régimen en el año 2023.

Para cubrir los requerimientos de agua para el desarrollo de este Proyecto, se contempla la instalación de una Planta Desaladora, la cual tendrá un caudal de diseño de 1.956 l/s y un caudal nominal de 1.630 l/s de agua para uso industrial. Esta planta estará ubicada en la costa de la comuna de Tocopilla, en el sector denominado “Km 14” de la ruta CH-1, al sur de la ciudad de Tocopilla. Desde esta instalación, el agua desalada será impulsada y conducida mediante un ducto enterrado de aproximadamente 160 km de longitud, con sus respectivas

estaciones de bombeo, hasta un reservorio de agua industrial emplazado en los terrenos de la DRT.

El estudio de calidad de aire para presentar en su EIA fue realizado por Enviromodeling subcontratado por Gestión Ambiental S.A. (SGA) durante el año 2013, y se denominó: "Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros".

Este estudio tuvo los siguientes objetivos principales:

- Actualizar el Inventario de emisiones de Material Particulado del año 2011 (año Base), el cual se presentó en la DIA "Extracción y Movimiento de Minerales Mina Radomiro Tomic Quinquenio 2008 - 2012", año 2008.

- Elaborar los inventarios de emisiones del proyecto, según sectorización para las etapas de construcción y operación:

    1. Sector RT: Considera las obras asociadas a la operación minera y a la nueva planta concentradora, incluyendo las instalaciones requeridas para su funcionamiento. Además, considera las obras asociadas al transporte de relaves mediante canaleta desde la planta concentradora hasta Sector Tranque Talabre y a la recirculación de aguas de recirculación hasta la planta concentradora.
    2. Sector Tranque Talabre: Considera las obras necesarias para incorporar los relaves que generará el proyecto en el tranque Talabre. En una primera etapa, éstas corresponden a las conducciones de relaves desde una nueva cámara y el sistema de recuperación de aguas de reproceso desde el tranque Talabre, y en una segunda etapa,

corresponde a la infraestructura necesaria para la implementación del sistema de relaves espesados.

3. Sector Planta Desaladora: Considera una nueva planta desaladora con sus obras marítimas y la infraestructura requerida para su funcionamiento.
4. Sector Planta Desaladora – RT: Constituido por el sistema de impulsión que transporta el agua desalada desde la nueva planta desaladora hasta el Sector RT, y la infraestructura requerida para su funcionamiento.

- Evaluar los impactos en la calidad del aire de las emisiones de las actividades de los puntos anteriores, mediante la aplicación del sistema de modelación CALPUFF en su versión 5.8, aprobado por EPA (USA) para emisiones en terreno complejo.

El Sistema CALPUFF se aplicó considerando la siguiente información meteorológica, topográfica y de emisiones:

a) Escenario Meteorológico: Este estudio considera 3 escenarios meteorológicos, según el área de influencia del proyecto, las cuales de Este a Oeste son las siguientes:

1. Escenario Calama: Considera la meteorología correspondiente a la información horaria de superficie registrada por las estaciones monitoras de la red de CODELCO en Calama, Chuquicamata, Radomiro Tomic y Chiu Chiu durante el año 2011, y la información de altura obtenida del modelo de mesoescala MM5.
2. Escenario María Elena: Considera información de superficie y de altura obtenida del modelo de mesoescala MM5 para la zona, con resolución de 4 km.
3. Escenario Tocopilla: Considera información de superficie y de altura obtenida del modelo de mesoescala MM5 para la zona, con resolución de 4 km.

b) Escenario Topográfico: Este estudio considera 3 escenarios topográficos según el área de influencia del proyecto, las cuales de Este a Oeste son las siguientes:

1. Escenario Calama: Considera un área de 100 x 80 kilómetros, incluyendo la ciudad de Calama, la localidad de Chiu Chiu y las minas de Chuquicamata, Radomiro Tomic (RT) y Ministro Hales.
2. Escenario María Elena: Considera un área de 50 x 35 kilómetros, incluyendo la ciudad de María Elena y un sector por donde se emplazará el acueducto.
3. Escenario Tocopilla: Considera un área de 50 x 35 kilómetros, incluyendo la ciudad de Tocopilla, el área donde se ubicará la planta Desaladora y un sector por donde se emplazará el acueducto.

Estos tres dominios de modelaciones se presentan en Figura 37 a Figura 39, respectivamente.



Figura 37: Dominio de modelación de implementado en la zona de Calama - Chiu Chiu, con dimensiones de 100 kilómetros en dirección Este y 80 kilómetros en dirección Norte. Coordenadas de Origen. UTM-E: 460,0 km, UTM-N: 7.495,0 km.

Fuente: Enviromodeling Ltda.



Figura 38: Dominio de modelación de implementado en la zona de María Elena, con dimensiones de 50 kilómetros en dirección Este y 35 kilómetros en dirección Norte. Coordenadas de Origen. UTM-E: 408,0 km, UTM-N: 7.513,0 km.

Fuente: Enviromodeling Ltda.

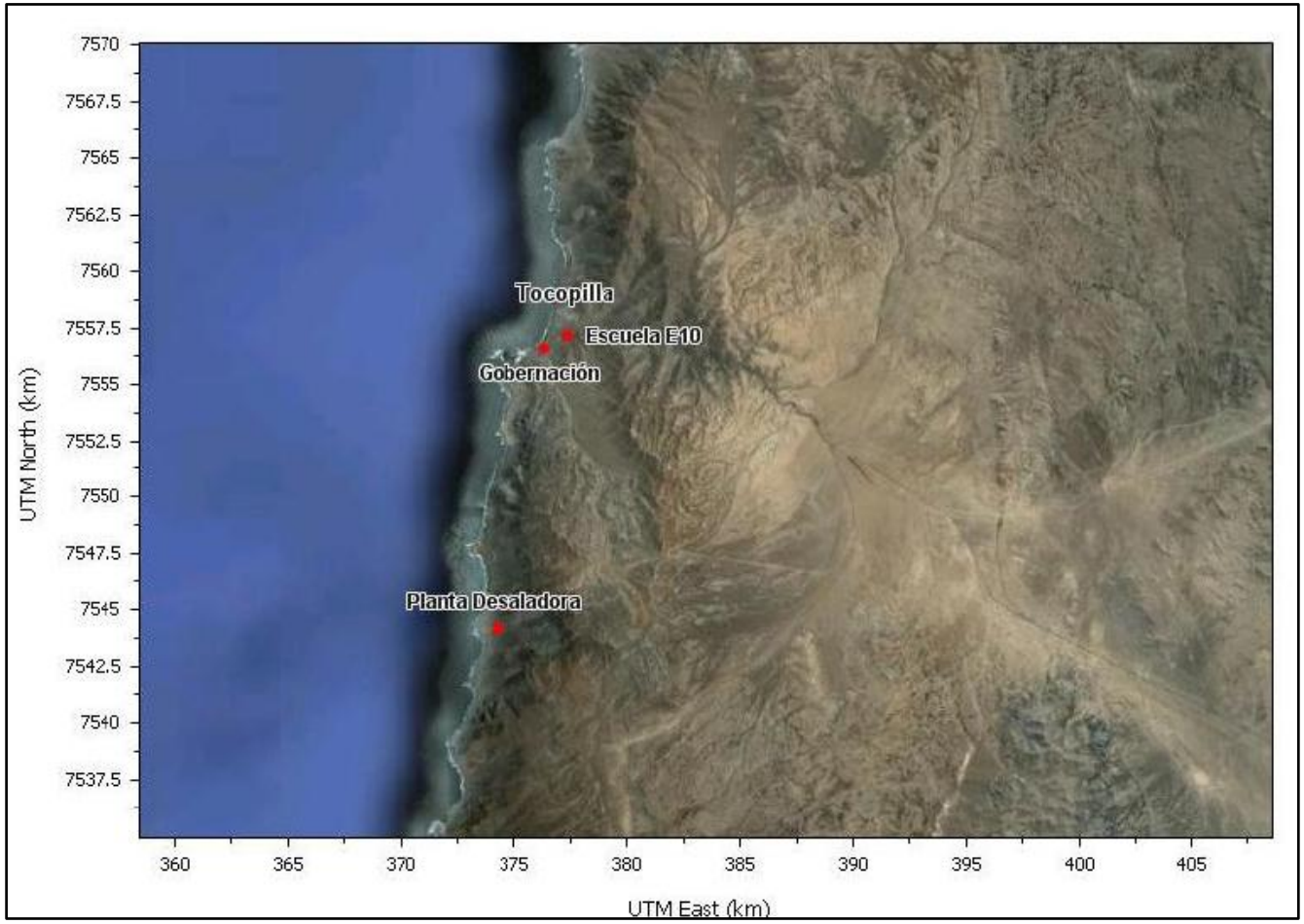


Figura 39: Dominio de modelación de implementado en la zona de Tocopilla, con dimensiones de 50 kilómetros en dirección Este y 35 kilómetros en dirección Norte. Coordenadas de Origen. UTM-E: 358,5 km, UTM-N: 7.535,0 km

Fuente: Enviromodeling Ltda.

c) Escenario de Emisiones: El estudio considera 5 escenarios de emisiones:

1. Escenario Base: Emisiones de MP10, MP2,5, MPS, SO_2, NO_2 y CO debido a las actividades de RT durante año 2011.
2. Escenario Construcción: Emisiones de MP10, MP2,5, MPS, debido a las actividades de la etapa construcción del Proyecto RT Sulfuros.
3. Escenario Operación: Emisiones de MP10, MP2,5, MPS, SO_2, NO_2 y CO debido a las actividades de la etapa de operación del Proyecto RT Sulfuros.
4. Escenario Planta: Emisiones de MP10, MP2,5, MPS, SO_2, NO_2 y CO debido a las actividades de las etapas de construcción y operación de la Planta Desaladora a instalarse al sur de Tocopilla.
5. Escenario Acueducto: Emisiones de MP10, MP2,5, MPS, SO_2, NO_2 y CO debido a las actividades de construcción del Acueducto que se ubicará desde Planta Desaladora hasta RT.

Los resultados obtenidos, para Calama y Chiu Chiu, para cada una de las etapas del proyecto permiten concluir lo siguiente:

- El impacto en la Calidad del Aire de Calama y Chiu Chiu debido a las emisiones del Proyecto RT Sulfuros alcanza niveles de MP10 promedio anuales en el rango entre 0,13 y 0,41 µg/Nm^3 y entre 0,31 y 1,14 µg/Nm^3 como percentil 98 de las concentraciones diarias de este contaminante, en los receptores Hospital del Cobre, Servicio Médico Legal y Chiu Chiu. Con respecto al MP2,5, en estos receptores, el aporte neto del Proyecto RT Sulfuros alcanza valores promedios anuales de MP2,5 en el rango entre 0,09 a 0,24 µg/Nm^3 y niveles percentil 98 de las concentraciones diarias de MP2,5 entre 0,19 a 0,38 µg/Nm^3.

- La norma anual de MP10 (50 µg/Nm^3) se encuentra superada en las estaciones Servicio Médico Legal y Chiu Chiu sin incluir los aportes del Proyecto RT Sulfuros, el que contribuiría con 0,29, 0,28 y 0,20 µg/Nm^3 en Hospital del Cobre, Servicio Médico Legal y Chiu Chiu respectivamente, mientras que los aportes de otros proyectos declarados contribuirían con 0,44, 0,03 y 0,02 µg/Nm^3 en Hospital del Cobre, Servicio Médico Legal y Chiu Chiu respectivamente. Con respecto a la norma diaria, de 150 µg/ Nm^3, ésta se supera en la estación Servicio Médico Legal durante el año 2012. En este lugar el Proyecto RT Sulfuros aportaría con 0,87 µg/Nm^3.

El proyecto RT Sulfuros fue aprobado luego de presentado tres Adendas en su evaluación. Enviromodeling participó en las tres adendas presentando estudios que actualizaban las emisiones y por lo tanto las modelaciones de acuerdo a las distintas observaciones de la Autoridad o actualizaciones operacionales que tuvo que hacer el mandante.

4.4.2. Análisis de Proyectos Destacados

A continuación, se presenta el análisis de los cuatro proyectos descritos en la Sección 4.3, es decir, el análisis de los desarrollos de los estudios de calidad de aire realizados por Enviromodeling, por lo que se presentan con el nombre del servicio entregado por la empresa.

4.4.2.1 Estudio “Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble” del Proyecto Central Tierra Noble de Global Power Generation Chile SpA

La programación del proyecto de Enviromodeling “Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble” se muestra en Tabla 13. Como se observa en esta tabla, el servicio tenía un plazo programado de siete semanas.

En un plazo de tres semanas se entregaría un informe de avance con los resultados del modelo meteorológico WRF y su análisis de incertidumbre. Luego de esto, a las dos semanas siguientes se entregaría el informe con todos los resultados del estudio, el que se denomina Pre-Informe Final. Este documento tiene como finalidad presentar todos los resultados al mandante para su revisión. Una vez resueltas las observaciones, correcciones y/o comentarios a este informe se entrega en un plazo de 2 semanas el Informe Final a presentar como parte del EIA del proyecto Central Tierra Noble.

Por otra parte, en Tabla 14 se presentan los recursos humanos propuestos a utilizar en el estudio para lograr los objetivos de éste. En esta tabla se observa que prácticamente el proyecto es a tiempo completo por parte de los profesionales de la empresa.

El tiempo real que tomó la realización de este estudio se presenta en Tabla 15. En esta tabla se observa que el tiempo real utilizado fue de 18 semanas.

En Figura 40 se muestra la desviación del tiempo real con respecto al programado. Como se observa en esta figura, la desviación es de 11 semanas en la entrega del Informe Final con respecto a lo programado. Esta desviación comienza con la entrega del Pre-Informe Final, lo que se debe principalmente a la entrega de información del proyecto por parte del cliente para la modelación fotoquímica de la operación de la central.

La desviación en la entrega del Informe Final con respecto al Pre-Informe Final, que en la programación es de dos semanas, no es debido a que se debieran realizar grandes correcciones o grandes cambios, si no que más bien se debió al atraso en la entrega de observaciones y comentarios por parte del cliente.

Tabla 13: Programación del Proyecto de Enviromodeling: "Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble".

Actividades		Semanas						
		1	2	3	4	5	6	7
Preparación Información:	Revisión de Inventario de emisiones de la zona de Cabrero del año 2014.		X	X				
	Preparación Línea Base meteorológica del año 2014 y para los meses enero, abril, julio y octubre del mismo año, en las estaciones de interés.	X						
Modelaciones:	Modelación meteorológica con WRF del año 2014 para un dominio de aproximadamente 70 x 70 km^2 con resolución de 1 km x 1 km.	X	X					
	Modelación con CAMx del escenario de emisiones Base año 2014 para la zona de estudio, para los meses enero, abril, julio y octubre del año 2014.			X	X			
	Modelación con CAMx del escenario de emisiones Base-RCA para la zona de estudio, para los meses enero, abril, julio y octubre del año 2014. Este escenario considera las emisiones del escenario Base 2014 más las emisiones de proyectos aprobados que no han operado durante el año 2014.			X	X			
	Modelación con CAMx del escenario de emisiones Futuro de la Central Termoeléctrica Tierra Noble, para los meses enero, abril, julio y octubre del año 2014.				X	X		
	Modelación con CALPUFF del escenario de emisiones Actual de la Central Termoeléctrica Ciclo Combinado Tierra Noble para el año 2014.			X				
	Modelación con CALPUFF del escenario de construcción de la Central Termoeléctrica Tierra Noble.				X			
	Modelación con CALPUFF del escenario de emisiones Futuro de la Central Termoeléctrica Ciclo Combinado Tierra Noble para el año 2014.					X		

Actividades		Semanas						
		1	2	3	4	5	6	7
Resultados:	Informe de Avance, el que contendrá los resultados del modelo WRF y su análisis de sensibilidad (comparación modelado versus observado).			X				
	Pre-Informe Final para revisión, el que contendrá todos los resultados de CAMx para Ozono y de CALPUFF para MP10, MP2.5, MPS, SO_2, NO_2 y CO, considerando sus respectivas normas de calidad de aire primarias y secundarias. También contendrá la estimación de impactos considerando los aportes de otros proyectos con RCA que no operaron durante el año 2014. Además, incluirá las observaciones realizadas al Informe de Avance.					X		
	Informe Final, el que contendrá todos los resultados del estudio además de las observaciones, correcciones y/o comentarios de la contraparte al Pre-Informe Final.							X

Fuente: Enviromodeling Ltda.

Tabla 14: Recursos humanos a utilizar en el Proyecto de Enviromodeling: "Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble".

Profesional	Nº Horas
Jefe Proyecto y Coordinador	130
Luis Matamala	
Ing. Informático	160
Francisco Matamala	
Ing. Ambiental Esp. Modelación	180
Nadia Ruminot	

Profesional	Nº Horas
Ing. Civil Ambiental especialista en análisis de datos meteorológicos	120
Leyla Fuentes	

Fuente: Enviromodeling Ltda.

Tabla 15: Entrega de resultados en el Proyecto de Enviromodeling: "Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble".

Actividades		Semanas																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Resultados:	Informe de Avance		X																
	Pre-Informe Final para revisión											X							
	Informe Final																		X

Fuente: Elaboración propia.

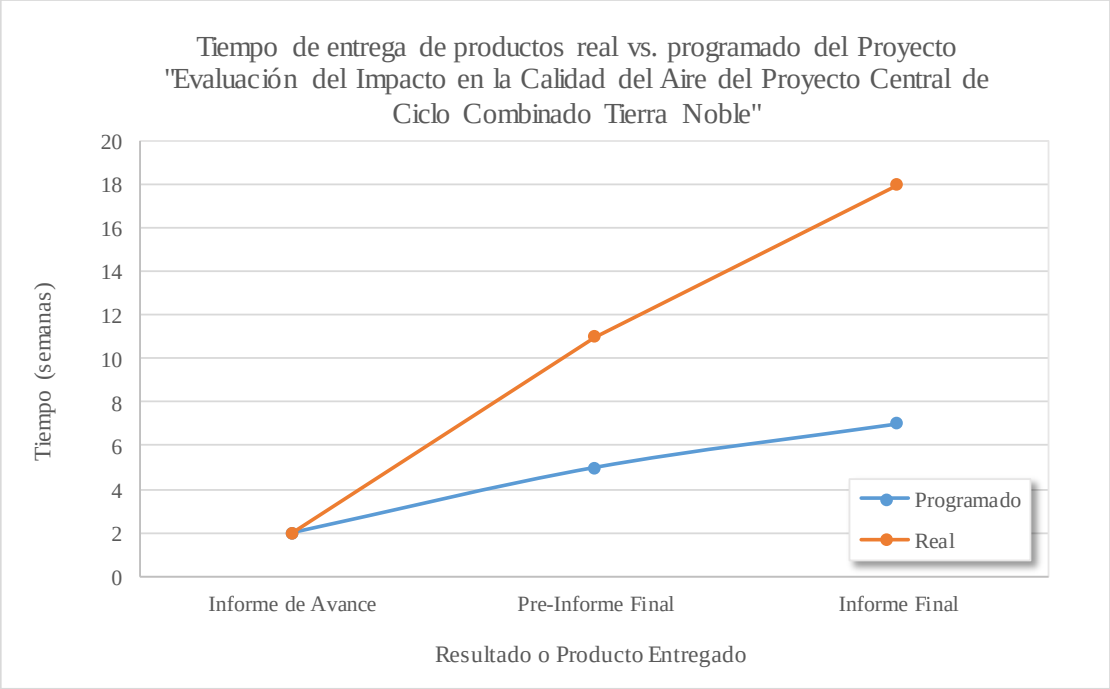


Figura 40: Comparación de los tiempos de entrega de resultados real y programado del proyecto “Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble”.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la desviación de tiempo utilizado por actividad del proceso productivo de este Proyecto, en Figura 41 y Figura 42 se muestra la comparación y la desviación porcentual, respectivamente, de las horas programadas y las reales utilizadas. Como se observa en estas figuras, la desviación del tiempo utilizado en las actividades de desarrollo de Inventario de Emisiones y modelación de calidad de aire son las responsables de la desviación en la entrega del Pre-Informe Final.

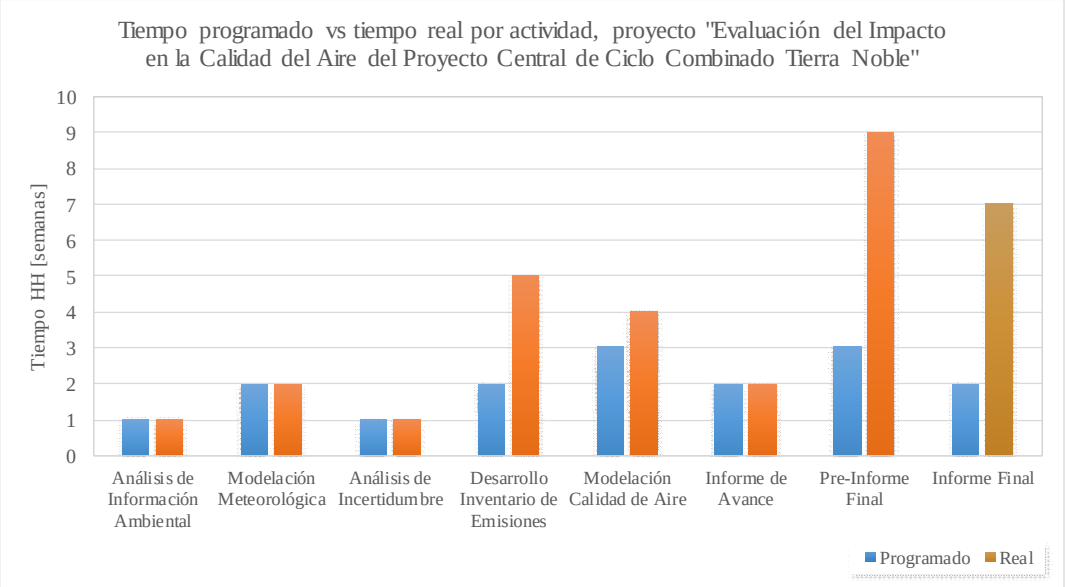


Figura 41: Comparación de los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto “Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble”.

Fuente: Elaboración propia.

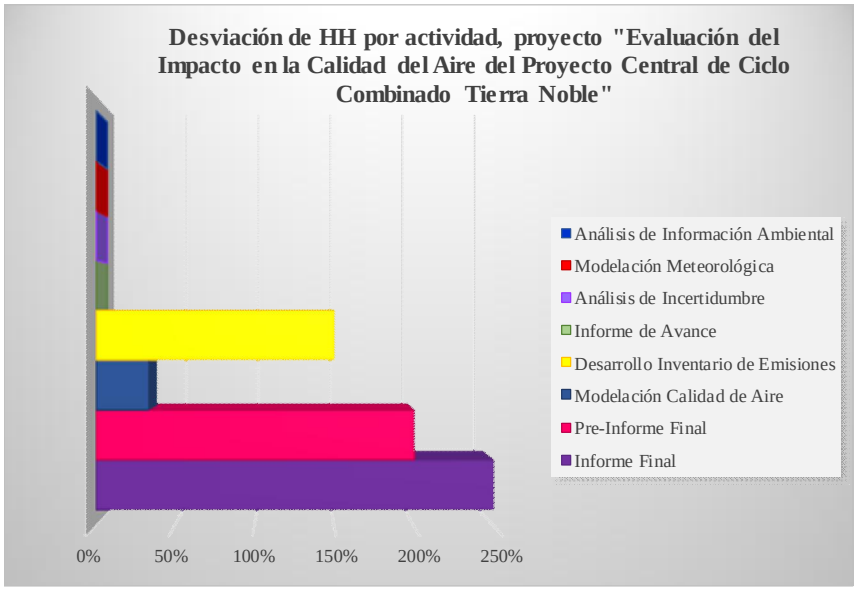


Figura 42: Desviación porcentual entre los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto “Evaluación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Central de Ciclo Combinado Tierra Noble”.

Fuente: Elaboración propia.

Este proyecto fue relativamente exitoso para Enviromodeling, ya que, si bien hubo retrasos en la entrega del Pre-Informe Final y el Informe Final, esto se debió a atrasos por parte del cliente final y no debido a problemas en los procesos de la empresa. En primer lugar, hubo demora en la entrega de información para el desarrollo del estudio, y en segundo lugar se tomaron mucho tiempo para revisar el Pre-Informe Final y entregar observaciones a éste y sus comentarios. Esto puede deberse a la complejidad del estudio, ya que el cliente final no necesariamente tiene alguna experiencia en el tema de modelación de calidad de aire. Otro factor importante es el cliente intermediario, quienes son los que realizan las gestiones entre Enviromodeling y el cliente final, quienes no solo tienen que solucionar temas de calidad de aire si no que sobre todo el proyecto y todos sus impactos ambientales, y por lo tanto son quienes deciden las prioridades de cada tema en su propio proyecto.

4.4.2.2 Estudio "Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama" del Proyecto Luz de Atacama de Concesionaria Luz De Atacama SpA

La programación del proyecto de Enviromodeling "Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama" se muestra en Tabla 16. Como se observa en esta tabla, el servicio tenía un plazo de 21 semanas.

En un plazo de doce semanas se entregaría un informe de avance con todos los resultados del estudio. Luego de esto, a las seis semanas siguientes se entregaría el Pre-Informe Final con las correcciones y/o arreglos según las observaciones del mandante. Una vez resueltas las observaciones, correcciones y/o comentarios a este informe se entrega en un plazo de 3 semanas el Informe Final a presentar como parte del EIA del proyecto Central Luz

de Atacama. La entrega de estos tres informes es una exigencia de las bases técnicas de la contraparte.

Por otra parte, en Tabla 17 se presentan los recursos humanos propuestos a utilizar en el estudio para lograr los objetivos de éste. Este proyecto se propuso con tiempo de holgura debido a otros proyectos en paralelo en la empresa.

El tiempo real que tomó la realización de este estudio se presenta en Tabla 18. En esta tabla se observa que el tiempo real utilizado fue de 16 semanas.

En Figura 43 se muestra la desviación del tiempo real con respecto al programado. En esta figura se aprecia que tanto el Pre-Informe Final como el Informe Final se entregaron antes de lo programado. Como se mencionó anteriormente, la programación consideraba holgura de tiempo. Debido al tiempo liberado en otros proyectos que se realizaban en paralelo y a la entrega temprana de las observaciones y comentarios de la contraparte, los informes se pudieron entregar en menor tiempo que el programado.

Tabla 16: Programación del Proyecto de Enviromodeling: "Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama".

Actividades	**Semanas**																				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**
Determinación del Área de Influencia del Proyecto	X	X																			
Análisis de Incertidumbre de la Información Meteorológica de Superficie y Altura para el Proyecto					X	X	X														
Elaboración Línea Base Proyectada			X	X	X																
Inventario de Emisiones de Precursores de Ozono				X	X	X	X														
Corridas Modelo WRF para el Proyecto		X	X	X	X																
Modelación de Ozono Mediante CAMx								X	X	X	X	X									
Informe de Avance del Estudio												**X**									
Pre-Informe Final del Estudio																		**X**			
Informe Final del Estudio																					**X**

Fuente: Enviromodeling Ltda.

Tabla 17: Recursos humanos a utilizar en el Proyecto de Enviromodeling: "Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama".

Profesional	Nº Horas
Jefe Proyecto y Coordinador	100
Luis Matamala	
Ing. Informático	180
Francisco Matamala	
Ing. Ambiental Esp. Modelación	120
Nadia Ruminot	
Ing. Civil Ambiental especialista en análisis de datos meteorológicos	120
Leyla Fuentes	

Fuente: Enviromodeling Ltda.

Tabla 18: Entrega de resultados en el Proyecto de Enviromodeling: "Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama".

Actividades		Semanas															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Resultados:	Informe de Avance												X				
	Pre-Informe Final para revisión														X		
	Informe Final																X

Fuente: Elaboración propia.

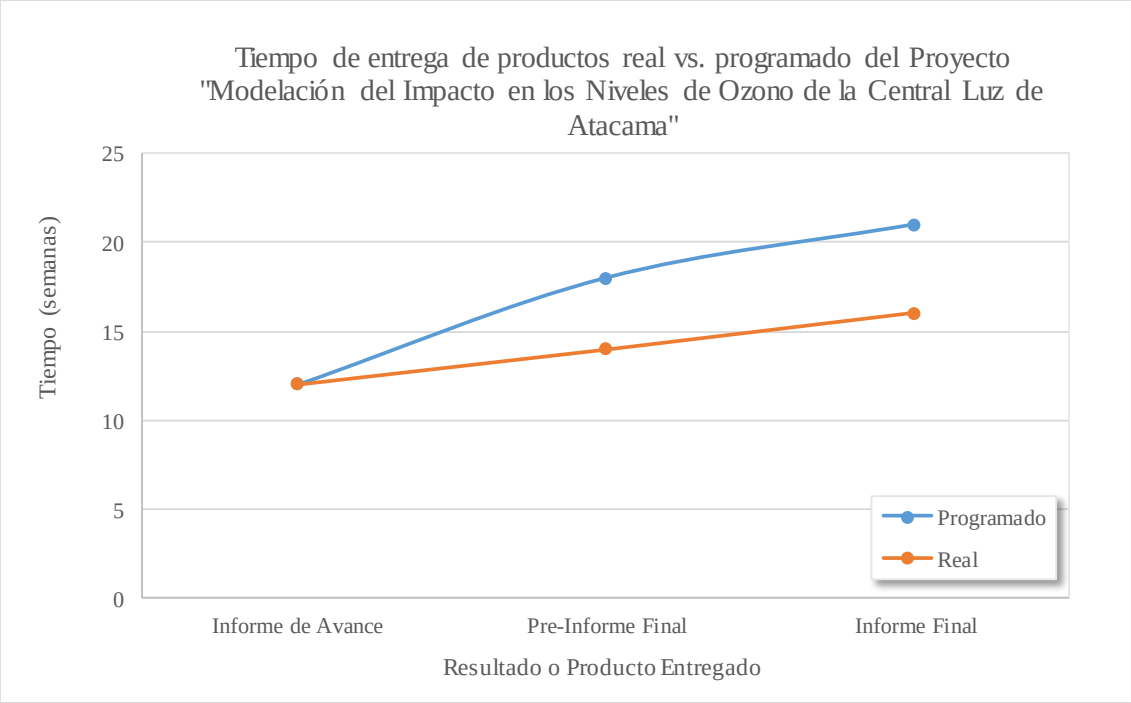


Figura 43: Comparación de los tiempos de entrega de resultados real y programado del proyecto "Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama". Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la desviación de tiempo utilizado por actividad del proceso productivo de este Proyecto, en Figura 44 y Figura 45 se muestra la comparación y la desviación porcentual, respectivamente, de las horas programadas y las reales utilizadas. En estas figuras se aprecia que casi todas las actividades se realizaron en menos tiempo que el programado, excepto la modelación de calidad de aire. Es por esto que la entrega del Informe de Avance, el cual contenía todos los resultados del estudio, se realizó en la fecha programada según los requerimientos del cliente. Finalmente, el Pre-Informe Final y el Informe Final se entregaron en un 67 y 33% menos del tiempo programado, respectivamente.

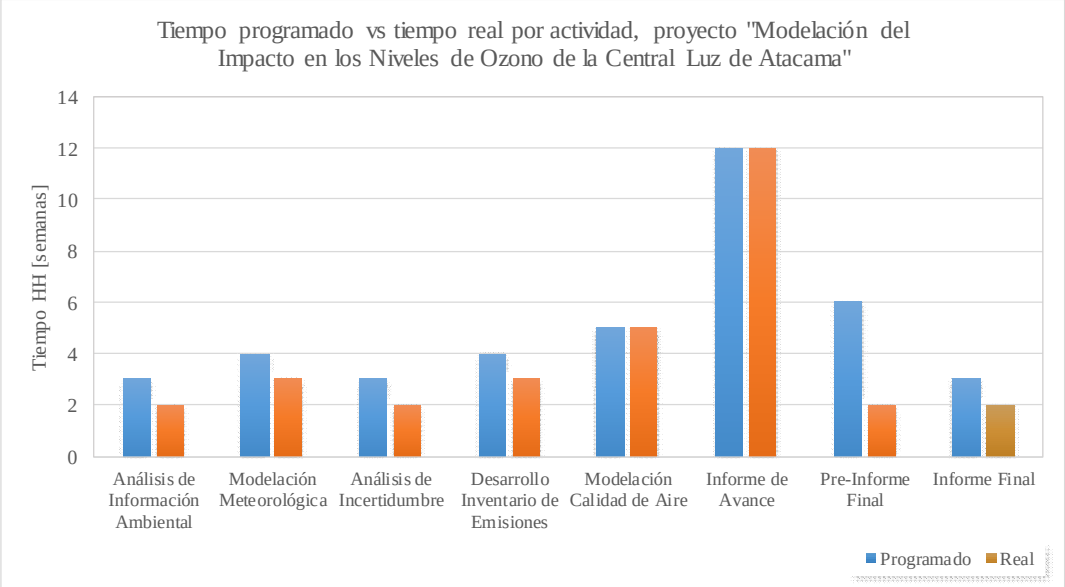


Figura 44: Comparación de los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto “Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama”.

Fuente: Elaboración propia.

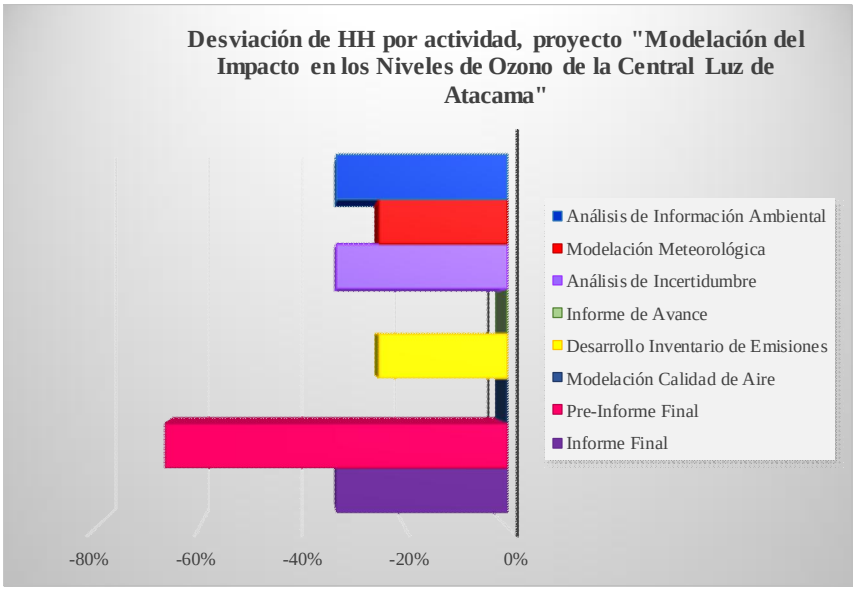


Figura 45: Desviación porcentual entre los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto “Modelación del Impacto en los Niveles de Ozono de la Central Luz de Atacama”.

Fuente: Elaboración propia.

Este proyecto fue exitoso para Enviromodeling en la implementación y desarrollo de sus procesos. Como se observa en la sección anterior, los informes fueron entregados antes de lo planificado. Esto se debió a la entrega oportuna de la información por parte del cliente y a la adecuada retroalimentación de la contraparte, lo que permitió que el Informe Final se entregará antes de lo programado. En este caso se contó con tiempo que liberaron otros proyectos paralelos de la empresa, pero igualmente no habría sido posible este adelanto si no fuera por la buena comunicación que se tuvo con los clientes.

Si bien el proyecto "Luz de Atacama" fue declarado No Calificado en el SEIA, el servicio entregado por Enviromodeling se califica como exitoso ya que de las observaciones que realizó la Autoridad al Proyecto para declararlo así no tienen nada que ver con los resultados presentados por Enviromodeling en su estudio de calidad de aire realizado, por lo que se considera que cumple con todos los objetivos del servicio entregado.

4.4.2.3 Estudio "Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina" del Proyecto Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad de ENEL Generación Chile

La programación del proyecto de Enviromodeling "Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina" se muestra en Tabla 19. Como se observa en esta tabla, el servicio tenía un plazo de doce semanas.

En un plazo de ocho semanas se entregaría un informe preliminar con todos los resultados del estudio, el que se denomina Pre-Informe Final. Este documento tiene como finalidad presentar todos los resultados al mandante para su revisión. Una vez resueltas las observaciones, correcciones y/o comentarios a este informe se entregaría en un plazo de 2

semanas el Informe Final a presentar como parte del EIA del proyecto Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad.

Por otra parte, en Tabla 20 se presentan los recursos humanos propuestos a utilizar en el estudio para lograr los objetivos de éste. En esta tabla se observa que prácticamente el proyecto es a tiempo completo por parte de los profesionales de la empresa.

El tiempo real que tomó la realización de este estudio se presenta en Tabla 21. En esta tabla se observa que el tiempo real utilizado fue de 48 semanas.

En Figura 46 se muestra la desviación del tiempo real con respecto al programado. Como se observa en esta figura, antes del Pre-Informe Final programado se entregó un Informe de Avance, el cual contenía los resultados de las actividades 1 a 6 de Tabla 19 pero solo para el año 2012, luego de un acuerdo con el cliente en que solicitó hacer en primer lugar el informe con los resultados del año 2012, el que sería parte del EIA. Los resultados de los años 2007 – 2009 sería un informe interno que serviría de respaldo en caso que fuera solicitado por la Autoridad.

Como se observa en Tabla 21 y Figura 46, este proyecto se extendió por mucho más tiempo que el programado y se realizaron 4 versiones de informes antes del Informe Final definitivo. Esto se produjo debido a observaciones y comentarios a los informes por parte del cliente final, muchos de ellos en cuanto a forma más que al fondo de los contenidos.

Tabla 19: Programación del Proyecto de Enviromodeling: "Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina".

Actividad		Semanas											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Modelación Meteorológica con WRF Realizada por el Consultor, Periodo 2007-2009 y año 2012.		X	X	X	X	X	X	X	X				
1	Establecer la línea base de calidad de aire para el periodo 2007-2009 y para el año 2012.	X	X										
2	Procesamiento de datos de las variables meteorológicas registradas en las estaciones de monitoreo para el periodo 2007-2009 y año 2012.	X	X	X									
3	Caracterización y análisis de la meteorología del área de influencia del Proyecto, periodo 2007-2009 y año 2012		X	X									
4	Caracterización de las fuentes de emisión	X	X										
5	Definición y justificación del modelo de calidad de aire empleado, de acuerdo a los criterios especificados en la Guía.	X	X										
6	Modelación con WRF de la meteorología para el periodo 2007-2009 y el año 2012.	X	X	X	X	X							
7	Modelación de dispersión y formación de los contaminantes MP10, MP2.5, NO_2, SO_2, CO y Ozono. **5 escenarios** para el periodo 2007-2009 y año 2012: 68 modelaciones.			X	X	X	X	X	X	X			
8	Obtención y análisis de los resultados de las modelaciones de dispersión y fotoquímicas.				X	X	X	X	X	X	X		
9	Evaluación del efecto en la calidad del aire de cada escenario considerado							X	X	X	X		
10	Análisis de incertidumbre de la meteorología y en la modelación de calidad de aire.			X	X	X	X	X	X	X	X		

Actividad		Semanas											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	**Preparación de Informe Preliminar**	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
12	**Preparación de Informe Final**											X	X

Fuente: Enviromodeling Ltda.

Tabla 20: Recursos humanos a utilizar en el Proyecto de Enviromodeling: "Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina".

Profesional	Nº Horas
Jefe Proyecto y Coordinador	440
Luis Matamala	
Ing. Informático	440
Francisco Matamala	
Ing. Ambiental Esp. Modelación	440
Nadia Ruminot	
Ing. Civil Ambiental especialista en análisis de datos meteorológicos	440
Leyla Fuentes	
Ing. Ejecución Industrial	440
Josefina Machlas	
Asesor Internacional	200
Gary Moore	

Fuente: Enviromodeling Ltda.

Tabla 21: Entrega de resultados en el Proyecto de Enviromodeling: "Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina".

Actividades		**Semanas**																			
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**…**	**21**	**…**	**38**	**…**	**45**	**46**	**47**	**48**
Resultados:	Informe de Avance						X															
	Pre-Informe Final para revisión											X										
	Informe Final v2R0														X							
	Informe Final v4R1																X					
	Informe Final v4R2																		X			
	Informe Final v5																			X		
	Informe Final																					X

Fuente: Elaboración propia.

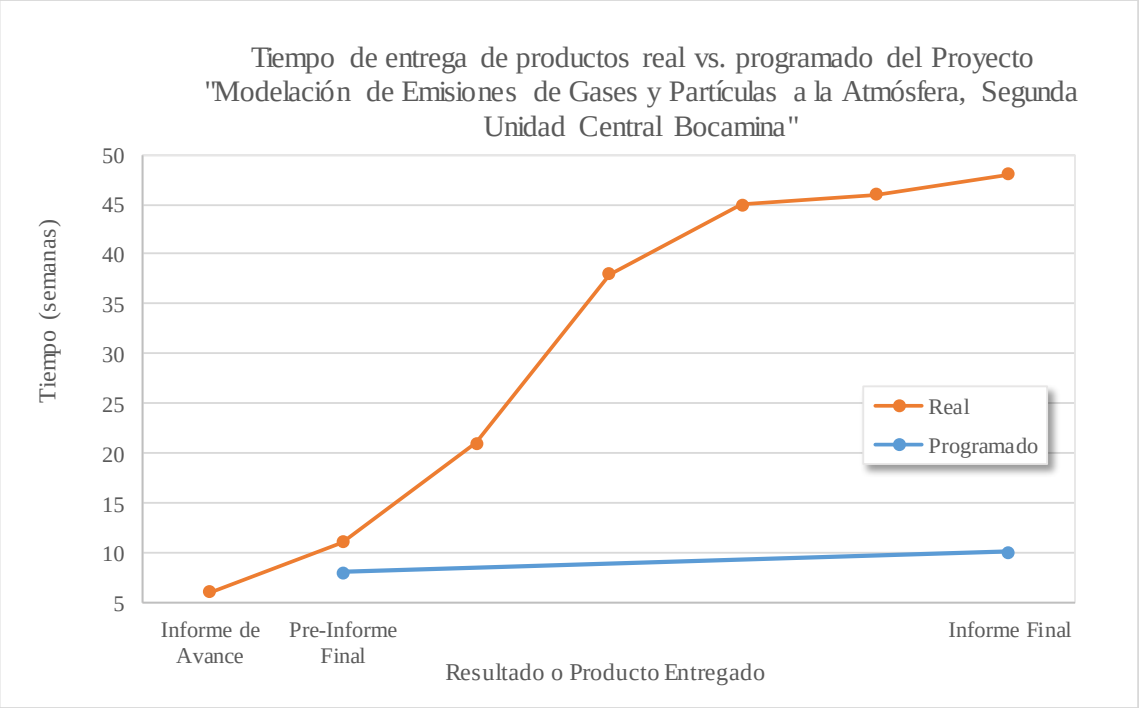


Figura 46: Comparación de los tiempos de entrega de resultados real y programado del proyecto “Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina”.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la desviación de tiempo utilizado por actividad del proceso productivo de este Proyecto, en Figura 47 y Figura 48 se muestra la comparación y la desviación porcentual, respectivamente, de las horas programadas y las reales utilizadas. Como se aprecia en estas figuras, hay pequeñas desviaciones del tiempo utilizado en las actividades de desarrollo de Inventario de Emisiones y modelación de calidad de aire, lo que lleva a una desviación en la entrega del Pre-Informe Final. En la actividad de análisis de incertidumbre se utilizó menos tiempos del presupuestado.

La mayor desviación de tiempo se produce en la entrega del Informe Final, lo que fue consecuencia de las múltiples observaciones de la contraparte.

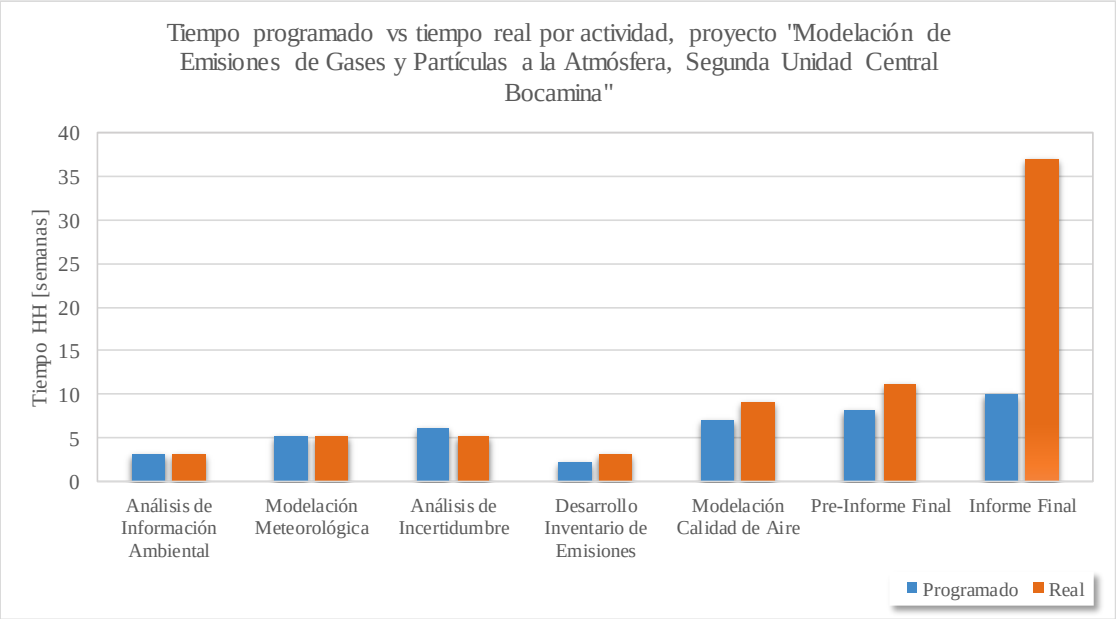


Figura 47: Comparación de los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto “Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina”.

Fuente: Elaboración propia.

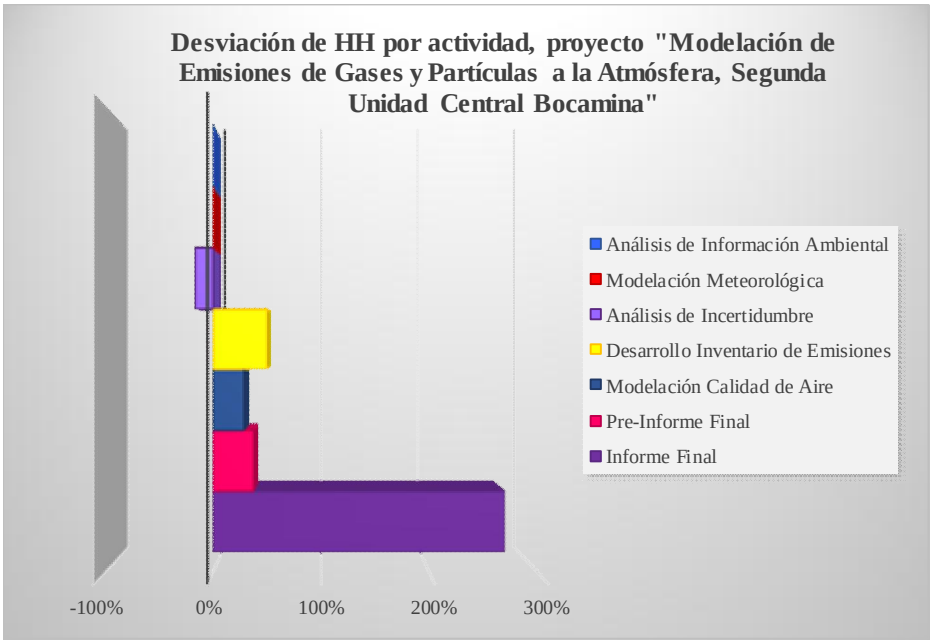


Figura 48: Desviación porcentual entre los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto “Modelación de Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera, Segunda Unidad Central Termoeléctrica Bocamina”.
Fuente: Elaboración propia.

Este proyecto tuvo muchas complicaciones para Enviromodeling. En primer lugar, el cliente solicitó dos informes separados, uno con los resultados del año 2012 y otro con los del periodo 2007 – 2009. El primero con mayor urgencia para poder presentarlo como parte de la Adenda N° 1 y el segundo quedaría como antecedentes para el cliente final por si se requería en una segunda Adenda. Esto significó más tiempo en la elaboración de informes y además se tradujo en más tiempo de correcciones a estos también.

En segundo lugar, se realizaron múltiples versiones de los informes (ver Tabla 21 y Figura 46) debido a observaciones que venían de parte del cliente final. La mayor parte de éstas fueron de forma de los informes. Por otra parte, se recibían observaciones por parte del

cliente final que en algunos casos había que enviar explicaciones a parte de los informes en correos electrónicos para aclarar dudas.

Uno de los factores que influyó en la gran cantidad de informes intermedios fue la que este estudio debía cumplir con las condiciones de forma y fondo de la nueva "Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA". Como parte de estas condiciones se implementó y aplicó el sistema de modelación WRF (meteorológico) + CAMx (fotoquímico), modelos que se estaban recién conociendo en el país, por lo que el cliente final no tenía mayor conocimiento ni experiencia con estas herramientas que son el estado del arte en modelación fotoquímica de calidad de aire.

Es importante recordar que este estudio fue subcontratado, lo que se tradujo en tener un interlocutor entre la empresa y el cliente final. Esto dificultó en gran medida el poder ponerse de acuerdo con el cliente final y entender realmente cuál eran realmente sus dudas y requerimientos. Esto se solucionó al tener una reunión de consultas con la contraparte y el cliente final. De esta forma se pudo solucionar directamente sus dudas y se llegó a un acuerdo de comunicación directa.

4.4.2.4 Estudio "Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros" del Proyecto RT Sulfuros de CODELCO Chile, División Radomiro Tomic

La programación del proyecto de Enviromodeling "Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros" se muestra en Tabla 22. Como se observa en esta tabla, el servicio tenía un plazo de cinco semanas.

En un plazo de cuatro semanas se entregaría un informe con todos los resultados del estudio, el que se denomina Pre-Informe Final. Este documento tiene como finalidad presentar todos los resultados al mandante para su revisión. Una vez resueltas las observaciones, correcciones y/o comentarios a este informe se entregaría en un plazo de una semana el Informe Final a presentar como parte del EIA del proyecto RT Sulfuros.

Por otra parte, en Tabla 23 se presentan los recursos humanos propuestos a utilizar en el estudio para lograr los objetivos de éste. En esta tabla se observa que prácticamente el proyecto es a tiempo completo por parte de los profesionales de la empresa. Este proyecto fue contratado con la exigencia de plazos muy acotados, por lo que se contemplaban realizar horas extras durante todo un mes para poder cumplir con los objetivos del estudio.

El tiempo real que tomó la realización de este estudio se presenta en Tabla 24. En esta tabla se observa que el tiempo real utilizado fue de 18 semanas.

En Figura 49 se muestra la desviación del tiempo real con respecto al programado.

Como se observa en Tabla 24 y Figura 49, el estudio se extendió con la entrega de un Informe Final 2, el cual fue realizado a petición de la contraparte ya que hubo cambios al proyecto que coordinaron con el cliente final, lo que derivó en cambios en el estudio de calidad de aire realizado.

Tabla 22: Programación del Proyecto de Enviromodeling: "Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros".

Actividades	**Semanas**				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
Visita a Terreno	X				
Obtención de Información de Nivel de Actividad de RT y Actualización de Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos de la Operación Actual de RT.	X	X			
Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos de la Etapa de Construcción del Proyecto Actualización RT.		X	X		
Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos de las Actividades de Construcción de Ducto de Agua desde Tocopilla a RT.			X		
Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos de la Etapa de Operación del Proyecto Actualización RT.		X	X		
Implementación y Aplicación Modelo Micrometeorológico CALMET en la zona de Calama-RT-Chiu Chiu, Año 2011.	X				
Implementación y Aplicación Modelo Micrometeorológico CALMET en Cada zona de Construcción del Ducto de Agua desde Tocopilla a RT, Año 2011.		X			
Implementación y Aplicación del Modelo de Dispersión CALPUFF para Evaluar el Impacto de Contaminantes Atmosféricos de las Actividades Actuales de RT.			X		
Implementación y Aplicación del Modelo de Dispersión CALPUFF para Evaluar el Impacto de Contaminantes Atmosféricos de las Actividades de la Etapa de Construcción del Proyecto Actualización RT.			X	X	

Actividades	Semanas				
	1	2	3	4	5
Implementación y Aplicación del Modelo de Dispersión CALPUFF para Evaluar el Impacto de Contaminantes Atmosféricos de las Actividades de Construcción de Ducto de Agua desde Tocopilla a RT.				X	
Implementación y Aplicación del Modelo de Dispersión CALPUFF para Evaluar el Impacto de Contaminantes Atmosféricos de las Actividades de la Etapa de Operación del Proyecto Actualización RT			X	X	
Evaluación Compensación de Impacto de MP10 en Calama y Chiu Chiu.					X
Entrega Pre-Informe Final				**X**	
Entrega Informe Final					**X**

Fuente: Enviromodeling Ltda.

Tabla 23: Recursos humanos a utilizar en el Proyecto de Enviromodeling: "Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros".

Profesional	Nº Horas
Jefe Proyecto y Coordinador	220
Luis Matamala	
Ing. Ambiental Esp. Modelación	240
Nadia Ruminot	
Ing. Civil Ambiental especialista en análisis de datos meteorológicos	160
Leyla Fuentes	
Ing. Ejecución Industrial	176

Profesional	Nº Horas
Josefina Machlas	

Fuente: Enviromodeling Ltda.

Tabla 24: Entrega de resultados en el Proyecto de Enviromodeling: "Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros".

Actividades		Semanas																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Resultados:	Pre-Informe Final para revisión		X																
	Informe Final											X							
	Informe Final 2																		X

Fuente: Elaboración propia.

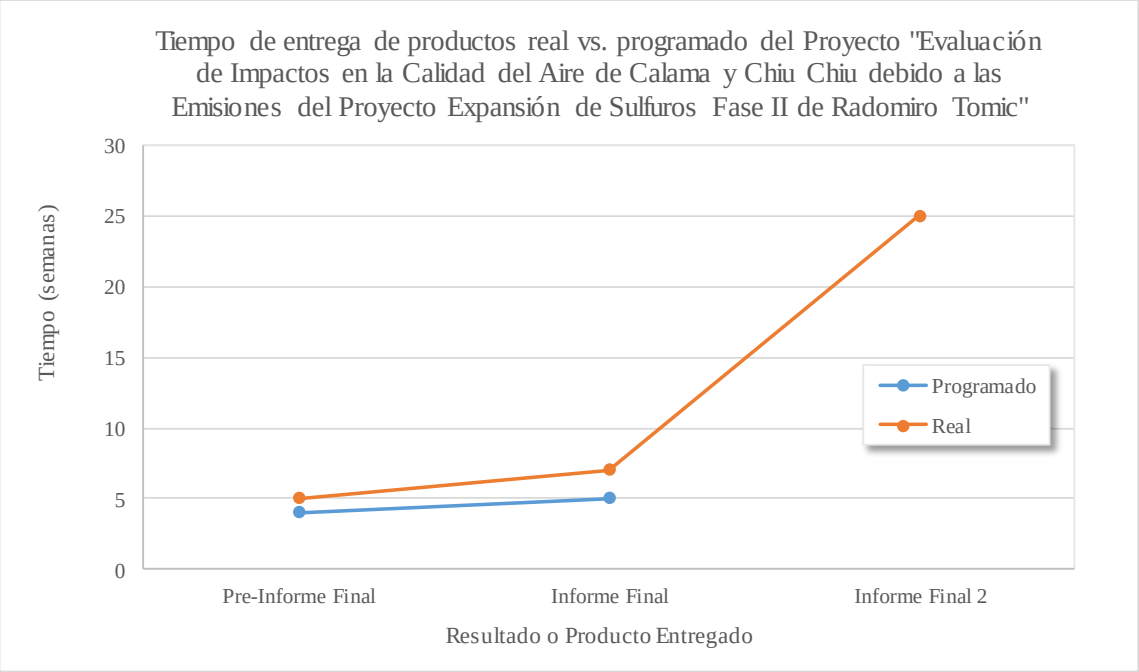


Figura 49: Comparación de los tiempos de entrega de resultados real y programado del proyecto "Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros".

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la desviación de tiempo utilizado por actividad del proceso productivo de este Proyecto, en Figura 50 y Figura 51 se muestra la comparación y la desviación porcentual, respectivamente, de las horas programadas y las reales utilizadas. En estas figuras se observa que la desviación del tiempo en la entrega del Pre-Informe Final es debido a la desviación en el tiempo utilizado en la actividad de desarrollo de Inventario de Emisiones.

En Figura 51 se observa además una gran desviación porcentual en el tiempo de entrega del Informe Final, lo que no es de gran importancia ya que el tiempo programado era breve.

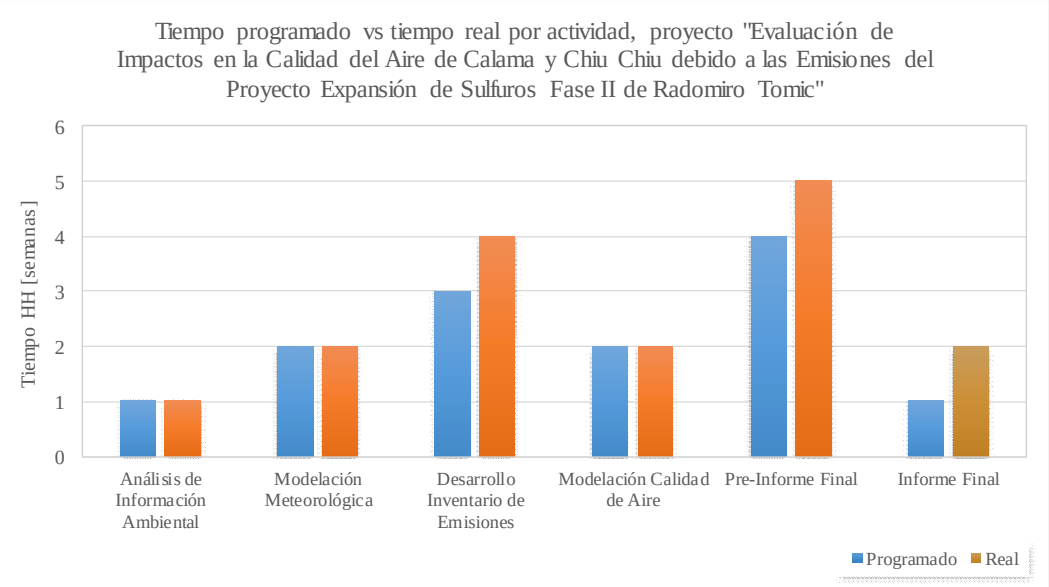


Figura 50: Comparación de los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto “Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros”.

Fuente: Elaboración propia.

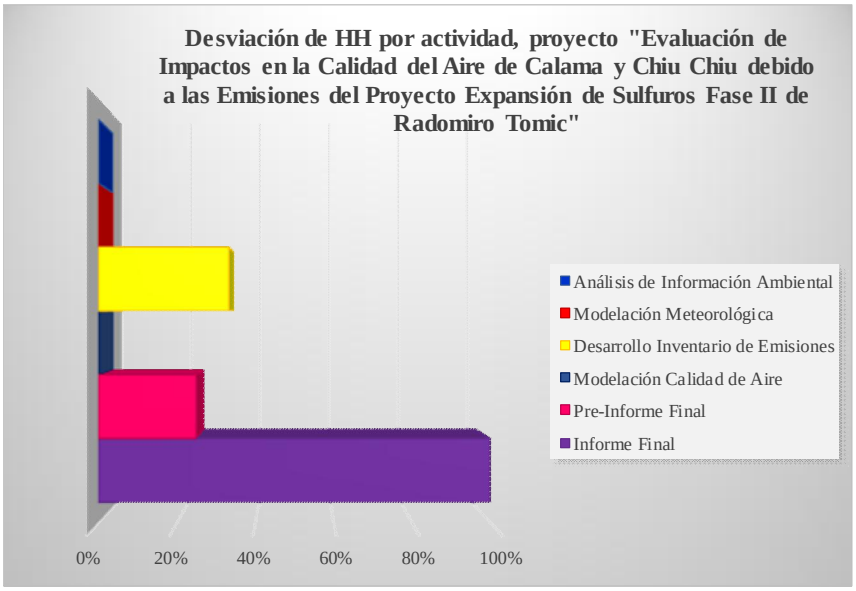


Figura 51: Desviación porcentual entre los tiempos programados y reales por cada actividad del proyecto “Modelación de Impactos en la Calidad del Aire de Calama, Chiu Chiu, Tocopilla y María Elena Debido a las Emisiones del Proyecto RT Sulfuros”.

Fuente: Elaboración propia.

Este proyecto fue exitoso para Enviromodeling, solo hubo una semana de atraso en la entrega del Informe Final presupuestado. La exigencia de un nuevo informe correspondió a requerimientos del mandante para mejorar el informe con respecto a cambios en el Proyecto.

Por otra parte, para el desarrollo del informe Final 2 se realizó una nueva cotización que incluía la actualización del servicio.

Este proyecto se aprobó en el SEIA después de la presentación de tres Adendas. Enviromodeling participó en las tres Adendas pero todos como parte de un nuevo servicio, ya que consideraban algunos cambios con respecto al Proyecto que se debían reflejar en el estudio de calidad de aire.

4.4.3. Análisis en Conjunto de los Proyectos Destacados

Según lo analizado las secciones anteriores, se puede observar que las mayores desviaciones de tiempo HH programadas versus reales son en los procesos de elaboración de Inventario de Emisiones y en las modelaciones de calidad de aire (CALPUFF y/o CAMx). Esto produce el retraso en la entrega del Pre-Informe Final.

La entrega del Informe Final también presenta desviaciones importantes de lo programado con respecto a lo real. Esto principalmente se debe a la demora por parte de la contraparte en entregar observaciones y/o comentarios al Pre- Informe Final.

4.5. Identificación Problema

Después del análisis macro y micro realizado en secciones anteriores se tuvo conversaciones con el director de Enviromodeling, quien es el jefe de proyectos que dirige los estudios realizados por la empresa, para detectar los problemas en los proyectos realizados.

4.5.1. Detección Problemática

Las principales problemáticas detectadas son las siguientes:

4.5.1.1 Comunicación

La comunicación con el cliente es importante para el buen desarrollo del servicio requerido. En este aspecto, esto se complejiza cuando el cliente final no contrata directamente el servicio que requiere para su proyecto y lo hace a través de otras empresas consultoras que subcontratan el estudio de calidad de aire. Esto porque la comunicación con el mandante del Proyecto no es directa y provoca retrasos en la entrega de información y de retroalimentación.

Los retrasos en la entrega de información por parte del mandante son los siguientes:

- Demora en la entrega de información meteorológica
- Demora en la entrega de información de calidad de aire
- Demora en la entrega de información sobre el proceso productivo del Proyecto o información sobre emisiones de contaminantes atmosféricos

Estos retrasos pueden producir retrasos en el proceso productivo, específicamente en las actividades de análisis de información ambiental y desarrollo de Inventario de Emisiones.

Los retrasos en la retroalimentación con el mandante son los siguientes:

- Demora en la entrega de información sobre cambios en el Proyecto a evaluar ambientalmente
- Demora en la entrega de observaciones, comentarios y/o correcciones por parte de la contraparte directa
- Demora en la entrega de observaciones, comentarios y/o correcciones por parte del mandante del Proyecto o cliente final

Estos retrasos también pueden producir retrasos en el proceso productivo. Es el caso del desarrollo de Inventario de Emisiones y preparación de Informes.

Por otra parte, internamente en la empresa, no existe ningún tipo de registro de lecciones aprendidas en la empresa, ni tampoco reuniones de cierre de proyecto.

4.5.1.2 Proceso Productivo

Las demoras en el proceso productivo de Enviromodeling se presentan principalmente en las siguientes actividades:

- Análisis de Información Ambiental: La información meteorológica y de calidad de aire defectuosa o incompleta provoca retrasos en su proceso y posterior análisis.

  El retraso del análisis de la información ambiental provoca además el retraso de otras etapas del proceso productivo, es decir, en el análisis de incertidumbre y la preparación de informes.

- Modelación Meteorológica: Los retrasos en la modelación meteorológica se debe principalmente a tres razones. La primera es debido a cortes de energía eléctrica, la segunda a fallas de los computadores en los que se realizan las corridas y la tercera es debido a paralelismo de corridas. Las dos primeras razones provocan el corte de las corridas del modelo meteorológico, por lo que éstas deben ser recorridas desde el comienzo del periodo perdido. En el caso del paralelismo, esto provoca que la cantidad de computadores disponibles para cada proyecto en curso sea menor y por lo tanto se necesite más tiempo para correr el periodo requerido por cada proyecto.

  El retraso en la modelación meteorológica genera retrasos en las actividades de análisis de incertidumbre y modelación de calidad de aire.

- Desarrollo de Inventario de Emisiones: Además de la entrega de información sobre el Proyecto por parte del mandante y los cambios en el Proyecto, lo que puede atrasar el desarrollo del Inventario de Emisiones es la demora en la entrega de resultados de parámetros físicos que se utilizan en los cálculos de emisiones (como el contenido de finos y humedad de caminos y material de excavación) por parte de laboratorios donde se mandan a realizar los análisis físicos.

  El retraso en esta actividad también causa demora en las actividades de modelación de calidad de aire y preparación de informes.

- Modelación de Calidad de Aire: Al igual que en el caso de la modelación meteorológica, las demoras en esta actividad pueden ser debido a cortes de energía eléctrica, fallas en los computadores y paralelismo de corridas.

4.5.1.3 Planificación

A través del desarrollo de esta memoria se observa que no se utiliza un registro de los recursos utilizados en el proceso productivo. No se utiliza ningún sistema de registro de horas usadas en cada actividad que pueda utilizarse para comparar con lo programado al momento de proponer el servicio al cliente. Por lo tanto, el proceso de cotización de los servicios se realiza considerando la experiencia del personal de la empresa y su director y no en base a información cuantitativa de servicios anteriores.

4.5.2. Desarrollo Entrevistas y Análisis de Resultados

Como Enviromodeling es una pequeña empresa conformada por 5 profesionales, se precedió a realizar una reunión con todo el personal para identificar las causas que pueden provocar los problemas identificados.

Las principales causas detectadas se presentan en Tabla 25.

Tabla 25: Identificación de causas probables de las problemáticas detectadas.

Problemática	Posibles Causas
Comunicación	Falta Reunión de inicio del equipo
	Falta Reunión de inicio con el cliente contratante
	Falta Reunión de inicio con el cliente final
	Falta Reunión de entrega de observaciones
	Falta Reunión de cierre del equipo
	Reuniones poco efectivas con el mandante
	Reuniones poco efectivas con el equipo
Planificación	Falta de sistema de registro de HH
	Falta control de horas
	Falta de programa de gestión de proyectos

Problemática		Posibles Causas
Proceso Productivo	General	Variabilidad en los alcances del proyecto
		Problemas de asignación de recursos
		Objetivos no definidos
		Disponibilidad de información
	Análisis Información Ambiental y Análisis de Incertidumbre	Demora en la entrega de información de calidad de aire
		Demora en la entrega de información meteorológica
		Información de calidad de aire defectuosa o incompleta
		Información meteorológica defectuosa o incompleta
	Inventario de Emisiones	Demora en la entrega de información sobre el proceso productivo del Proyecto o información sobre emisiones de contaminantes atmosféricos
		Demora en la entrega de información sobre cambios en el Proyecto a evaluar ambientalmente
		Demora en la entrega de resultados de parámetros físicos
	Modelación WRF	Cortes de energía
		Fallas en computadores
		Paralelismo de corridas
	Modelación CALPUFF	Demora en entrega de información sobre layout
		Cortes de energía
		Fallas en computadores
		Paralelismo de corridas
	Modelación CAMx	Cortes de energía
		Fallas en computadores
		Paralelismo de corridas
	Elaboración de Informes	Demora en la revisión por parte del jefe de proyecto
		Demora en la entrega de observaciones, comentarios y/o correcciones por parte de la contraparte directa
		Demora en la entrega de observaciones, comentarios y/o correcciones por parte del mandante del Proyecto o cliente final
		Cambios a formatos propios del cliente

Fuente: Elaboración Propia.

4.6. Identificación de Causas de la Problemática

Para identificar las principales causas de las problemáticas detectadas se envió una encuesta a cada uno de los profesionales de la empresa para que evaluaran las causas con un puntaje de 1 a 5, según su experiencia cuáles son las causas que más se han presentado.

La encuesta consta de 3 partes, una para cada problemática.

A cada profesional se le envió una encuesta de acuerdo a su experiencia con respecto a los procesos productivos de los que están a cargo. Las preguntas con respecto a comunicación y planificación se les enviaron a todos los profesionales, al igual que para el proceso productivo elaboración de informes. Las preguntas para cada profesional con respecto a los demás procesos productivos se indican en Tabla 26.

Tabla 26: Profesionales encargados de responder la encuesta por proceso productivo.

Profesional	Proceso Productivo
Luis V. Matamala	Como jefe de proyectos le corresponde contestar la encuesta sobre todos los procesos productivos
Francisco Matamala	Encargado de: − Modelación con WRF − Modelación con CAMx
Leyla Fuentes	Encargada de: − Análisis de Información Ambiental − Análisis de Incertidumbre
Nadia Ruminot	Encargada de: − Elaboración de Inventario de Emisiones − Modelación con CALPUFF

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de las encuestas se presentan para cada problemática en Figura 52 a Figura 54.

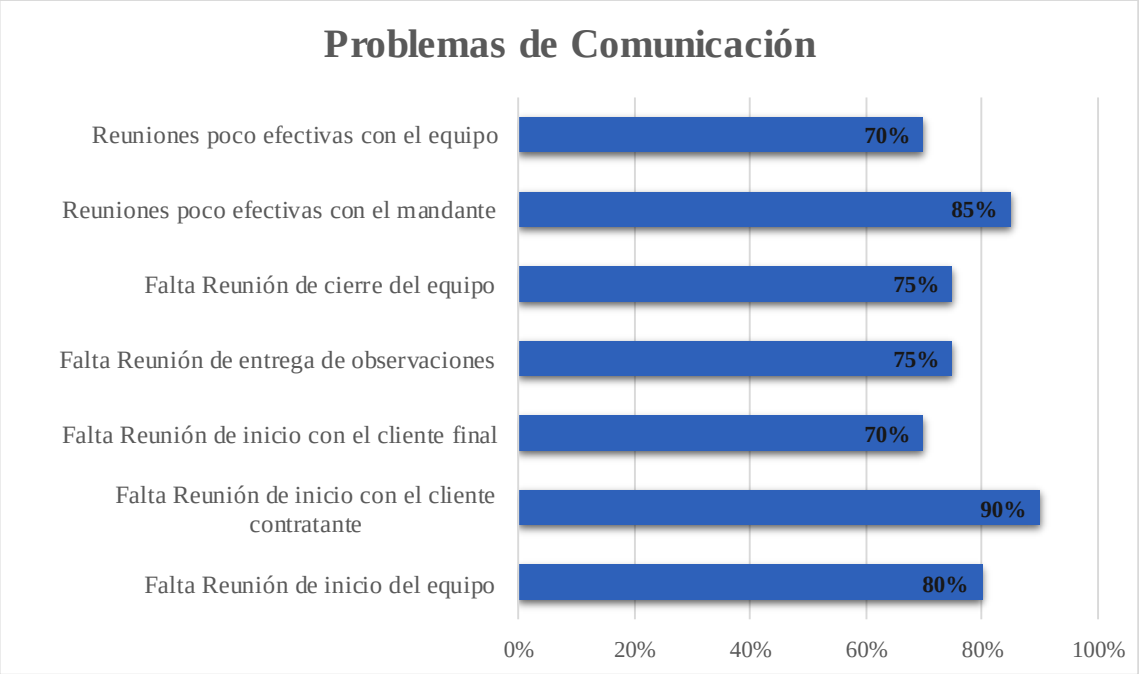


Figura 52: Respuestas a encuesta problemática Comunicación.

Fuente: Elaboración propia.

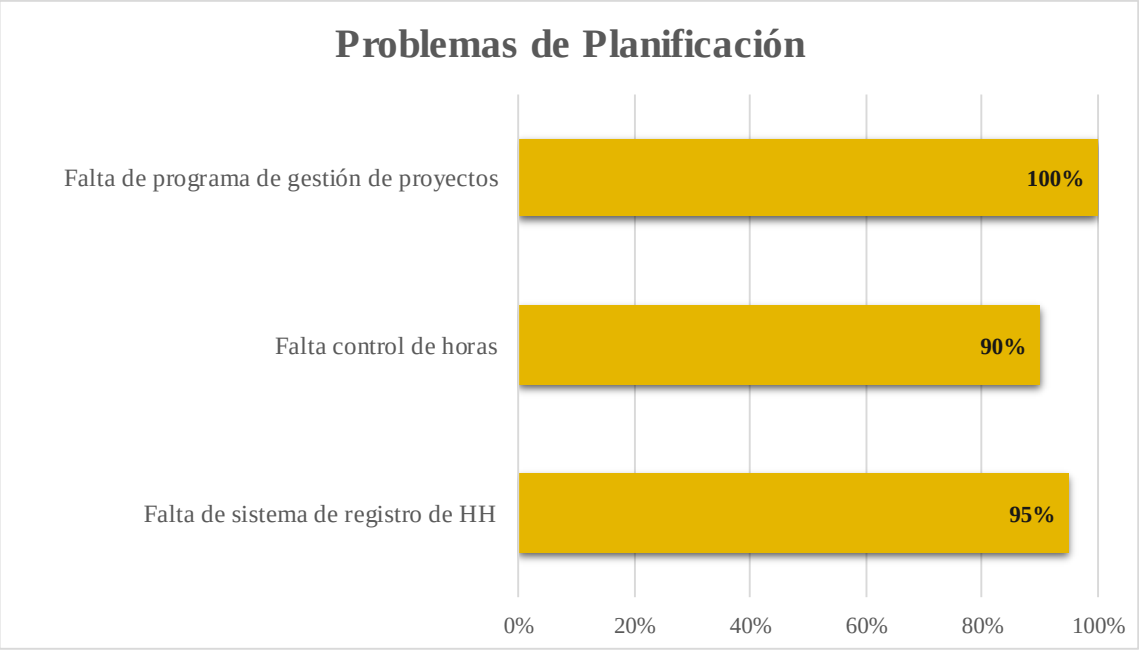


Figura 53: Respuestas a encuesta problemática Programación.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 54: Respuestas a encuesta problemática Proceso Productivo.
Fuente: Elaboración propia.

4.6.1. Diagrama Causa-Efecto

Como herramienta de análisis y conclusión, con los resultados obtenidos en la encuesta al personal de Enviromodeling se seleccionaron las principales causas responsables de las desviaciones de HH en los proyectos de estudios de calidad de aire (ECA) y se realizó el Diagrama Causa-Efecto. Este diagrama se presenta en Figura 55.

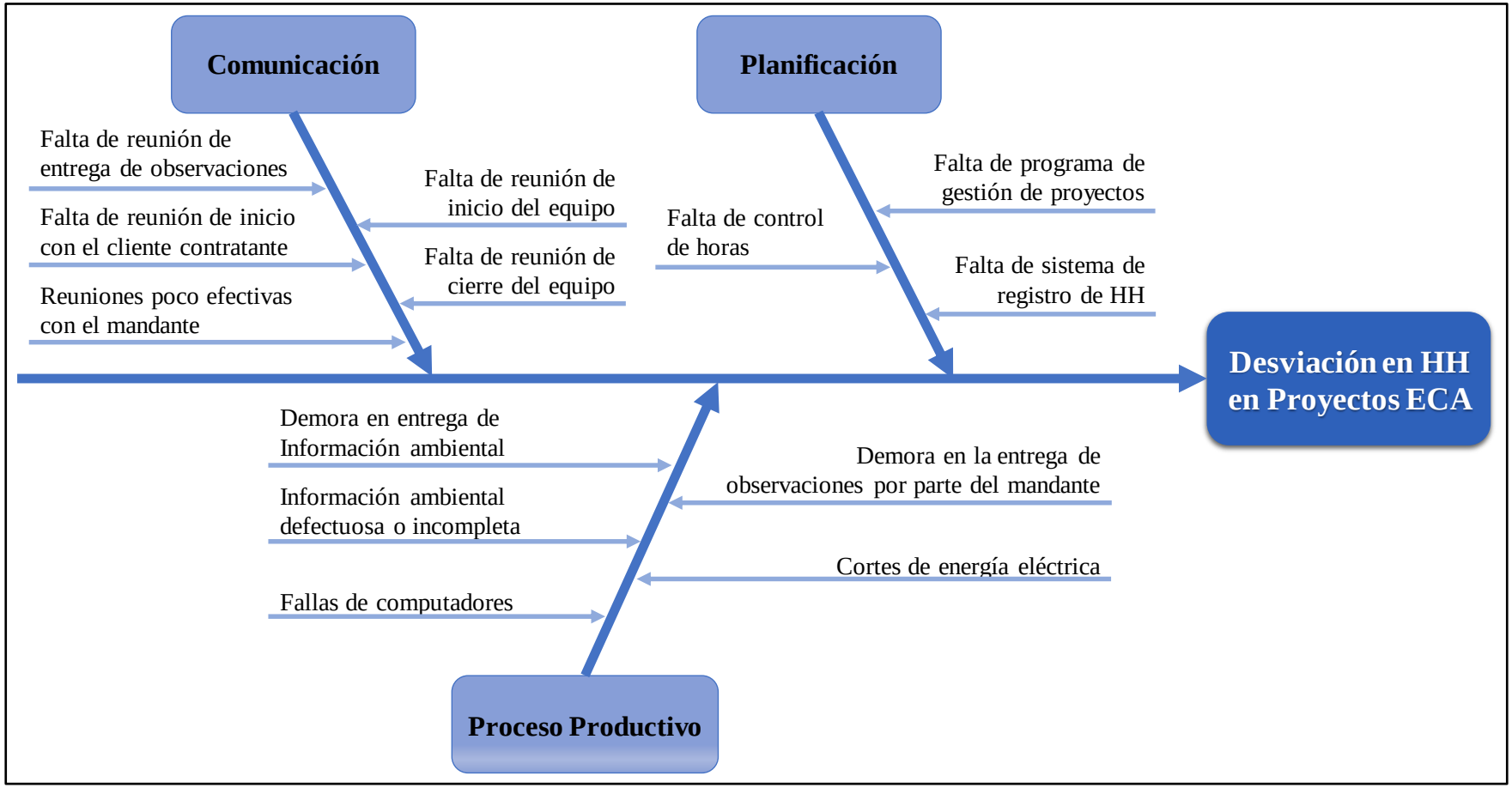


Figura 55: Diagrama Causa Efecto.

Fuente: Elaboración Propia.

4.6.2. Descripción Causas

A continuación se presenta la descripción de las causas identificadas:

- Reuniones poco efectivas con el cliente final: Como se mencionó anteriormente, hay servicios que son subcontratados. Las reuniones con el mandante o cliente final son más difíciles de agendar por lo que se deben aprovechar y organizar bien ya que es complicado volver tener reuniones más periódicas.

- Falta de reunión de entrega de observaciones: Es importante tener reuniones con la contraparte para revisar las observaciones y comentarios a los informes entregados, así no hay malinterpretaciones de lo que realmente quiere el cliente.

- Falta de reunión de cierre del equipo: Al término de cada proyecto no se realizan reuniones en el equipo para evaluar los problemas que se dieron en el proceso productivo ni para revisar lecciones aprendidas, lo que puede ayudar a no cometer los mismos errores en próximos proyectos.

- Falta de reunión de inicio con el cliente contratante: En la reunión de inicio es muy importante para establecer y exigir que la información necesaria sea entregada por la contraparte y que los plazos contemplen el tiempo que demora su entrega.

- Falta de reunión de inicio del equipo: Si bien el equipo tiene mucha experiencia y es especialista en su área, es importante realizar una reunión de inicio del equipo para poder coordinar las tareas y estar al tanto de los plazos del proyecto.

- Falta de programa de gestión de proyectos: No se utiliza algún programa de gestión de proyectos que organice las actividades del proyecto.

- Falta sistema de registro de HH: No existe un registro de HH utilizados por cada área del proceso. De esta forma es muy difícil de verificar que tan bien se va en el avance del proyecto con respecto a lo programado.

- Falta de control de horas: Al no existir un registro de HH es muy difícil tener un control de las horas utilizadas por el personal en cada tarea asignada.

- Demora en entrega de información ambiental: La información ambiental que se necesita de la contraparte es la meteorológica y de calidad de aire, al atrasarse la entrega de esta información provoca retrasos en los procesos de análisis de esta información y además del análisis de incertidumbre.

- Información ambiental defectuosa o incompleta: Esto ocurre cuando la información disponible tiene grandes periodos de tiempo sin datos, periodos de datos repetidos o datos fuera del rango normal. Dependiendo del nivel de defectos o incompletitud de la información meteorológica y de calidad de aire, el análisis de esta información puede atrasarse hasta por más del doble del tiempo normal e incluso a veces es necesario realizar un procesador especialmente para el tipo de datos.

- Cortes de energía eléctrica: Los cortes de energía se producen por problemas en el sistema de energía de la ciudad de Santiago, los cuales se producen debido a sistemas de mal tiempo o problemas en el sistema de interconexión central.

- Fallas en los computadores: Esto se puede producir debido a la antigüedad de éstos o cambios bruscos de energía eléctrica.

- Demora en la entrega de observaciones por parte del mandante o cliente final: Al no tener una comunicación directa con el mandante del proyecto se hace más complicada la retroalimentación del servicio, además al existir intermediario es más lenta también.

4.7. Conclusión Análisis

Con los resultados obtenidos a través de los análisis de los proyectos, las entrevistas a los profesionales de Enviromodeling y la encuesta respondida por estos, además de lo que se observa en el diagrama causa efecto obtenido, se concluye que los atrasos en los proyectos de estudios de calidad de aire de la empresa son debido a tres problemáticas principales: Comunicación, Planificación y Proceso Productivo.

Si bien la empresa Enviromodeling es especialista en su área y profesionalmente sus clientes tienen buena opinión con respecto a su trabajo, el que cumple con los objetivos esperados, a la hora de evaluar el cumplimiento de lo planificado se observan desviaciones de tiempo importantes que provocan una minimización de las utilidades.

Los problemas de comunicación provocan atrasos en la entrega de información vital para el proyecto y su avance. Este problema es a causa principalmente por la existencia de Reuniones poco efectivas con el cliente final, Falta de reunión de entrega de observaciones, Falta de reunión de cierre del equipo, Falta de reunión de inicio con el cliente contratante y Falta de reunión de inicio del equipo.

La programación de los proyectos es deficiente debido a: Falta de programa de gestión de proyectos, Falta sistema de registro de HH y Falta de control de horas.

Los problemas del proceso productivo del servicio entregado de estudios de calidad de aire tiene las siguientes causas principales: Demora en entrega de información ambiental, Información ambiental defectuosa o incompleta, Cortes de energía eléctrica, Fallas en los computadores y Demora en la entrega de observaciones por parte del mandante o cliente final.

CAPÍTULO V
PROPUESTA DE MEJORAS

5.1. Introducción

Para definir una propuesta de mejoras en la gestión de proyectos de la unidad de elaboración de estudios de calidad de aire de la consultora ambiental Enviromodeling Ltda., es necesario considerar el análisis realizado en el Capítulo anterior, en el cual se llegó a que las principales causas responsables de los problemas detectados son los que se presentan en Tabla 27.

Tabla 27: Principales causas responsables de las desviaciones de HH en los proyectos de estudios de calidad de aire.

Problemática	Causas problemáticas
Comunicación	Reuniones poco efectivas con el cliente final
	Falta de reunión de entrega de observaciones
	Falta de reunión de cierre del equipo
	Falta de reunión de inicio con el cliente contratante
	Falta de reunión de inicio del equipo
Planificación	Falta de programa de gestión de proyectos
	Falta sistema de registro de HH
	Falta de control de horas
Proceso Productivo	Demora en entrega de información ambiental
	Información ambiental defectuosa o incompleta
	Cortes de energía eléctrica

Problemática	Causas problemáticas
	Fallas en los computadores
	Demora en la entrega de observaciones por parte del mandante o cliente final

Fuente: Elaboración Propia.

La metodología a seguir será realizar una propuesta de mejora para cada una de las causas identificadas en el diagrama de Ishikawa y presentadas anteriormente en Tabla 27.

A continuación se presentan las propuestas de mejoras.

5.2. Descripción de la Propuesta de Mejoras

En Tabla 28 se presentan las propuestas de mejoras para la gestión de proyectos del área de estudios de calidad de aire de la empresa Enviromodeling. En esta tabla además de presenta una columna con el tipo de responsabilidad. Es decir, hay mejoras que solo dependen de Enviromodeling por lo que se pueden eliminar las causas y hay otras que son de responsabilidad compartida con el cliente por lo que se pueden mitigar. La responsabilidad compartida radica en que son propuestas en donde el cliente tiene participación.

Tabla 28: Propuestas de mejoras para los proyectos de estudios de calidad de aire.

Causas problemáticas	Propuesta	Responsabilidad
Reuniones poco efectivas con el cliente final	Registro y entrega de minutas de reunión	Enviromodeling
Falta de reunión de entrega de observaciones	Establecer reunión de entrega de observaciones	Compartida
Falta de reunión de cierre del equipo	Establecer reunión de cierre de equipo	Enviromodeling
Falta de reunión de inicio con el cliente contratante	Establecer reunión de inicio con cliente contratante	Compartida

Causas problemáticas	Propuesta	Responsabilidad
Falta de reunión de inicio del equipo	Establecer reunión de inicio de equipo	Enviromodeling
Falta de programa de gestión de proyectos	Software especializado en planificación	Enviromodeling
Falta sistema de registro de HH	Sistema de registro de HH	Enviromodeling
Falta de control de horas	Sistema de registro de HH	Enviromodeling
Demora en entrega de información ambiental	Establecimiento plazos en reunión de inicio	Compartida
Información ambiental defectuosa o incompleta	Establecimiento plazos en reunión de inicio	Compartida
Cortes de energía eléctrica	Generador eléctrico	Enviromodeling
Fallas en los computadores	Servidores virtuales externos	Enviromodeling
Demora en la entrega de observaciones por parte del mandante o cliente final	Establecer reunión de entrega de observaciones	Compartida

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en Tabla 28 hay propuestas específicas que son muy semejantes o iguales para varias de ellas, por lo que se agruparon para realizar una propuesta general que abarque varias causas a eliminar o mitigar. En Tabla 29 se presenta la agrupación de las propuestas generales.

Tabla 29: Propuestas específicas y generales de mejoras para los proyectos de estudios de calidad de aire.

Causas problemáticas	Propuestas Específicas	Propuestas Generales
Reuniones poco efectivas con el cliente final	Registro y entrega de minutas de reunión	Implementación y organización de reuniones con clientes
Falta de reunión de entrega de observaciones	Establecer reunión de entrega de observaciones	

Causas problemáticas	Propuestas Específicas	Propuestas Generales
Demora en la entrega de observaciones por parte del mandante o cliente final	Establecer reunión de entrega de observaciones	
Falta de reunión de inicio con el cliente contratante	Establecer reunión de inicio con cliente contratante	
Demora en entrega de información ambiental	Establecimiento plazos en reunión de inicio	
Información ambiental defectuosa o incompleta	Establecimiento plazos en reunión de inicio	
Falta de reunión de cierre del equipo	Establecer reunión de cierre de equipo	Implementación y organización de reuniones de equipo
Falta de reunión de inicio del equipo	Establecer reunión de inicio de equipo	
Falta de programa de gestión de proyectos	Software especializado en planificación	Software especializado
Falta sistema de registro de HH	Sistema de registro de HH	
Falta de control de horas	Sistema de registro de HH	
Cortes de energía eléctrica	Generador eléctrico	Adquisición generador eléctrico
Fallas en los computadores	Servidores virtuales externos	Contratación servidores virtuales

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, en Figura 56 se presentan las propuestas que eliminan o mitigan las causas identificadas.

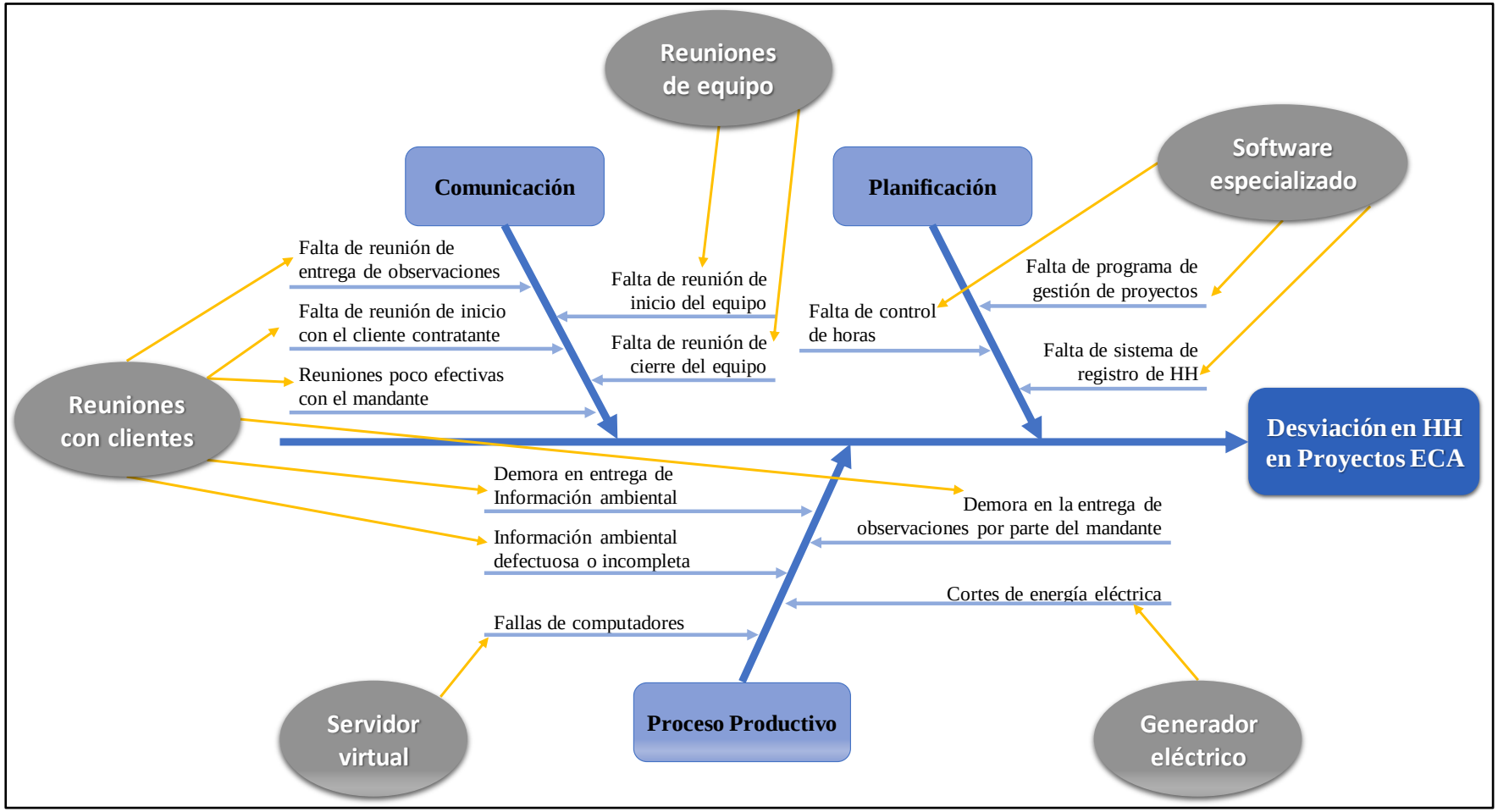


Figura 56: Intervención de Causas mitigadas o eliminadas.

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación se presentan detalladamente cada una de las propuestas.

5.2.1. Propuesta de Implementación y Organización de Reuniones con Clientes

Esta propuesta busca implementar las siguientes reuniones obligatorias con los clientes:

- Reunión de inicio
- Reunión de entrega de observaciones

Para poder eliminar o mitigar algunas de las causas identificadas, estas reuniones deben realizarse con el cliente contratante y el cliente final, según sea el caso de proyectos subcontratados, de esta manera se busca lograr un alineamiento de todos los actores involucrados en el proyecto.

Además, para cada una de estas reuniones se deberá llevar registro de éstas y entregar minutas de cada reunión.

Las causas que eliminan o mitigan específicamente cada una de estas reuniones se presentan en Figura 57 y Figura 58.

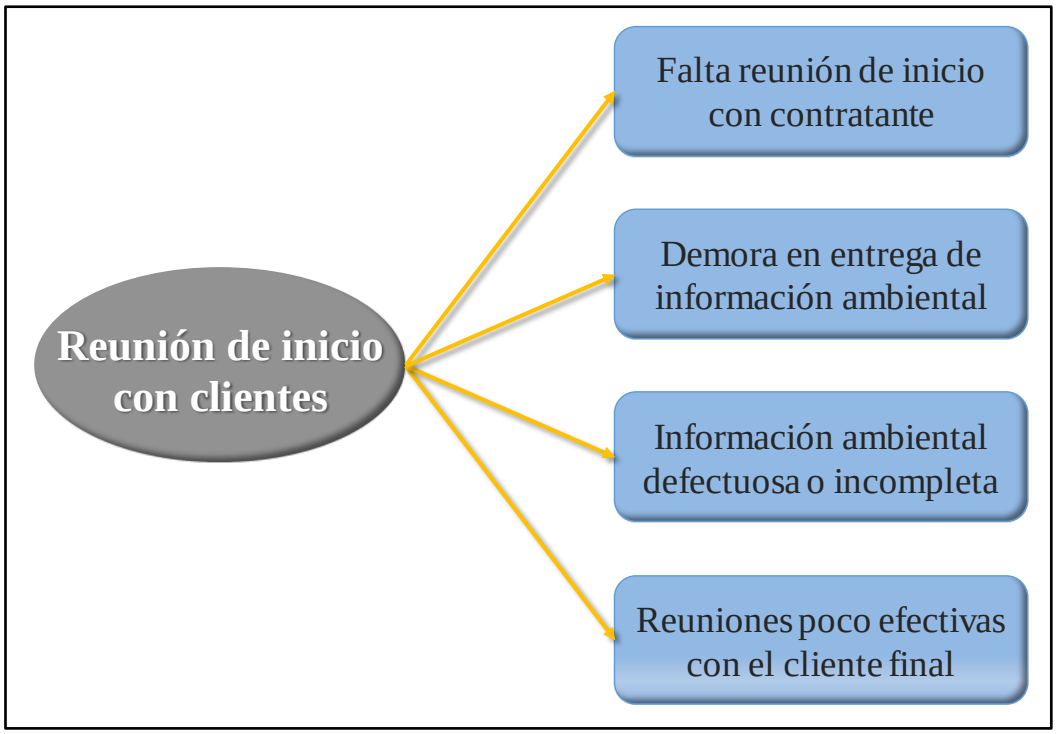


Figura 57: Causas que se eliminan o mitigan con la implementación de reuniones de inicio con clientes.

Fuente: Elaboración propia.

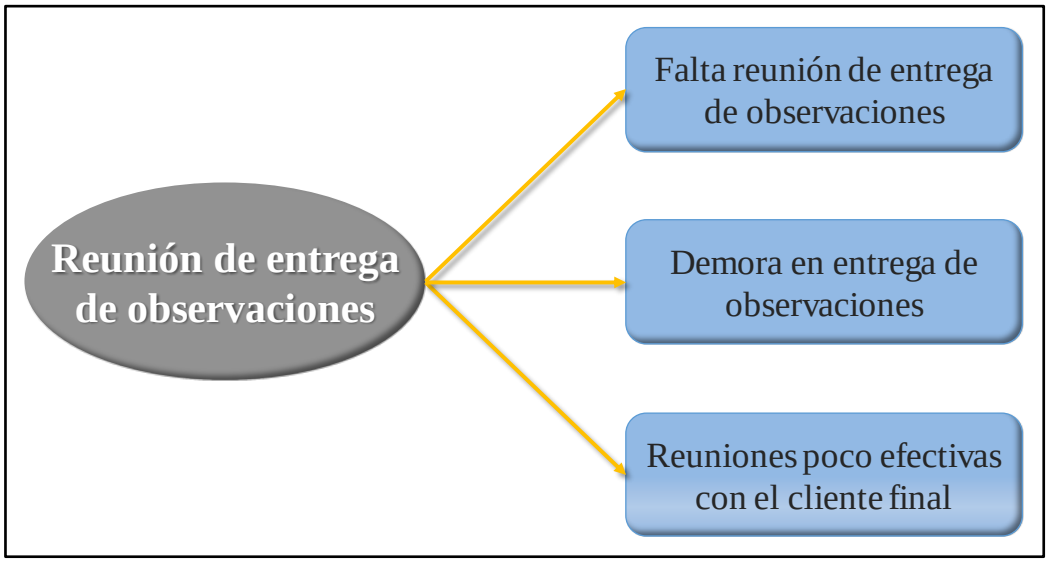


Figura 58: Causas que se eliminan o mitigan con la implementación de reuniones de entrega de observaciones.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.1 Descripción Detallada de la Propuesta

Esta propuesta tiene como objetivo implementar las reuniones de inicio y de entrega de observaciones al Pre-Informe Final obligatorias para todos los proyectos. En cada una de estas reuniones deberían ser parte al menos los siguientes participantes:

- Dos profesionales de Enviromodeling: El jefe de proyecto y un ingeniero de proyectos de apoyo.
- Cliente contratante: Jefe de proyecto o contraparte técnica.
- Cliente mandante: en el caso de que el proyecto sea subcontratado y el mandante no sea el mismo que el contratante, debería participar un profesional que represente a la contraparte técnica del proyecto, idealmente el jefe de proyecto.

Estas reuniones se deberían realizar en oficinas del cliente contratante, excepto en el caso de que el cliente mandante estime mejor que sea en sus dependencias.

Las minutas de las reuniones deben ser enviadas posteriormente a todas las partes interesadas, incluyendo los jefes de proyectos si no pudieron asistir, lo más pronto posible, idealmente al día siguiente.

Los contenidos y minuta de cada reunión se presentan a continuación:

- **Reunión de inicio:**

  La reunión de inicio debe tener una pauta predeterminada que permita seguir un orden y tomar compromisos que permitan definir principalmente los siguientes aspectos:

  - Compromiso de la empresa mandante de entregar la información ambiental en un tiempo prudente y tomar como inicio del proyecto la entrega de esta información.

- También está la opción de ponerse de acuerdo en tomar esa información, si está disponible, del Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA) del Ministerio del Medio Ambiente, disponible en la página web http://sinca.mma.gob.cl/.
- Compromiso de la empresa mandante a la entrega de otra información relevante del proyecto, tal como: descripción, cronograma y layout del proyecto.
- Fecha, requerimientos y autorizaciones para visitas a terreno de ser necesarias.
- Presentar la necesidad de tener una reunión de entrega de observaciones al Pre-Informe Final del proyecto.

En resumen, el contenido de las reuniones de inicio que se reflejarán en la minuta de éstas tendrá los siguientes ítems:

- Nombre del proyecto
- Fecha, hora y duración
- Objetivos
- Participantes
- Si se usará la información de SINCA y si no la fecha de entrega de ésta.
- Fecha de entrega de descripción, cronograma y layout de proyecto.
- Visita a terreno
- Otros compromisos
- Observaciones

En Figura 59 se presenta un ejemplo de tipo de minuta para la reunión de inicio.

Reunión de Inicio			
Proyecto:		Fecha:	
		Hora:	
		Duración:	
Objetivos:			

Participantes:		
Profesional	Empresa	Correo electrónico

Meteorología de SINCA	SI	NO		Calidad de Aire de SINCA	SI	NO	
		Fecha de entrega:				Fecha de entrega:	

Fecha entrega descripción del proyecto:		Fecha entrega cronograma del proyecto:		Fecha entrega layout:	

Visita a terreno		
Fecha	Requerimientos	Detalles autorización

Otros Compromisos	
Detalle	Responsable

Observaciones

Figura 59: Minuta de reunión de inicio.

Fuente: Elaboración propia.

- **Reunión de entrega de observaciones**

  Esta reunión es muy importante para poder dar cierre satisfactorio al proyecto y se relaciona con la reunión de inicio, ya que se debe discutir su importancia en ella.

  El objetivo de esta reunión es que el cliente presente sus observaciones y se discuta la forma en que se responderá a éstas. Algunas de estas son dudas que pueden ser respondidas en la reunión y hay otras que se incorporan al Informe Final.

  El contenido de las reuniones de entrega de observaciones que se reflejarán en la minuta de éstas tendrá los siguientes ítems:

  - Nombre del proyecto
  - Fecha, hora y duración
  - Participantes
  - Observaciones al Pre-Informe Final.

  En Figura 60 se presenta un ejemplo de tipo de minuta para la reunión de entrega de observaciones.

Reunión de Entrega de Observaciones			
Proyecto:		Fecha:	
		Hora:	
		Duración:	

Participantes:		
Profesional	Empresa	Correo electrónico

Observaciones al Pre-Informe Final		
Detalle	Entregada por	Forma de resolver

Figura 60: Minuta de reunión de entrega de observaciones al Pre-Informe Final del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.2 Costo de Implementación de la Propuesta

Esta propuesta consiste en reuniones en que participarán por lo menos dos profesionales de Enviromodeling, el jefe del proyecto y un ingeniero de proyectos. Además, según la experiencia en reuniones con clientes, éstas duran entre dos a cinco horas como máximo. Tomando en cuenta estas dos consideraciones se obtuvo un costo promedio para ambas reuniones, el que se presenta en Tabla 30.

Tabla 30: Costos asociados a las reuniones con clientes.

Profesional	HH	UF/HH	Costo (UF)
Jefe de Proyectos	0,6	3,5	2,1
Ingeniero de Proyectos	0,4	3,5	1,4
		Total:	**3,5**

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en Tabla 30, el costo promedio por reunión es de 3,5 UF. Este costo es casi despreciable en comparación al costo total de un proyecto, ya que como máximo alcanza a un 2% cada una.

5.2.1.3 Resultados Esperados de la Propuesta

Al implementar esta propuesta de mejora se obtendrían los siguientes resultados:

- Mejor comunicación con los clientes.
- Menor demora en el proceso productivo, comprometiendo los tiempos de entrega de información relevante para el proyecto.

5.2.1.4 Feedback e Implementación de la Propuesta

La gerencia está de acuerdo con la implementación de estas dos reuniones y sus minutas. Las reuniones de inicio se han realizado para algunos proyectos, pero no han sido obligatorias para todos los proyectos ni se han realizado las minutas correspondientes. Por lo tanto, se conoce la utilidad de estas reuniones.

Por otra parte, se está consciente de la necesidad de establecer plazos bien definidos a la entrega de observaciones al Pre-Informe Final para poder cerrar el proyecto, ya que la demora en la entrega de éstas también provoca un atraso en la facturación y posterior pago del servicio. Se espera que con fijar esta reunión se compromete al cliente a entregar las observaciones en un plazo prudente.

Se acepta comenzar a ejecutar esta propuesta de mejora inmediatamente desde el siguiente proyecto a realizar y las reuniones serán informadas en las propuestas técnicas.

5.2.2. Propuesta de Implementación y Organización de Reuniones del Equipo

Esta propuesta busca resolver las causas de falta de reuniones de inicio y de cierre del equipo para mejorar los problemas de comunicación, implementando estas reuniones obligatorias:

- Reunión de inicio
- Reunión de cierre

Para ser efectivas, en estas reuniones deben participar todos los profesionales técnicos de Enviromodeling, ya que son los encargados de realizar cada parte del proyecto.

5.2.2.1 Descripción Detallada de la Propuesta

Esta propuesta tiene como objetivo implementar las reuniones de inicio y de cierre del equipo de Enviromodeling obligatorias para todos los proyectos. Los detalles de cada reunión se presentan a continuación:

- **Reunión de inicio:**

  Estas reuniones deber ser dirigidas por el jefe de proyecto o Director de Enviromodeling para informar los detalles del proyecto. Se deben realizar después de la reunión de inicio con el cliente para entregar la información de las minutas realizadas y los plazos de cada tarea.

- **Reunión de cierre**

  El objetivo de esta reunión es comentar la realización del proyecto, sus problemas y soluciones.

  Estas reuniones también deben ser dirigidas por el Director de Enviromodeling y consideran la creación de un registro de lecciones aprendidas, lo que permitirá determinar los problemas detectados y sus soluciones implementadas, de esta forma que queden registrados para mejorar en los proyectos futuros.

  Independientemente de los resultados del proyecto, se busca no solo registrar lo negativo, sino que también lo positivo del proceso.

  De esta manera, se busca asegurar la experiencia obtenida en el proyecto.

5.2.2.2 Costo de Implementación de la Propuesta

Esta propuesta consiste en reuniones en que participarán todos los profesionales técnicos de Enviromodeling. Además, según la experiencia en reuniones de equipo, éstas duran entre dos a tres horas. Tomando en cuenta estas dos consideraciones se obtuvo un costo promedio para ambas reuniones, el que se presenta en Tabla 31.

Tabla 31: Costos asociados a las reuniones del equipo.

Profesional	HH	UF/HH	Costo (UF)
Jefe de Proyectos	0,6	2,5	1,5
Encargado de modelación meteorológica e informática	0,4	2,5	1
Encargado de desarrollo de inventario de emisiones y modelación de calidad de aire	0,4	2,5	1
Encargado de análisis de información ambiental	0,3	2,5	0,75
		Total:	**4,25**

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en Tabla 31, el costo promedio por reunión es de 4,25 UF. Este costo es casi despreciable en comparación al costo total de un proyecto, ya que como máximo alcanza a un 3% cada una. Sin embargo, la reunión de cierre tiene un costo extra de mantener y actualizar el registro de lecciones aprendidas.

5.2.2.3 Resultados Esperados de la Propuesta

Al implementar esta propuesta de mejora se obtendrían los siguientes resultados:

- Mejor comunicación del equipo.

- Compartir las experiencias de todo el equipo en el proyecto.
- Aplicar los conocimientos adquiridos en proyectos futuros.
- Implementación de un registro de lecciones aprendidas que pueda ser usado por cualquier profesional de la empresa y futuras contrataciones.

5.2.2.4 Feedback e Implementación de la Propuesta

Las reuniones de inicio del equipo se han realizado para algunos proyectos, pero no han sido obligatorias para todos los proyectos ni para todos los profesionales técnicos de la empresa. En cambio, las reuniones de cierre no son una costumbre de la empresa.

La gerencia está totalmente de acuerdo con la implementación obligatoria de estas dos reuniones y acepta esta propuesta de mejora para empezar a ejecutarla en el próximo proyecto a realizar.

5.2.3. Propuesta de Software Especializado en Planificación

En Enviromodeling no se utiliza algún programa de gestión de proyectos que sirva a organizar las actividades de cada proyecto de estudios de calidad de aire.

En esta propuesta se recomienda el uso de algún software especializado en planificación de proyectos.

Las causas que eliminan o mitigan específicamente esta propuesta se presentan en Figura 61.

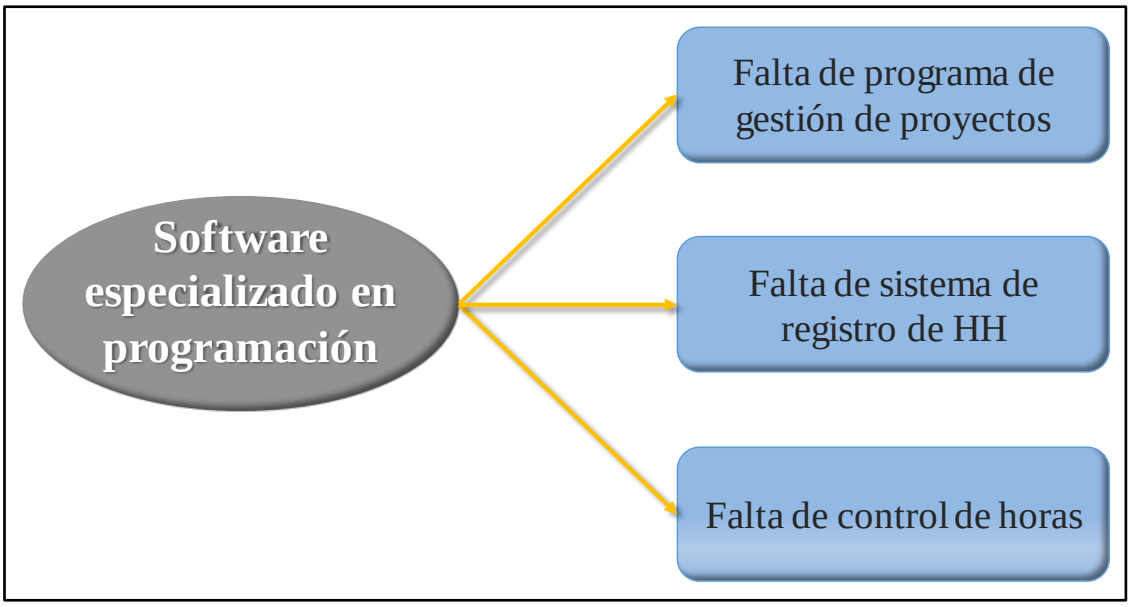


Figura 61: Causas que se eliminan o mitigan con la implementación de un software especializado en programación de proyectos.
Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.1 Descripción Detallada de la Propuesta

La propuesta consiste en implementar el software de programación de proyectos Microsoft Project. Se recomienda usar la solución basada en la nube *Project Online Professional*. Este planifica proyectos, realiza el seguimiento del estado y colabora con otros usuarios fácilmente desde prácticamente cualquier lugar. Project Online Professional mantiene los proyectos, recursos y equipos organizados y al día.

Las principales características de esta aplicación son las siguientes[86]:

- Administración de proyectos en la nube con un cliente para equipos de escritorio y un explorador web.

[86] MICROSOFT (s.f.). *Project, soluciones basadas en la nube*, obtenido de: https://products.office.com/es-cl/project/compare-microsoft-project-management-software?tab=tabs-1.

- Aplicación Project actualizada de instalación completa en hasta 5 computadores.
- Actualización de tareas: Los miembros del equipo pueden actualizar tareas desde cualquier dispositivo.
- Envío de partes de horas: Registra el tiempo invertido en proyectos y en otras tareas para nóminas, facturación y otros fines empresariales.
- Colaboración: Los miembros del equipo pueden compartir documentos y usar Skype for Business para comunicarse en un proyecto.
- Sincronización de tareas de SharePoint: Sincroniza tus proyectos con listas de tareas de SharePoint.
- Programación y planeación de proyectos: Incluye herramientas conocidas de programación, como gráficos de Gantt y plantillas personalizables integradas, para ayudarte a empezar.
- Informes e inteligencia empresarial: Realiza un seguimiento y supervisa todo el estado de los proyectos, desde los gráficos de evolución hasta las operaciones financieras.
- Publica proyectos en la nube: Guarda tus proyectos en la nube para obtener acceso fácilmente desde varios dispositivos y colaborar perfectamente con tu grupo de trabajo.
- Administración de recursos de proyectos: Asigna recursos a tareas de proyecto y usa Negociaciones de recursos para pedir y bloquear recursos

Se recomienda el uso de este software por parte del jefe de proyecto, que le permita llevar el control de horas del proyecto.

Para el resto de los profesionales de la empresa se recomienda el uso de Project Online Essentials, el que ofrece las funciones necesarias para que los miembros del equipo administren tareas, envíen partes de horas y colaboren con compañeros. Project Online

Essentials es un complemento de miembro del equipo para clientes que tienen Project Online Professional o Project Online Premium y sus características son las siguientes[87]:

- Administración de tiempos y tareas: Administra fácilmente todas tus obligaciones de tiempo y tareas (escribe horas, agrega tareas pendientes y asigna tareas a otros miembros del equipo), todo en un formulario intuitivo.
- Mitigación de problemas y riesgos: Agrega problemas y riesgos fácilmente a tareas de proyecto específicas para identificarlos y abordarlos rápidamente.
- Colaboración intuitiva: Los miembros del equipo pueden almacenar documentos del proyecto en un sitio central, ver las actualizaciones del proyecto, etc. para que todos puedan estar informados.
- Acceso prácticamente desde cualquier lugar: Usa tu navegador favorito (Internet Explorer, Firefox, Safari, Chrome, etc.) para obtener acceso a Project Online Essentials en tu PC, tableta o teléfono.
- Solución rentable: Junto con Project Online Premium o Project Server, Project Online Essentials te proporciona solo la cantidad adecuada de herramientas para trabajar a un precio asequible.

5.2.3.2 Costo de Implementación de la Propuesta

El costo de la aplicación Project Online Professional es de 30 dólares por usuario al mes y la de Project Online Essentials es de 7 dólares por usuario al mes. En total, considerando tres profesionales el costo llegaría a 51 dólares mensuales.

[87] MICROSOFT (s.f.). *PROJECT ONLINE ESSENTIALS*, obtenido de: https://products.office.com/es-cl/project/project-online-essentials.

5.2.3.3 Resultados Esperados de la Propuesta

Al implementar esta propuesta de mejora se obtendrían los siguientes resultados:

- Mejora en el proceso productivo al llevar el registro de las horas utilizadas por actividades de proyectos y poder controlarlas.
- Comparar el tiempo real utilizado en un proyecto con el programado, de tal forma de ocupar la experiencia en futuras propuestas técnicas-económicas.

5.2.3.4 Feedback e Implementación de la Propuesta

La empresa está de acuerdo con esta propuesta. Sin embargo, se espera que sea a mediano plazo. Es por esto que se propone implementar en primer lugar la prueba de un mes gratis.

En el equipo de Enviromodeling hay solo un profesional que ha usado anteriormente el software Project, por lo que se llegó a un acuerdo de que éste actualice sus conocimientos en el programa y practique una hora diaria por una semana. Este profesional debe hacer un taller de tres a cuatro horas para los demás profesionales técnicos del equipo. Luego de esto, los profesionales tendrán un par de semanas para entrenar.

Después de este entrenamiento, se evaluará implementar el software en el próximo proyecto a realizar.

Además, una vez conocido y usado por un tiempo el programa y sus aplicaciones se analizará si se puede realizar una aplicación propia que se ajuste bien a la programación de los proyectos de Enviromodeling y los costos de realizarlo.

5.2.4. Propuesta de Adquisición de un Generador Eléctrico

Esta propuesta recomienda implementar un generador eléctrico que sirva de apoyo en el caso de cortes de energías planificados o de improviso, para que de esta forma se elimine esta causa que influye en el proceso productivo de la elaboración de estudios de calidad de aire.

5.2.4.1 Descripción Detallada de la Propuesta

Los computadores usados para corridas de los modelos de calidad de aire de los proyectos tienen implementados distintos tipos de UPS que regulan los cambios de voltajes que podrían ocurrir. Sin embargo, estos aparatos tienen entre 10 a 20 minutos, por lo que sirven para poder guardar lo realizado y apagar el computador correctamente. Pero esto no es suficiente para las corridas de modelos que pueden durar ente horas hasta semanas de corrido. Por lo tanto, es necesario tener un sistema que pueda entregar energía eléctrica por un largo tiempo.

Se sugiere adquirir un generador eléctrico que permita entregar energía eléctrica a la oficina de Enviromodeling.

Después de investigar sobre distintas alternativas, se propone comprar el generador eléctrico marca Power Pro modelo DG2500. Se elige este modelo principalmente porque es a gas y por lo tanto tiene baja emisión de contaminantes.

El Generador Eléctrico a Gas Power Pro DG2500 para tiene una vida útil promedio un 25% mayor que la de un dispositivo a gasolina de similares características. Usando un balón

de gas de 15 kilos permite una autonomía de 18 horas. Usando un balón de 45 kilos da una autonomía de 54 horas[88].

En Tabla 32 se presenta la ficha técnica del generador.

Tabla 32: Ficha técnica del generador eléctrico a gas Power Pro DG 2500.

Atributo	Detalle
Marca	Power Pro
Modelo	DG2500
Alto	46 cm
Ancho	52 cm
Largo	60 cm
Garantía	1 año
Color	Verde
Procedencia	China
Alimentación	Gas natural
Regulador automático de voltaje	Sí
Regulador de voltaje	Sí
Voltaje	230 V
Potencia	2,5 kW
Indicador de batería	No
Motor	Monofásico
Nivel de ruido	72 dB
Partida	Eléctrica y manual
Ruedas	No
Cantidad de salidas	2
Combustible	Gas
Capacidad estanque	25 l
Autonomía	18 hrs

[88] SODIMAC (s.f.). *Generador 2.5 KVA Gas DG2500 Power Pro*, obtenido de http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/2514648/Generador-2.5-KVA-Gas-DG2500/2514648.

Atributo	Detalle
Peso	50 kg
Uso	Profesional
Características	Regulador automático de voltaje que entrega energía más constante y protege los artículos eléctricos de las fluctuaciones de voltaje

Fuente: SODIMAC.

5.2.4.2 Costo de Implementación de la Propuesta

El Generador Eléctrico a Gas Power Pro DG2500 tiene un costo de referencia de $403.990 (IVA incluido).

5.2.4.3 Resultados Esperados de la Propuesta

Al implementar esta propuesta de mejora se obtendrían los siguientes resultados:

- Mantener la continuidad operacional del proceso productivo de la elaboración de estudios de calidad de aire.

5.2.4.4 Feedback e Implementación de la Propuesta

La gerencia informa que dentro de unos meses habrá un cambio de lugar de trabajo de la empresa a un edificio de oficinas, y según se averiguó este edificio cuenta con su propio sistema de respaldo para toda la construcción. Esto solucionará la causa de cortes de energía por lo que no será necesario implementar esta propuesta.

5.2.5. Propuesta de Servidores Virtuales Externos

En el caso de fallas en los computadores, se espera tener una alternativa para continuar con las corridas de los modelos y no atrasar los proyectos en curso.

Esta propuesta recomienda el uso de servidores a distancia o virtuales.

5.2.5.1 Descripción Detallada de la Propuesta

En el mercado, una empresa tiene dos opciones de servidores: los físicos y los virtuales. Los primeros, son los que se dedican exclusivamente a la operación de la empresa, que tienen unas capacidades técnicas específicas limitadas, y que por estar ubicados dentro de las compañías, requieren de instalación y mantenimiento. Los segundos, que cumplen con el mismo papel que los físicos, no requieren, por ejemplo, de condiciones especiales de energía y refrigeración, puesto que están alojados en la Nube.

Por esta razón, los servidores virtuales se convierten en una opción ideal para las pequeñas y medianas empresas que necesitan herramientas tecnológicas a la medida y a las que se pueda acceder de manera remota.

Al estar en la Nube, los servidores virtuales posibilitan a las pymes la capacidad de gestionar sus recursos en línea, facilitar el acceso y desempeño que se requiere sin tener que invertir en infraestructura física, además de ser flexibles y escalables, para dar respuesta a los picos de demanda de cómputo de la empresa[89].

[89] ENTER (s.f.). *¿Qué son servidores virtuales y qué ventajas ofrecen a tu empresa?*. Obtenido de: http://www.enter.co/especiales/claro-negocios/que-son-servidores-virtuales-y-que-ventajas-ofrecen-a-tu-empresa/.

Según el encargado de informática de Enviromodeling, el sistema de servidores virtuales más conveniente para la empresa debido a la utilidad que se necesita en casos de corridas de los modelos WRF y CAMx, que son los que más necesitan capacidad computacional, es el servicio entregado por Amazon: Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2).

Amazon EC2 es un servicio web que proporciona capacidad de cómputo con tamaño modificable en la nube. Se ha diseñado para facilitar a los desarrolladores recursos informáticos escalables basados en web.

Amazon EC2 activa la "informática" en la nube. La sencilla interfaz de servicios web de Amazon EC2 permite obtener y configurar la capacidad con una fricción mínima. Proporciona un control completo sobre los recursos informáticos y puede ejecutarse en el entorno informático acreditado de Amazon. Amazon EC2 reduce el tiempo necesario para obtener y arrancar nuevas instancias de servidor en cuestión de minutos, lo que permite escalar rápidamente la capacidad, ya sea aumentándola o reduciéndola, según cambien sus necesidades. Amazon EC2 cambia el modelo económico de la informática, al permitir pagar solo por la capacidad que utiliza realmente[90].

Esta última razón es por la que se prefiere este sistema, ya que la gran mayoría de ofertas en este campo ofrecen planes con precios mensuales y cargos semestrales y anuales. Como en el caso de Enviromodeling, este sistema se necesita solo para las modelaciones que necesitan más capacidad computacional, no se requiere de estos servidores durante todo el tiempo funcionando.

[90] AWS.AMAZON (s.f.). *Preguntas frecuentes sobre AMAZON EC2*, obtenido de: https://aws.amazon.com/es/ec2/faqs/

5.2.5.2 Costo de Implementación de la Propuesta

Las instancias bajo demanda le permiten pagar por capacidad de cómputo por hora o segundo (mínimo de 60 segundos) sin contratos a largo plazo. Así se eliminan los costos y las complejidades de la planificación, la compra y el mantenimiento del hardware y se transforma lo que normalmente son grandes costos fijos en costos variables mucho más reducidos[91].

En una primera instancia, se puede probar AMAZON EC2 de forma gratuita que incluye 750 horas de instancias al mes durante un año.

Luego de esta prueba se puede pagar 0,309 dólares por hora. Si se considera una corrida de una semana, se tendría un costo de 51,912 dólares.

5.2.5.3 Resultados Esperados de la Propuesta

Al implementar esta propuesta de mejora se obtendrían los siguientes resultados:

- Mantener la continuidad operacional del proceso productivo de la elaboración de estudios de calidad de aire.
- Poder ejecutar varios proyectos en paralelo.

5.2.5.4 Feedback e Implementación de la Propuesta

Se está de acuerdo con la implementación de esta propuesta en el caso de que alguna falla de computadores retrase un proyecto en tiempos que dificulte el término de éste en los plazos comprometidos. Esto dependería del encargado del área informática, quien calculará el tiempo de atraso según la capacidad del computador que falló.

[91] AWS.AMAZON (s.f.). *Preguntas frecuentes sobre AMAZON EC2*, obtenido de: https://aws.amazon.com/es/ec2/faqs/

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones Generales

Debido a las nuevas exigencias de un mundo cada vez más globalizado, es importante que las empresas implementen las mejores herramientas para gestionar sus proyectos. Esto principalmente para empresas dedicadas a la consultoría ambiental debido al aumento en la demanda de sus servicios a causa de nuevos marcos regulatorios y nuevas exigencias de mercados internacionales, además de la mayor concientización ambiental de la población.

Sin embargo, adoptar nuevas tecnologías de gestión de proyectos para empresas pequeñas no es fácil, principalmente por la forma en que se fueron constituyendo a través de su historia, donde el enfoque está en la experiencia técnica que las hacen sobresalir en el medio. Esto, con el paso del tiempo y más exigencias hace que estas empresas sean menos eficientes en la gestión de proyectos que sus pares que si lo hacen.

Este es el caso de la consultora ambiental Enviromodeling Ltda., la cual ha ido evolucionando con respecto a la ciencia de modelación de calidad de aire para ofrecer servicios de acuerdo al estado del arte de modelación, pero no ha fortalecido su gestión de proyectos para la elaboración de estudios de calidad de aire, observándose deficiencias en los proyectos comparados con la programación de éstos y un nulo sistema de control de las horas de trabajo utilizados por los profesionales.

6.2 Conclusiones Específicas

De los resultados presentados en esta memoria se puede concluir lo siguiente:

- Se revisaron y analizaron los proyectos del área de Enviromodeling de estudios de calidad de aire del periodo 2010 – 2016. Donde se observa que el 66% de los proyectos son contratados directamente por el titular del proyecto. Además, se aprecia que el fuerte de los proyectos es contratado por el sector Minería (64%), seguido por el sector Energía (23%).

- En el análisis del proceso productivo se obtuvieron las actividades críticas del área de estudios de calidad de aire, donde se aprecia que la gestión de la solicitud de información al cliente ha sido deficiente en algunos proyectos por lo que provoca atrasos en el cumplimiento de lo programado. También se observa que la demora en la entrega de observaciones por parte del cliente es crítica para el término del proyecto. Por otra parte, las actividades de modelación meteorológica con WRF, modelación fotoquímica con CAMx y elaboración de Inventario de emisiones son claves en el proceso productivo debido a la entrega de información que es requerida por otras actividades para continuar con el proceso y dar término al proyecto.

  También se observan actividades que impactan de manera positiva en el proyecto, ya que son actividades que por la gran experiencia en el proceso están prácticamente estandarizados. Estas son: análisis de información ambiental, modelación de dispersión con CALPUFF y la elaboración de los informes de avance, pre-informe final y final.

- Se aprecian otras variables que afectan la gestión de proyectos de Enviromodeling, como es que no hay un sistema de registro y control de horas utilizadas en los proyectos, lo que repercute también en que la elaboración de propuestas no se pueda

realizar en base a un análisis más objetivo. Tampoco hay indicadores de costos ni registro de lecciones aprendidas.

- Si bien la empresa Enviromodeling es especialista en su área y profesionalmente sus clientes tienen buena opinión con respecto a su trabajo, el que cumple con los objetivos esperados, a la hora de evaluar el cumplimiento de lo planificado se observan desviaciones de tiempo importantes que provocan una minimización de las utilidades.

- Por otra parte, se realizó un análisis de proyectos destacados de Enviromodeling. Este análisis se realizó basado principalmente en la comparación de horas utilizadas versus programadas. Es importante destacar que, al no existir registro de horas realmente utilizadas en los proyectos, estos análisis se realizaron considerando principalmente las fechas de entrega de los informes correspondientes. En este análisis, en general se aprecia que las mayores desviaciones de tiempo son en los procesos de elaboración de Inventario de Emisiones y en las modelaciones de calidad de aire (CALPUFF y/o CAMx). Esto produce el retraso en la entrega del Pre-Informe Final. También se observa desviaciones importantes en la entrega del Informe Final, principalmente debido a la demora por parte de la contraparte en entregar observaciones y/o comentarios al Pre- Informe Final.

- Con los resultados obtenidos a través de los análisis de los proyectos, se observa que los atrasos en los proyectos de estudios de calidad de aire de la empresa son debido a tres problemáticas principales: Comunicación, Planificación y Proceso Productivo. Luego, con estos resultados, para identificar las causas más importantes de estas

problemáticas, se realizó una encuesta a cada uno de los profesionales de la empresa. Los resultados fueron los siguientes:

- Los problemas de comunicación provocan atrasos en la entrega de información vital para el proyecto y su avance. Este problema es a causa principalmente por la existencia de Reuniones poco efectivas con el cliente final, Falta de reunión de entrega de observaciones, Falta de reunión de cierre del equipo, Falta de reunión de inicio con el cliente contratante y Falta de reunión de inicio del equipo.
- La programación de los proyectos es deficiente debido a: Falta de programa de gestión de proyectos, Falta sistema de registro de HH y Falta de control de horas.
- Los problemas del proceso productivo del servicio entregado de estudios de calidad de aire tiene las siguientes causas principales: Demora en entrega de información ambiental, Información ambiental defectuosa o incompleta, Cortes de energía eléctrica, Fallas en los computadores y Demora en la entrega de observaciones por parte del mandante o cliente final.

- Para poder eliminar o mitigar las causas de los problemas de gestión de proyectos de estudios de calidad de aire de Enviromodeling se presentan las siguientes propuestas de mejoras:

  - Implementación y organización de reuniones con clientes.
  - Implementación y organización de reuniones de equipo.
  - Implementación de un software especializado en programación de proyectos.
  - Adquisición de un generador eléctrico.

- Contratación de servidores virtuales.

Se espera que estas propuestas se implementen en la empresa, a excepción de la adquisición del generador eléctrico ya que no será necesario debido al cambio de oficina a un edificio que tiene su propio sistema de respaldo.

6.3 Recomendaciones

Luego de la implementación de las propuestas de mejoras se recomienda realizar un seguimiento de estas medidas para evaluar cómo ha funcionado y qué tan eficientes han sido.

Después de un periodo de recopilación de información suficiente se debería hacer un análisis estadístico, el que permita obtener información objetiva del tiempo promedio que se utiliza en cada actividad del proceso productivo de la elaboración de estudios de calidad de aire. De esta forma se podría realizar una programación más fehaciente de nuevos proyectos.

CAPÍTULO VII
BIBLIOGRAFÍA

8.1 INTRODUCCIÓN

ADRIÁN ANEX M (2008). *¿Por qué fracasan los proyectos en las organizaciones?*, obtenido de: http://www.emb.cl/gerencia/articulo.mvc?xid=1275

8.2 CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

CARLOS J. PAMPLIEGA (s.f). *La Gestión de Proyectos como herramienta estratégica de la empresa*, obtenido de: http://salineropampliega.com/2014/06/la-gestion-de-proyectos-como-herramienta-estrategica-de-la-empresa.html.

CARLOS J. PAMPLIEGA (s.f). *Gestión de Proyectos ¿Moda o Necesidad?*, obtenido de: https://pmi-mad.org/index.php?option=com_content&view=article&id=551:gestion-de-proyectos-imoda-o-necesidad&catid=137:articulos&Itemid=88.

CEPAL (2006). *Las pymes en el mercado de bienes y servicios ambientales.*

MUNICIPALIDAD DE GUIJÓN, ESPAÑA. *Guía de negocio: Consultoría medioambiental.*

8.3 CAPÍTULO II: ANTECEDENTES GENERALES

ASOCIACIÓN DE EMPRESAS CONSULTORAS DE INGENIERÍA DE CHILE (AIC) (s.f.). *Nuestra Asociación*, obtenido de: https://aic.cl/nuestra-asosicacion

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD (s.f.). *Norma ISO 21500*, Obtenido de: https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/norma-iso-21500.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA (s.f.). *Gestión de Proyectos*, obtenido de: https://sites.google.com/site/gdpumh/tema-i/01-origen-y-evolucion-de-la-gestion-de-proyectos.

CHRISTIAN A. ESTAY-NICULCAR (s.f). *Apunte "Fundamentos de Gestión de Proyectos: de la Teoría de Proyectos a la Gestión de Proyectos según el PMBOK"*, Universidad Técnica Federico Santa María.

CLAUDIA ALCELAY LARRARTE (2016). *Fases en la Evolución de la Dirección de Proyectos*, obtenido de: http://www.certificacionpm.com/fases-la-evolucion-la-direccion-proyectos/

CLIFFORD F. GRAY Y ERIK W. LARSON (2009). *Administración de Proyectos*, Cuarta edición McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (2004). *Informe sobre la competencia en los servicios profesionales.*

CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE COMERCIO Y DESARROLLO (2004). *Aspectos de los Servicios Profesionales y los Marcos Normativos Relacionados con el Comercio y el Desarrollo*.

DANIEL SIPPPER Y ROBERT L. BULFIN, JR.(1998). *Planeación y Control de la Producción*, McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

DUNCAN HAUGHEY (2012). *Breve Historia sobre la Administración de Proyectos*, obtenido de:

http://www.liderdeproyecto.com/manual/breve_historia_sobre_la_administracion_de_proyectos.html.

EDICIONES ESPECIALES DE EL MERCURIO (2012). *Consultorías ambientales: Mercado pequeño, pero altamente competitivo*, obtenido de: http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=20121 2271176303.

GESTIOPOLIS (s.f.). *¿Qué es Consultoría?*, obtenido de: https://www.gestiopolis.com/que-es-consultoria/

JOSÉ LEAL (2003). *Necesidades de bienes y servicios para el mejoramiento ambiental de las PYME en Chile: Identificación de factores críticos y diagnóstico del sector*.

MARÍA BESADA JUEZ (2007). *Sistema de Gestión de Proyectos en Empresas de Servicios*, proyecto fin de carrera Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad Pontificia Comillas.

MARKETWIRED (s.f.). *El sector de consultoría chileno está frenado sólo por el tamaño de su economía*, obtenido de: http://www.marketwired.com/press-release/el-sector-de-consultoria-chileno-esta-frenado-solo-por-el-tamano-de-su-economia-1297384.htm.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. *Decreto 40/2013. (30 de 10 de 2012). Reglamento del Sistema de Evaluación de impacto Ambiental*. Chile.

MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. *Ley 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Ultima Modificación: 01-JUN-2016 Ley 20920*. Chile.

MUNICIPALIDAD DE GUIJÓN, ESPAÑA (s.f.). *Guía de negocio: Consultoría medioambiental*.

OFICINA ECONÓMICA Y COMERCIAL DE LA EMBAJADA DE ESPAÑA EN SANTIAGO DE CHILE (2007). *El mercado de la consultoría de ingeniería en chile*.

SERVICIO DE EVALUCIÓN AMBIENTAL. *Registro de consultores*, obtenido de: http://sea.gob.cl/evaluacion-ambiental/registro-consultores.

SOLARI (2014). *Estrategias, Desafíos y Proyecciones País: Medio Ambiente*.

WILLIAM A. COHEN (2003). *Como ser un consultor exitoso.*

8.4 CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

ALDANA DE VEGA, L. Á., ÁLVAREZ BUILES, M. P., BERNAL TORRES, C. A., DÍAZ BECERRA, M. I., GONZÁLEZ SOLER, C. E., GALINDO URIBE, Ó. D., & VILLEGAS CORTÉS, A. (2010). *Administración por calidad.*

BACA URBINA G. (2010). *Evaluación de Proyectos.*

CAMISÓN, C., CRUZ, S., & GONZÁLEZ, T. (2006). *Gestión de la calidad: Conceptos, enfoques, modelos y sistemas.*

CEAM (CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES DEL MEDITERRÁNEO), UNIVERSIDAD DE HUELVA (2007). *Diagnóstico y Vigilancia del Impacto por Vía Atmosférica de un Complejo Refinero en Extremadura.*

CIEMAT (s.f.). *Modelos fotoquímicos EPA*, obtenido de: http://mca-retemca.ciemat.es/MCAportal/portal.do;jsessionid=2BADABBE83A43086AC78509D1B282AB9?IDM=107&NM=4.

CLIFFORD F. GRAY Y ERIK W. LARSON (2009). *Administración de Proyectos*, Cuarta edición McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

CODELCO (s.f.). *Operaciones*, obtenido de: https://www.codelco.com/preguntas-y-respuestas-sobre-la-adenda-1-de-andina-244/prontus_codelco/2014-07-24/162220.html.

DR. WILLIAM WALLACE (2014). *Gestión de Proyectos.*

FRANCISCO J. TORO LÓPEZ (2011). *Gestion de proyectos con enfoque PMI al usar project y excel*, 1a. ed. -- Bogota: Ecoe Ediciones.

GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES (s.f.). *Resolución de calificación ambiental RCA*, obtenido de http://www.grn.cl/permiso-ambiental-sectorial-pas/permiso-ambiental/resolucion-de-calificacion-ambiental-rca.html.

GUILLERMO ESPINOZA (2002). *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental.*

IDEAM, ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. (s.f.) *Anexo 9 Guía para la Aplicación de Modelos de Calidad del Aire*.

ISOTOOLS. *Normas ISO*, obtenido en: https://www.isotools.org/normas/.

ISOTOOLS (2017). *Norma ISO 21500: Guía para la gestión de proyectos*, obtenido de: https://www.isotools.org/2017/07/11/norma-iso-21500-guia-gestion-proyectos/.

ITM PLATFORM (2015). *Estructuras organizacionales y gestión de proyectos*, obtenido de: http://www.itmplatform.com/es/blog/estructuras-organizacionales-y-gestion-de-proyectos/.

MARÍA TANIA LÓPEZ VILLEGAS (2009). *Tesis: Aplicación del modelo de dispersión CALPUFF para la estimación de concentraciones del PM2.5*.

MARÍA YESSENIA ROJAS T. (2003*). Manual de Evaluación de Impacto Ambiental.*

MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. *Ley 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Ultima Modificación: 01-JUN-2016 Ley 20920.*

NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH (s.f.), *The Weather Research & Forecasting Model*. Obtenido de: http://www.wrf-model.org/index.php.

NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH (2016). *ARW Version 3 Modeling System User's Guide*. USA.

NELSON E. PEÑALOZA, NÉSTOR Y. ROJAS, LUIS C. BELALCÁZAR (s.f.). *Revisión de inventarios de emisiones con fines de modelización de calidad del aire en Bogotá*.

PMI (2013). *Guía del PMBOOK – Quinta Edición.*

PMI PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. *¿Qué es PMI?*, obtenido de: https://americalatina.pmi.org/latam/aboutus/whatispmi.aspx.

PROYECTO DOMINGA (s.f.). *Preguntas Frecuentes*, obtenido de: http://www.conocedominga.cl/preguntas-frecuentes/.

REFINERÍA DE PETRONOR PETRÓLEOS DEL NORTE, S.A. (2008). *Anexo IX-B: Estudio de Dispersión Fotoquímico del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Nuevas Unidades para Reducir la Producción de Fuel-Oil.*

SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL. *Declaración o estudio de impacto ambiental*. Obtenido en: http://sea.gob.cl/sea/declaracion-estudio-impacto-ambiental.

SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (s.f.). *Quienes Somos*, obtenido de http://sea.gob.cl/sea/quienes-somos.

SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (s.f.). Obtenido de http://www.sea.gob.cl/sea/que-es-seia.

SGA S.A. (2013). *Anexo 2: Análisis de Calidad del Aire MP2,5 Secundario Proyecto "Modificaciones Central Combinada ERA"*.

UNTEC (2012). *Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica – Región de Valparaíso, Implementación de un Modelo Atmosférico. Región de Valparaíso.*

WINDGURU (s.f.), *Modelos meteorológicos utilizados por Windguru*, obtenido de: http://www.windguru.cz/es/help_index.php?sec=models.

8.5 CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

AWS.AMAZON (s.f.). *Preguntas frecuentes sobre AMAZON EC2*, obtenido de: https://aws.amazon.com/es/ec2/faqs/.

ENTER (s.f.). *¿Qué son servidores virtuales y qué ventajas ofrecen a tu empresa?*, obtenido de: http://www.enter.co/especiales/claro-negocios/que-son-servidores-virtuales-y-que-ventajas-ofrecen-a-tu-empresa/.

MICROSOFT (s.f.). *Project, soluciones basadas en la nube*, obtenido de: https://products.office.com/es-cl/project/compare-microsoft-project-management-software?tab=tabs-1.

MICROSOFT (s.f.). *PROJECT ONLINE ESSENTIALS*, obtenido de: https://products.office.com/es-cl/project/project-online-essentials.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES DE MÉXICO (s.f.). *Inventario de emisiones*, obtenido de: http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/calidad-del-aire/inventario-de-emisiones.

SODIMAC (s.f.). *Generador 2.5 KVA Gas DG2500 Power Pro*, obtenido de http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/2514648/Generador-2.5-KVA-Gas-DG2500/2514648.

ANEXOS

Anexo 1: Entrevistas a Clientes

Entrevista a Minera Los Pelambres

Consultas sobre gestión de proyectos de Enviromodeling a Andrés Marín.

¿Cuál es su opinión respecto a los proyectos realizados por Enviromodeling? Respuesta: Muy buena opinión respecto a la forma y aspectos técnicos que han aportado al Proyecto.
¿Con qué nivel de eficacia Enviromodeling cumple con los plazos? Respuesta: En general no tengo criticas u observaciones respecto al cumplimiento de plazos estipulados por los servicios, por lo general los ajustes se reconoce como mandante que producto de las indefiniciones y modificaciones que ha sufrido el proyecto, se ha debido modificar los plazos y trabajar con tiempos muy acotado.
¿Qué tan rápido respondimos ante los problemas? Respuesta: Siento que las respuestas han sido adecuadas y con una voluntad por parte del personal de Enviromodeling muy buena.
¿Qué aspectos principales crees que Enviromodeling debe mejorar en su gestión de proyectos? Respuesta: Comunicar e informar periódicamente el avance de los trabajos, ya sea mediante reporte o reuniones periódicas.
¿Cree que sería conveniente que Enviromodeling les envíe una encuesta de satisfacción una vez concluido un proyecto? Respuesta: Dada la forma de relación y comunicación, no sé si la encuesta sea un aporte adicional.

Respecto al proyecto “Modelación del Impacto en la Calidad del Aire del Proyecto Infraestructura Complementaria de Minera Los Pelambres”:
¿Enviromodeling les advirtió de los riesgos de este proyecto?

Respuesta: Claramente a medida que se avanzó con las modelaciones y resultados obtenidos.
¿Cree que Enviromodeling hizo un trabajo de calidad? Respuesta: Si.
¿Respecto a la gestión del proyecto, cree que fue de calidad? Respuesta: Si.

Entrevista a CODELCO Distrito Norte

Consultas sobre gestión de proyectos de Enviromodeling a Rubén Alfaro.

¿Cuál es su opinión respecto a los proyectos realizados por Enviromodeling? Respuesta: Sobresaliente
¿Con qué nivel de eficacia Enviromodeling cumple con los plazos? Respuesta: Cumple con los plazos establecidos
¿Qué tan rápido respondimos ante los problemas? Respuesta: Con la rapidez requerida
¿Qué aspectos principales crees que Enviromodeling debe mejorar en su gestión de proyectos? Respuesta: Mayor presencia, ya sea manteniendo contactos formales presenciales y digitales con Autoridades y clientes. Definir y difundir su cartera de productos. Lograr alianzas con entidades afines (desarrolladores de Sw, proveedores de equipos de monitoreo, Autoridades fiscalizadoras, SEA, universidades nacionales y regionales, especialmente en zonas mineras), lograr alianzas con entidades internacionales referentes en los temas ambientales

¿Cree que sería conveniente que Enviromodeling les envíe una encuesta de satisfacción una vez concluido un proyecto? Respuesta: Por supuesto, ayuda como respaldo ante el desarrollo de benchmarking a nivel Corporativo.

Respecto al proyecto "Actualización Inventario de Emisiones y Modelamiento de Dispersión de Contaminantes, Proyecto Quetena":
¿Enviromodeling les advirtió de los riesgos de este proyecto? Respuesta: Por supuesto, trabajamos juntos. La detención del proyecto ocurrió por causas no relacionadas con las tareas encomendadas a ENVIROMODELING.
¿Cree que Enviromodeling hizo un trabajo de calidad? Respuesta: Sí.
¿Respecto a la gestión del proyecto, cree que fue de calidad? Respuesta: Sí.