

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES – ITBA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

# **LOGÍSTICA DE ABASTECIMIENTO DE CALIZA PARA LA CENTRAL TÉRMICA DE RÍO TURBIO**

**AUTOR/ES: Degregori, Tobías (Leg. N° 54.201)**

**Lammertyn, Lucía (Leg. N° 54.202)**

**Place, Stephanie (Leg. N° 54.545)**

**DOCENTES TITULARES O TUTORES: Rancán, Claudio Jorge. Queralt, Francisco.**

**TRABAJO FINAL PRESENTADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**BUENOS AIRES**

**SEGUNDO CUATRIMESTRE, 2017**





## **Agradecimientos**

*A nuestras familias y amigos que nos acompañaron y apoyaron a lo largo de la carrera.*

*A todos aquellos profesores y profesionales que fueron de ayuda en el desarrollo de este trabajo, poniendo a disposición nuestra su tiempo y conocimientos.*

*A nuestros guías en el desarrollo del trabajo, Francisico Queralt y Claudio Rancán.*



## **Resumen Ejecutivo**

El Proyecto Final de Ingeniería Industrial titulado “Logística de abastecimiento para la Central Térmica de Río Turbio” fue elaborado por Tobías Degregori (legajo 54201), Lucía Lammertyn (legajo 54202) y Stephanie Place (legajo 54595) y presentado en el segundo semestre del 2017.

Al año 2007, se inició la construcción de una central termoeléctrica a carbón con una capacidad de generación de 240 MWh en la localidad de Río Turbio al sur-oeste de la provincia de Santa Cruz. El objetivo inicial era completar el proyecto de llave en mano en un plazo de 42 meses y con un presupuesto de 500 millones de USD. Diez años después, el actual organismo gubernamental heredó una obra inconclusa que ya prácticamente duplicó su presupuesto. El presente documento abarca una de las tantas problemáticas irresueltas que impiden la puesta en marcha y operación de la Central Térmica de Río Turbio (CTRT). Se trata del abastecimiento de piedra caliza, un insumo necesario para el tratamiento del azufre en las calderas de lecho fluidizado para impedir los efectos nocivos de la emisión de dióxido de azufre.

En una primera parte, se presentó el marco teórico en torno a este problema que incluye una descripción del proyecto y las características generales de la CTRT, un estudio del mercado de piedra caliza, los métodos de tratamiento del dióxido de azufre y los lineamientos principales para el diseño de una logística de abastecimiento.

En una segunda parte, se seleccionaron ciertas redes con características distintivas para comprender las implicancias de cada una de ellas. Se realizó una exhaustiva investigación de cada alternativa y el correspondiente estudio de factibilidad técnica. Por último, se propusieron herramientas para la modelación y simulación de la cadena logística que permitan mejorar la toma de decisiones.

Entre las alternativas nacionales las más competitivas serían las de Pico Truncado y Neuquén por Punta Loyola. Sin embargo, por las condiciones estructurales en que se encuentran las rutas y las vías del país, es evidente que el deterioro por la carga adicional del transporte de la piedra caliza implicaría que estos trayectos salgan de servicio a corto plazo. Asimismo, ciertas alternativas son inviables al día de hoy por falta de infraestructura. Por este motivo, se propusieron en el Capítulo 9 al Ministerio de Energía y Minería alternativas en el tratamiento del dióxido de azufre y en el diseño de la logística de abastecimiento.



## Tabla de Contenidos

Introducción.....	1
Objetivos generales y específicos .....	1
Justificación del problema elegido y beneficios de su resolución .....	1
Alcance .....	2
Parte I – Sustento Teórico .....	3
Capítulo 1: Central Térmica Río Turbio.....	3
1.1 Yacimientos Carboníferos de Río Turbio y el origen de la CTRT .....	3
1.2 Generación de electricidad a partir de carbón .....	4
1.3 Noticias periodísticas .....	9
Capítulo 2: Tratamiento de azufre .....	11
2.1 Características generales.....	11
2.2 Generación en caldera.....	11
2.3 Consecuencias de no tratarlo .....	12
2.4 Métodos de tratamiento .....	13
2.4.1 Precombustión .....	13
2.4.2 Durante la combustión .....	14
2.4.3 Postcombustión.....	16
Capítulo 3: El mercado de la piedra caliza .....	17
3.1 Minería en Argentina .....	17
3.2 La piedra caliza.....	18
3.2.1 Perspectiva global: caliza y cal.....	19
3.2.2 Piedra caliza en Argentina .....	22
Capítulo 4: Introducción a alternativas logísticas.....	27
4.1 Logística de Abastecimiento.....	27
4.1.1 Gestión de inventarios .....	27
4.1.1 Elección de proveedores .....	29
4.1.2 Medios de transporte.....	30
4.1.3 Embalajes.....	36

4.1.4 Impacto ambiental .....	38
4.2 Costo Logístico Argentino.....	39
4.2.1 Infraestructura.....	47
4.2.2 Legislación argentina.....	56
4.3 Características del Abastecimiento a la CTRT.....	58
4.3.1 Requisito y almacenamiento de la caliza.....	58
4.3.2 Accesos a la CTRT .....	60
Parte II – Análisis y Desarrollo de Alternativas .....	63
Capítulo 5: Abastecimiento desde San Juan.....	65
5.1 Proveedores de Piedra Caliza en San Juan .....	68
5.2: Alternativas Logísticas para el Abastecimiento .....	70
5.2.1 Alternativa 1: transporte automotor.....	71
5.2.2: Alternativa 2: intermodal vía Chile a Puerto Natales.....	79
5.2.3 Alternativa 3: multimodal vía Chile a Punta Arenas .....	88
5.2.3 Alternativa 4: Intermodal vía Puerto de Buenos Aires .....	92
5.3 Conclusiones parciales.....	94
Capítulo 6: Abastecimiento desde Neuquén.....	99
6.1 Proveedores de piedra caliza en Neuquén .....	100
6.1.1 Loma Negra .....	102
6.1.2 Áridos Parada.....	102
6.1.3 Ambar Compañía Minera .....	102
6.1.4 Servicios Mineros Lozano .....	103
6.2 Alternativas logísticas para el abastecimiento .....	103
6.2.1 Alternativa 1: transporte en camión.....	104
6.2.2 Alternativas 2 y 3: Intermodal (tren-buque- tren y tren-buque- camión) .....	104
Capítulo 7: Abastecimiento desde Pico Truncado.....	119
7.1 Proveedores de Piedra Caliza en Santa Cruz.....	121
7. 2 Alternativas logísticas para el abastecimiento.....	123
7.2.1 Alternativa 1: Transporte terrestre en camión a CTRT .....	123
7.2.2 Alternativa 2: Transporte intermodal desde Pico Truncado (camión-buque-tren o camión-buque-camión).....	125

Capítulo 8: Investigación de Operaciones .....	135
8.1 Herramientas de Investigación de Operaciones.....	135
8.2 Simulación con AnyLogic .....	139
8.2.1 Formulación del problema.....	139
8.2.2 Modelo Conceptual:.....	140
8.2.3 Modelo de Datos.....	143
8.2.4 Modelo Operacional .....	143
8.2.5 Verificación y validación.....	144
8.2.6 Plan de experimentación.....	144
Capítulo 9: Propuestas alternativas.....	147
9.1 Utilización de cal como sustituto de la caliza para la desulfuración .....	147
9.2 Importación de piedra caliza.....	150
9.2.1 Panorama actual de exportación de piedra caliza .....	150
9.2.3 Importación desde Chile .....	152
9.3 Desarrollo de proveedores .....	153
Conclusiones.....	155
Bibliografía .....	159

## Lista de Figuras

Figura 1. 1 Imagen satelital de la ubicación del YCRT y la CTRT.....	3
Figura 1. 2 Producción de electricidad a partir de carbón (en % del total). Banco Mundial.	5
Figura 1. 3 . Migración del uso de carbón hacia el uso de gas natural en EEUU. U.S. Energy Information Administration. ....	6
Figura 1. 4 Diagrama típico de una central térmica a carbón. Tennessee Valley Authority.	6
Figura 1. 5 Matriz de generación eléctrica sin y con la CTRT. Ministerio de Energía y Minería. ....	7
Figura 1. 6 Clasificación de carbones minerales según el rango. ....	8
Figura 2. 1 Efecto de la relación Calcio-Azufre sobre la captura de dióxido de azufre. ....	15
Figura 2. 2 Eficiencia en la eliminación de SO <sub>2</sub> respecto de la relación molar Ca-S.. ....	16
Figura 3. 1 Composición de Rocas de Aplicación por producto, según su participación en el valor de la producción de 2014. Ministerio de Hacienda y Finanzas. ....	18
Figura 3. 2 Diagrama de usos de la piedra caliza. Instituto de Tecnología Minera, 2000..	19
Figura 3. 3 Volumen de producción de cal. USGS.....	21
Figura 3. 4 A la derecha, Producción global de 2015 por país. USGS. A la derecha, evolución de la producción mundial y el comercio internacional. McKinsey & Company. ....	21
Figura 3. 5 Volumen de producción de caliza en millones de toneladas. INDEC. ....	22
Figura 3. 6 Consumo de cemento por provincia, año 2016. AFCP. ....	23
Figura 3. 7 Mapa de explotación minera en Argentina. CAEM, Cámara Argentina de Empresarios Mineros. ....	24
Figura 3. 8 Ministerio de Hacienda y Finanzas públicas. Informe de cadenas de valor: Minería Metalífera y Rocas de Aplicación. Proyección lineal de elaboración propia. ....	25
Figura 4. 1 Costos de la gestión de inventarios. ....	28
Figura 4. 2 Ciclo de vida del proveedor. ITBA .....	29
Figura 4. 3 comparación de los costos de transporte en función de la distancia del transporte carretero (azul), marítimo (verde) y el ferrocarril (amarillo). Rodrigue, Comcois, Slack. ....	31
Figura 4. 4 cintas transportadoras de piedra caliza de corta (A) y larga (B) distancia. ....	33
Figura 4. 5 Capacidad de carga en TEUs de los distintos medios de transporte. ITBA. ....	34
Figura 4. 6 Ciclo operativo de transporte en camión. ITBA.....	35
Figura 4. 7 recepción de la piedra caliza en la CTRT. Estudio de Impacto Ambiental.....	36
Figura 4. 8 A la izquierda, un contenedor granelero de 20 pies, a la derecha un contenedor seco cargado con Big Bags. TSP Patagonia Norte. ....	38
Figura 4. 9 gramos de CO <sub>2</sub> emitidos por tonelada kilómetro. IMO. ....	38
Figura 4. 10 Emisiones globales de CO <sub>2</sub> por actividad. IMO.....	39
Figura 4. 11 Evolución del costo de combustibles en Argentina. C.E.C.H.A. ....	40
Figura 4. 12 Costo de nafta de países americanos en dólares/litro. Global Petrol Prices....	41

Figura 4. 13 Costo de gasoil de países americanos en dólares/litro. Global Petrol Prices. .	41
Figura 4. 14 Costo de mano de obra relativo entre años. C.E.C.H.A. ....	42
Figura 4. 15 Evolución de costos logísticos de combustible y mano de obra – Base diciembre 2001. C.E.C.H.A.....	43
Figura 4. 16 Costo de flete para un contenedor de 20 pies. iProfesional.....	44
Figura 4. 17 Costo de flete para un contenedor de 20 pies. iProfesional.....	44
Figura 4. 18 Cortes de vías públicas por año. Diagnóstico Político .....	45
Figura 4. 19 Cortes de vías públicas por distrito.Diagnóstico Político.....	45
Figura 4. 20 Cortes de vías públicas por actores. Diagnóstico Político.....	46
Figura 4. 21 Ranking de infraestructura sobre 140 países. W.E.F. ....	47
Figura 4. 22 Distribución de rutas pavimentadas, mejoradas (de ripio) y de tierra. IIE.....	48
Figura 4. 23 Comparación rutas totales respecto de rutas pavimentadas. CEPAL.....	49
Figura 4. 24 División de la red vial nacional según tipo de ruta. Consejo Vial Federal. ....	51
Figura 4. 25 División de la red vial nacional según tipo de ruta. Consejo Vial Federal. ....	53
Figura 4. 26 Incidencia del ferrocarril en el transporte de cargas. Jorge Negre. ....	55
Figura 4. 27 Transportes de cargas utilizados con carga máxima neta posible por país. Scania. ....	56
Figura 4. 28 Nuevos transportes de cargas utilizados con carga máxima neta possible. Scania. ....	57
Figura 4. 29 Pesos máximos permitidos por eje y tolerancias. Aprocam. ....	57
Figura 4. 30 Evolución de juicios por accidentes de trabajo. Unión Argentina de Riesgos de Trabajo.....	58
Figura 4. 31 Sistema de descarga y almacenamiento de la piedra caliza. Estudio de Impacto Ambiental. ....	59
Figura 4. 32 Infraestructuras para el almacenamiento masivo de piedra caliza. ....	60
Figura 4. 33 Accesos viales a la CTRT. ....	61
Figura 4. 34 Ramal Ferro Industrial Río Turbio.....	62
Figura 5. 1 Porcentaje del valor de la producción minera de San Juan. Año 2010. Elaboración propia a partir de información del Ministerio de Minería de la Provincia de San Juan.....	66
Figura 5. 2 Evolución de la extracción de caliza en toneladas del 2001 al 2012. Elaboración propia a partir de información del Ministerio de Minería de la Provincia de San Juan. ....	66
Figura 5. 3 Superposición de SIG Geológico Minero, que indica los yacimientos de caliza, y un mapa departamental de San Juan. Ministerio de Minería de la Provincia de San Juan....	67
Figura 5. 4 Infraestructura de vías de comunicación de San Juan. Universidad de San Juan. ....	71
Figura 5. 5 Carrocería tipo bañera (izquierda) y tipo caja (derecha).....	72
Figura 5. 6 Ejemplos de los camiones que se deberían utilizar. ....	72
Figura 5. 7 Mapas de las alternativas de ruta de San Juan a la CTRT.....	74
Figura 5. 8 tramos pavimentados en rojo y de ripio en celeste.....	75

Figura 5. 9 Vuelco de un camión de la curva “La Calera” .....	77
Figura 5. 10 Gráficos de \$/T en función de la distancia. FADEAAC. ....	78
Figura 5. 11 Gráfico de \$/t en función de la distancia para viajes de larga distancia. FADEAAC. ....	78
Figura 5. 12 Mapa de la alternativa 2. ....	80
Figura 5. 13 accesos al Puerto Valparaíso. ....	83
Figura 5. 14 Evolución de la carga transferida en Puerto Valparaíso del año 2000 al 2016. ....	83
Figura 5. 15 Ttransferencias en toneladas en el Puerto Natales del año 2006 al 2016. ....	85
Figura 5. 16 Características de los buques portacontenedores. ....	86
Figura 5. 17 Condiciones de acceso a los puertos de la Zona Austral de Chile del 07 de diciembre de 2017. ....	87
Figura 5. 18 Mapa de la alternativa 3. ....	88
Figura 5. 19 Terminales portuarias del Puerto San Antonio. EPSA. ....	89
Figura 5. 20 Porcentaje de transferencias por puerto. ....	91
Figura 5. 21 Naves Feeder que ofrece el operador logístico. Ultramar. ....	92
Figura 5. 22 Mapa alternativa 4. ....	93
Figura 6. 1 Mapa de la provincia de Neuquén. En amarillo: áreas de explotación de piedra caliza. (1) Zapala, (2) Picunches. Estadística Minera de Neuquén, 2016. ....	99
Figura 6. 2 Cantidad de yacimientos de explotación de cada mineral en la provincia de Neuquén. Estadística Minera de Neuquén, 2016. ....	100
Figura 6. 3 A la izquierda, imagen satelital de Google Maps, con las canteras de diversos minerales y la división entre Picunches y Zapala (línea roja). A la derecha, captura de Google Earth de las canteras delimitadas por el Gobierno Provincial de Neuquén. En color, las canteras de caliza de: Loma Negra (rojo), Ambar Compañía Minera (azul) y Servicios Mineros Lozano (verde). ....	101
Figura 6. 4 Captura de Google Maps. En azul, la ruta desde Zapala hacia Río Turbio. ...	104
Figura 6. 5 Mapa que detalla las dos alternativas a analizar. A la derecha: Alternativa 2. A la izquierda: Alternativa 3. ....	105
Figura 6. 6 Red ferroviaria del tren Ferrosur Roca. Marcadas en rojo las estaciones de carga y descarga de mineral a utilizar. Ferrosur Roca. ....	106
Figura 6. 7 Parque de vagones de Ferrosur Roca. De izquierda a derecha: Tolva Mineralera, Vagón de borde alto, Portacontenedores. Ferrosur Roca. ....	107
Figura 6. 8 Puerto Ingeniero White. Patagonia Norte S.A. ....	108
Figura 6. 9 Mapa del Puerto de Bahía Blanca. ....	109
Figura 6. 10 Diagrama representativo de los movimientos a realizar en el Puerto Ingeniero White. ....	111
Figura 6. 11 Mapa de recorrido de Patagonia Shipping Lines y tabla de estimación de tiempos de recorrido. Patagonia Shipping Lines. ....	112

Figura 6. 12 Diagrama del puerto de Punta Loyola. Muelle El Turbio y Muelle Fiscal, que no se encuentran operativos. Fundación Nuestro Mar. ....	113
Figura 6. 13 Fotografía del Muelle Presidente Illia en el puerto de Punta Loyola. YCRT. ....	114
Figura 6. 14 A la izquierda: Readecuación parcial de la obra civil para el patio de caliza. revista Extracción de YCRT. A la derecha: imagen de referencia de almacenamiento de Big Bags en tres niveles, autoestibados.....	115
Figura 6. 15 Ramal Ferro Industrial de Río Turbio. página web de YCRT. ....	116
Figura 6. 16 Mapa con trayecto desde Punta Loyola a CTRT.....	117
Figura 7. 1 Evolución de las exportaciones de Santa Cruz por rubro. Gobierno de Santa Cruz. ....	119
Figura 7. 2 Evolución de los principales complejos productivos de Santa Cruz. Gobierno de Santa Cruz.....	120
Figura 7. 3 Emprendimientos mineros de Santa Cruz. Secretaría de Estado de Minería de Santa Cruz. (ver Anexo VII con referencias) .....	121
Figura 7. 4 Actividades desarrolladas por PCR en Argentina y a nivel mundial. PCR.....	122
Figura 7. 5 Captura de Google Maps. En azul la ruta desde Pico Truncado hasta Río Turbio. ....	124
Figura 7. 6 Captura de Google Maps. En azul la ruta desde Fitz Roy hasta el empalme con la Ruta Provincial 5. ....	125
Figura 7. 7 Captura de Google Maps. En azul la ruta desde Pico Truncado hasta Puerto Deseado; y la ruta desde Punta Loyola hasta CTRT. En Violeta en trayecto en buque desde Puerto Deseado hasta Punta Loyola. ....	126
Figura 7. 8 Captura de Google Maps. En azul la ruta desde Pico Truncado hasta Puerto Deseado. En Violeta en trayecto en buque desde Puerto Deseado hasta Punta Loyola. En verde el trayecto del Ramal Ferro Industrial (Punta Loyola - Río Turbio). ....	127
Figura 7. 9 Ruta que realizaba el Ferrocarril Patagónico. 2015. ....	128
Figura 7. 10 Estación de Puerto Deseado abandonada. Crónica Ferroviaria.....	129
Figura 7. 11 Estado actual de las vías en distintos tramos del ferrocarril. ....	129
Figura 7. 12 Puerto de Puerto Deseado. ....	130
Figura 7. 13 Límites del puerto de Puerto Deseado. UNESPOC. ....	131
Figura 7. 14 Sitios por muelle con detalles de longitud y profundidad. ....	132
Figura 8. 1 Programación Lineal Estocástica. ....	137
Figura 8. 2 Modelo de inventarios con variabilidad. ....	137
Figura 8. 3 Pasos en un estudio de Simulación. cátedra de Simulación, ITBA.....	139
Figura 8. 4 Captura de pantalla del modelo operativo construido en Anylogic para simular las diversas alternativas para el transporte de piedra caliza. ....	144
Figura 8. 5 Captura de pantalla de la Optimización de Anylogic, a partir de tres alternativas seleccionadas a modo ejemplo. ....	145

Figura 8. 6 Captura de pantalla de la experimentación con la herramienta Parameter Variation de Anylogic .....	146
Figura 9. 1 la capacidad de captura de SO <sub>2</sub> por partículas de distintos tamaños de A) caliza y B) cal. ....	147
Figura 9. 2 Conversión de óxido de calcio en sulfato para partículas de distintos tamaños de A) caliza y B) cal. ....	148
Figura 9. 3 Ritmos de elutriación de partículas finas generadas utilizando A) caliza y B) cal. ....	149
Figura 9. 4 Componentes en la ceniza de la CTRT como óxidos.....	149
Figura 9. 5 Producción de caliza para la exportación, y precio internacional promedio para los primeros 10 países exportadores de caliza. elaboración propia a partir de información de UN Comtrade (tradecode: 2521 Limestone flux) .....	151
Figura 9. 6 Posible recorrido para transportar la piedra caliza desde Isla Guarello hacia Río Turbio. Elaboración propia.....	152
Figura 9. 7 Terminal Isla Guarello, Chile. Ultramar. ....	153

## Lista de Tablas

Tabla 1. 1 Emisiones de dióxido de carbono asumiendo un rendimiento del 40% de la energía primaria consumida. World Press.....	7
Tabla 1. 2 Contenido de metales asociado al carbón. Estudio de Impacto Ambiental.....	9
Tabla 4. 1 Factores del desempeño del proveedor y su impacto en el costo total. Chopra y Meindl.....	30
Tabla 4. 2 Longitud de la red nacional en kilómetros. Consejo Vial Federal. ....	51
Tabla 4. 3 Longitud de la red nacional en kilómetros. Consejo Vial Federal. ....	53
Tabla 4. 4 Datos previos y posteriores a las concesiones de ferrocarriles. APDFA.....	54
Tabla 4. 5 Evolución de toneladas transportadas por ferrocarriles de carga en Argentina. Dirección nacional de transporte ferroviario. ....	54
Tabla 4. 6 Cálculos realizados con los datos de la hoja de datos del Anexo II. ....	60
Tabla 5. 1 Cantidad de viñedos y superficie. Año 2016. INV.....	65
Tabla 5. 2 Información de proveedores de San Juan. ....	70
Tabla 5. 3 Carga en tn transportada por los pasos fronterizos Argentina-Chile.....	81
Tabla 5. 4 Características de los sitios de la Terminal 1. Directemar.....	84
Tabla 5. 5 Características de los sitios de la Terminal 2. Directemar.....	84
Tabla 5. 6 características de la Terminal Puerto Natales.....	86
Tabla 5. 7 Características de los sitios del Puerto San Antonio. EPSA.....	89
Tabla 5. 8 Características de los muelles de Punta Arenas. Ultramar. ....	90

Tabla 6. 1 Detalles de los muelles de Carga General del Puerto Ingeniero White.....	110
Tabla 7. 1 Equipos presentes por operador.....	133
Tabla 8. 1 Riesgos a considerar en la cadena de suministro durante el diseño de la red. Chopra. ....	136

## **Introducción**

### **Objetivos generales y específicos**

El objetivo general del presente trabajo es proveer una recomendación al Ministerio de Energía y Minería de la Nación para el abastecimiento de caliza que permita atender las necesidades de la Central Térmica de Río Turbio (CTRT) para el tratamiento del azufre.

Los objetivos específicos son: i) entender el mercado argentino de la caliza y sus principales proveedores, ii) la formulación de alternativas de abastecimiento y iii) determinar la viabilidad técnica de cada alternativa y comprender el impacto de cada una.

### **Justificación del problema elegido y beneficios de su resolución**

Como lo hace notar el ingeniero y profesor del ITBA Federico Qüerio, “es fácil admitir que los denominados países periféricos, emergentes, en desarrollo o como se quiera llamar a los que no lideran la economía, son los que más experiencia tienen frente a los tiempos turbulentos”<sup>1</sup>. Parte de la elección de la problemática a tratar se debe a que se considera que, en un país como la Argentina, las raíces de estas turbulencias son las decisiones políticas y sociales tomadas sin la medida y el análisis que corresponde. Este proyecto tiene características que desafortunadamente no son atípicas en nuestro país: sobreprecios, retrasos, corrupción y malas decisiones. Si bien, el objetivo de este trabajo no es indagar en estas cuestiones, sí se apunta a, por un lado, intentar contribuir a mejorar los resultados de este proyecto y por el otro, a aprender qué se debe evitar.

Por este motivo, se eligió tratar un tema que todavía no fue resuelto para el funcionamiento de esta central termoeléctrica: el aprovisionamiento de la caliza. Este material se utiliza para tratar el SO<sub>x</sub> en las calderas de lecho fluidizado y así evitar lluvias ácidas en la zona. La CTRT tiene que reabastecerse de este insumo, como máximo, cada 21,2 días sólo para operar, es decir, sin tener en cuenta todavía el stock de seguridad. Esto implica un gran desafío dada la ubicación, ergo, la lejanía de los proveedores, las condiciones climáticas, la infraestructura del país y varios factores más.

El beneficio percibido sería, por un lado, garantizar un dado nivel de servicio al mínimo costo para que no se interrumpa la operación de la planta por falta de caliza. Asimismo, implicaría un paso más hacia la finalización de este proyecto que ya lleva un importante retraso.

---

<sup>1</sup> QÜEIRO, Federico. “Inteligencia estratégica en economías turbulentas”. México: McGraw-Hill/Interamericana. Editores S.A. de C.V.. Pág. 256.

## **Alcance**

Al enfocarse en el alcance del trabajo, es decir, todos aquellos aspectos que van a ser analizados y estudiados, se debe mencionar una primera parte que contiene el sustento teórico sobre los cuales luego se fundamentan las alternativas de solución. Se tratarán los temas de la operación y las características de la CTRT, del mercado nacional de piedra caliza, de los tratamientos de azufre con caliza; tanto su proceso como los subproductos que genera y del diseño de una cadena de abastecimiento.

En segundo lugar, se evaluarán aquellas alternativas referentes a la logística de abastecimiento de caliza a la central térmica. Para ello, se comenzará por entender el mercado de esta roca: análisis de posibles proveedores, su calidad, disponibilidad y precio. Además, se realizará una evaluación técnica sobre la logística, tomando variables como la distancia a recorrer, la frecuencia de abastecimiento, el volumen a abastecer y las limitaciones climáticas, físicas y geográficas. Más aún, se evaluarán las distintas alternativas en lo económico, y en su impacto ambiental, para luego llegar a recomendar una posible solución al problema planteado.

En esta instancia cabe mencionar aquellos aspectos que no van a ser analizados en dicho trabajo, como la operación global de la central térmica y el análisis económico-financiero del proyecto general. Además, a lo largo de este trabajo no se tratarán cuestiones políticas ni sociales respecto del modo de operación de la central.

Para el desarrollo y el posterior análisis de dicho proyecto se han considerado ciertos supuestos, los cuales limitan la extensión del documento logrando los objetivos mencionados previamente. El primer supuesto se basa en que se respetará el deseo del Ministerio de Minería y Energía en utilizar piedra caliza nacional para el abastecimiento de la CTRT. Se realizará tan sólo un breve análisis posterior de aplicar otros métodos de tratamiento de emisiones y la compra a proveedores internacionales.

## Parte I – Sustento Teórico

### Capítulo 1: Central Térmica Río Turbio

El presente estudio busca proponer una alternativa viable para la logística de abastecimiento de caliza para la Central Termoeléctrica de Río Turbio (CTRT). Para lograr comprender la magnitud de este problema y la justificación de su elección, se describe a continuación el contexto y las características de este proyecto.

#### 1.1 Yacimientos Carboníferos de Río Turbio y el origen de la CTRT

En 1943, se crea la Dirección General de Combustibles Sólidos Minerales, encargada de la apertura y explotación de la primera mina en Río Turbio, una localidad ubicada al sur oeste de la provincia de Santa Cruz (Figura 1. 1).

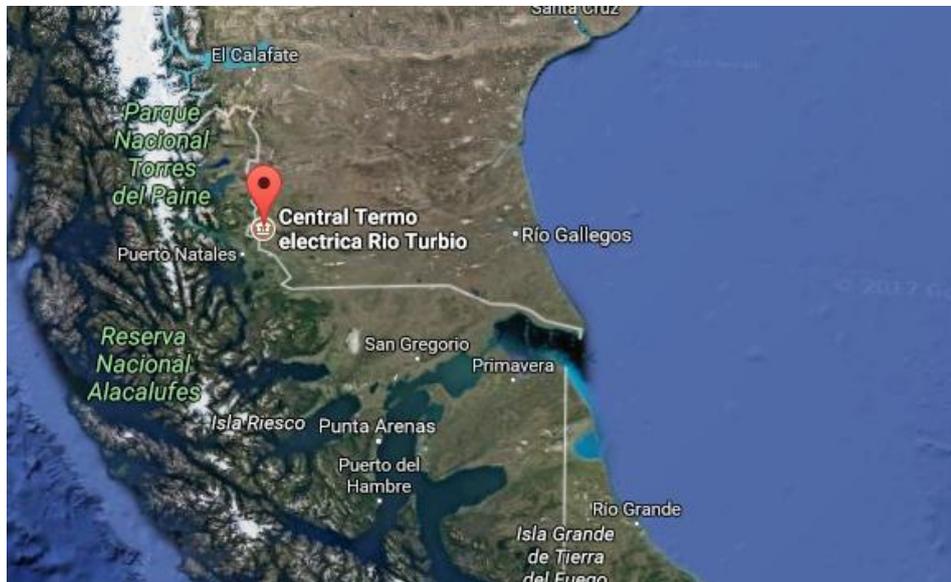


Figura 1. 1 Imagen satelital de la ubicación del YCRT y la CTRT.

Dado el conflictivo contexto global, la explotación de carbón se convirtió en una política de Estado para asegurar su abastecimiento durante la Segunda Guerra Mundial. La mina llegó a producir un pico de 1.450.000 toneladas de carbón bruto y 750.000 toneladas de carbón depurado en 1977. Sin embargo, la mina sufrió un período de declive importante dado que cambió de dueños varias veces y se produjo una fuerte desinversión, deteriorándose las maquinarias y la infraestructura. En 1994, se privatizó y pasó a estar en manos del grupo

Taselli. Si bien el yacimiento recibió un subsidio estatal de 22,5 millones de pesos-dólares, su mayor cliente, la central térmica de San Nicolás, debía pagar un 20% más por el carbón que el valor en el mercado internacional. En el 2001, la Nación dejó de otorgar el subsidio y la central térmica de San Nicolás dejó de adquirir el carbón. El empresario Sergio Taselli fue enviado a juicio oral por defraudación.

A partir de la estatización de la misma en el año 2002, se discutió arduamente si se debía continuar con la explotación de ese complejo. En el Artículo 4 del Decreto 1034/2002, se declaró que sólo se debía efectuar el mantenimiento del establecimiento y realizar una auditoría integral sobre el estado del complejo, sin proceder a su explotación. Sin embargo, poco tiempo después, este decreto fue vetado por el 1853/2002. Asimismo, la Superintendencia de Riesgos de Trabajo (STR) detecta que, en la explotación del yacimiento, el índice de accidentes duplica el promedio estimado para la actividad minera.

En este contexto, en junio de 2004, se produce un incendio por fricción de la cinta transportadora del mineral que llevó a la muerte de 14 mineros. Ante los familiares de las víctimas, en un acto realizado en los interiores de las minas, Nestor Kirchner anunció la construcción de la Central Termoeléctrica Río Turbio (CTRTR).

De esta manera, el diseño, construcción y puesta en funcionamiento de la CTRTR, se adjudicó, mediante la Licitación Pública Nacional e Internacional (N° 12/2006; Exp. N° 409692/2006), a la Unión Transitoria de Empresas (UTE) conformada por Isolux Ingeniería S.A., Ghesa Ingeniería y Tecnología S.A. y Tecna Estudios y Proyectos de Ingeniería S.A.. El proyecto es de modalidad EPC (Engineering, Procurement and Construction), también conocido como “llave en mano”, en donde el contratista asume la ingeniería del mismo.

## **1.2 Generación de electricidad a partir de carbón**

La producción de electricidad a partir de la combustión de carbón ronda el 40% de la producción total global. Los países en vías de desarrollo son los principales consumidores de carbón para la generación de electricidad. Por ejemplo, esta fuente representa un 94% de la matriz energética de Sudáfrica. En volumen, China es el mayor consumidor, ya que representa un 63% de su matriz energética.

Sin embargo, en los países desarrollados se evidencia una migración del uso de carbón en centrales térmicas como fuente de energía hacia el uso de gas natural o su reemplazo por energías renovables. Como se evidencia en la *Figura 1.2*, a partir del 2015, la producción de electricidad global a partir de carbón se estancó por debajo del 42%. En julio del 2017, se anunció que incluso la central térmica a carbón más limpia y eficiente de los Estados Unidos, Kemper County Power Plant, se va a convertir en una central térmica a gas natural. El “U.S. Energy Information Administration”, adjudica esta migración a que el costo por kWh es

mayor utilizando carbón como fuente y por las regulaciones de emisiones de dióxido de carbono.



Figura 1. 2 Producción de electricidad a partir de carbón (en % del total). Banco Mundial.

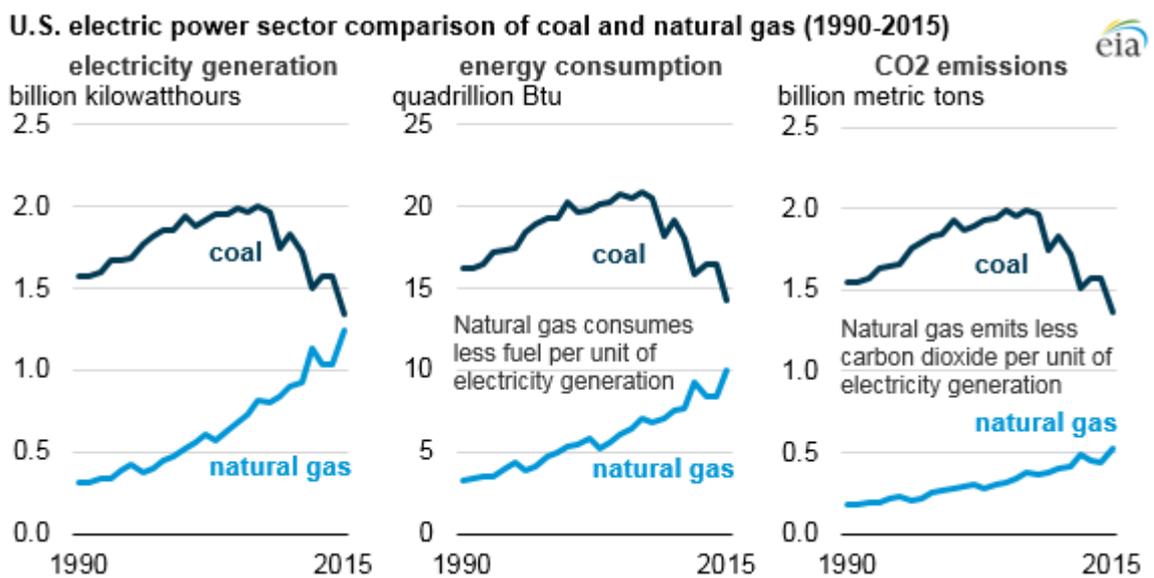


Figura 1. 3 . Migración del uso de carbón hacia el uso de gas natural en EEUU. U.S. Energy Information Administration.

El funcionamiento básico de una central térmica a carbón (Figura 1.4) consiste en la pulverización inicial del mineral para aumentar la superficie de combustión. Luego se inyecta en una caldera con aire caliente para su combustión. El agua que circula a través de los tubos de la caldera se convierte en el vapor que procede a accionar los álabes de la turbina cuyo eje se mueve solidariamente con el rotor del generador eléctrico. La energía eléctrica generada se transforma a alta tensión para ser distribuida. El vapor vuelve en el condensador a su estado líquido inicial.

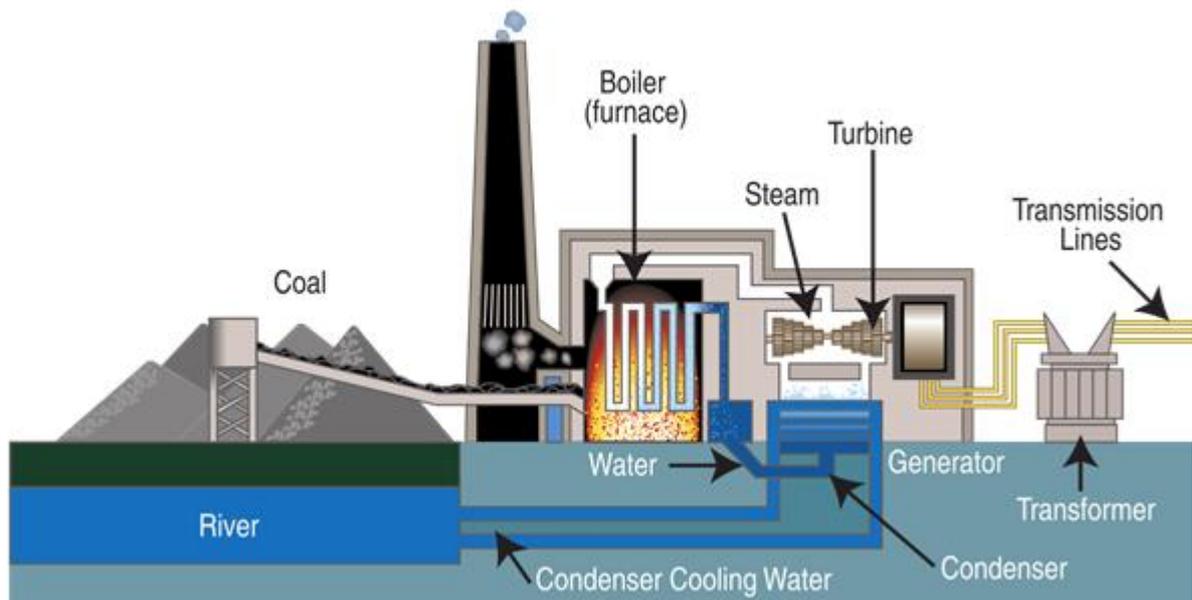


Figura 1. 4 Diagrama típico de una central térmica a carbón. Tennessee Valley Authority.

La mayor desventaja de estas centrales térmicas es la generación de emisiones de gases de efecto invernadero y de gases como  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_x$  que generan lluvias ácidas. Como se observa en la Tabla 1.1, aquellas que utilizan carbón son las de mayor emisión de  $\text{CO}_2$ .

Combustible	Emisión de $\text{CO}_2$ (kg/KWh)
-------------	-----------------------------------

Gas natural	0,44
Fuelóleo	0,71
Biomasa	0,82
Carbón	1,45

Tabla 1. 1 Emisiones de dióxido de carbono asumiendo un rendimiento del 40% de la energía primaria consumida. World Press.

La CTRT generaría 240 MW mediante ciclos de vapor Rankine regenerativos. El aumento de la participación del carbón como fuente de energía en la matriz eléctrica argentina se representa en la *Figura 1.5*.

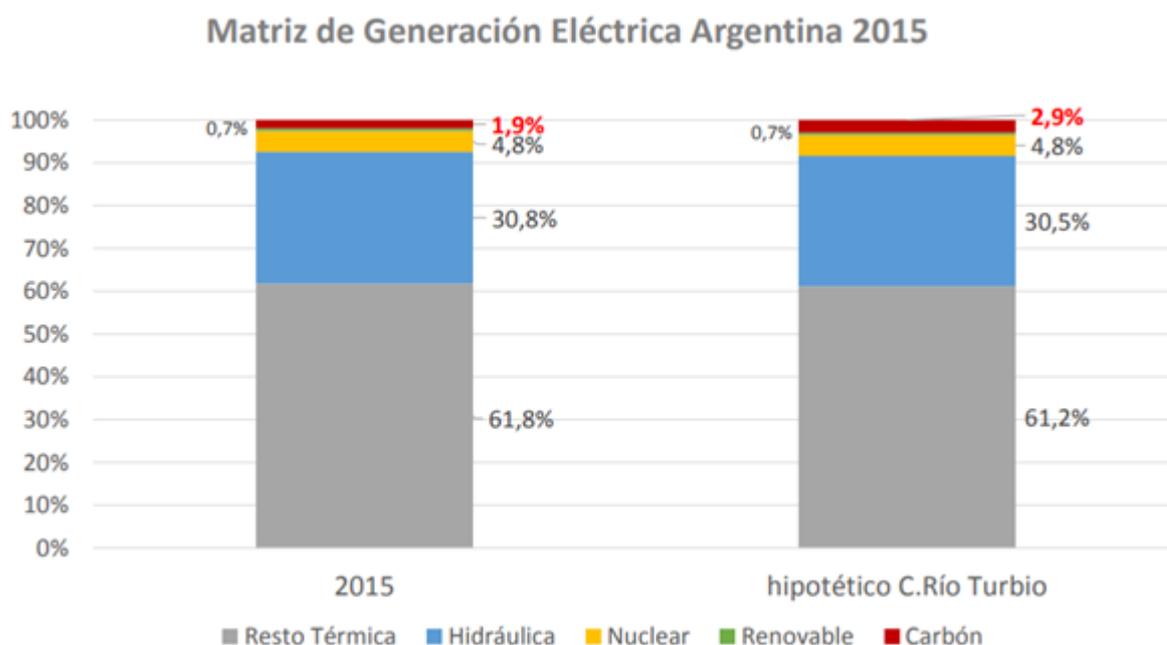


Figura 1. 5 Matriz de generación eléctrica sin y con la CTRT. Ministerio de Energía y Minería.

Cuenta con dos módulos, cada uno compuesto por una caldera de lecho fluido circulante, en la cual un lecho fluido compuesto en su mayoría por cenizas, piedra caliza y el combustible en pedazos, sustenta al carbón mientras se bombea aire hacia arriba, resultando en la formación de remolinos que permiten una mayor transferencia de calor y una mejor mezcla de los sólidos. Con este tipo de calderas se busca una mejor desulfuración y menores

emisiones de NO<sub>x</sub>. Asimismo, con el objetivo de alterar lo menos posible el medioambiente, se utiliza un sistema de enfriamiento por aire, evitando el uso de agua para este propósito y de torres de refrigeración que contaminan visualmente.

La usina va a utilizar el carbón extraído del YCRT, utilizando gas oil únicamente como complemento para su arranque. El carbón obtenido del YCRT se lo clasifica como un “carbón sub-bituminoso clase A (s/A. S. T. M.), vale decir, como un carbón de transición en el límite con las hullas”<sup>2</sup>. Según el Ministerio de Energía y Minería, este carbón tiene un poder calorífico de 5.900 kcal/kg. La Argentina actualmente importa carbón para la central térmica de San Nicolás, para la coquería y para el consumo final en el Sector Industrial con un poder calorífico de 7.200 kcal/kg. La *norma A.S.T.M.* define el límite entre carbones de bajo y alto rango como 6.390 kcal/kg. Si bien el carbón de Río Turbio se clasifica en el rango inferior, es común la utilización del carbón mineral sub-bituminoso para abastecer a centrales térmicas.

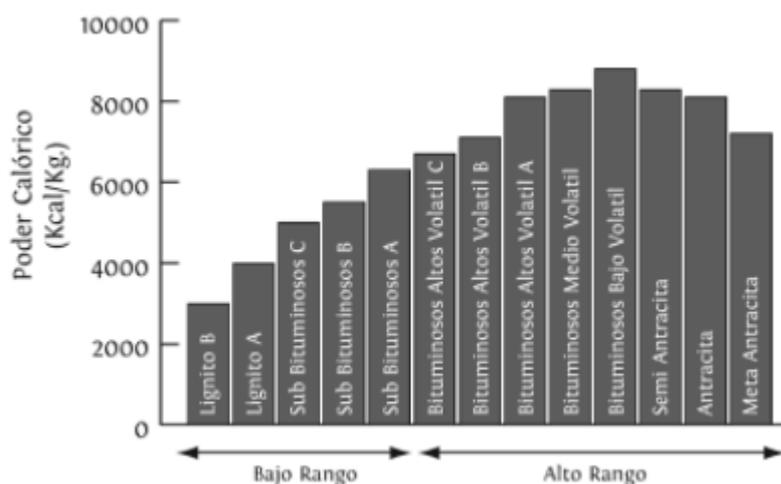


Figura 1. 6 Clasificación de carbones minerales según el rango.

En la *Tabla 1.2*, se puede apreciar el contenido de metales asociado al carbón extraído de la Bocamina 5 del YCRT. Este alto contenido de impurezas implica por un lado una mayor

<sup>2</sup> [1] Federico A. J. Bergmann. “Bituminización y propiedades coquizantes del carbón, con referencia al de la cuenca en Río Turbio”. [En línea] [consulta: 14 de agosto del 2017]. Disponible en: [http://digital.cic.gba.gov.ar/bitstream/handle/11746/1412/11746\\_1412.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://digital.cic.gba.gov.ar/bitstream/handle/11746/1412/11746_1412.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

cantidad de cenizas como residuo de la combustión y, por el otro, un costo adicional en el tratamiento del mismo para cumplir con las especificaciones de la caldera de Foster Wheeler y con límites máximos permisibles de emisiones gaseosas.

Parámetro	Método de análisis	Unidad de medida	Determinación en el carbón mineral (protocolo Q Lab 69363)
Mercurio	ASTM D 3684	mg/kg	< 0,8
Aluminio	ASTM D 5056/ 95	mg/kg	12.200
Calcio	ASTM D 5056/ 95	mg/kg	1.300
Hierro	ASTM D 5056/ 95	mg/kg	1.650
Níquel	ASTM D 5056/ 95	mg/kg	< 5,0
Sodio	ASTM D 5056/ 95	mg/kg	1.970
Vanadio	ASTM D 5056/ 95	mg/kg	< 100
Azufre total	ASTM D 3177-02	% p/p	1,34

*Tabla 1. 2 Contenido de metales asociado al carbón. Estudio de Impacto Ambiental.*

A diferencia de la mayoría de las centrales térmicas, en este caso ingresa carbón bruto a las calderas y no pulverizado. En las calderas de lecho fluidizado utilizadas en las instalaciones, la combustión ocurre de forma controlada de manera tal que el tiempo de residencia del combustible en ignición es mucho mayor. De esta forma, no se generan escorias en el hogar. Por dichos motivos, esta tecnología permite el uso de carbones de menores poderes caloríficos que las calderas convencionales de carbón pulverizado.

En los Anexos I y II, se pueden encontrar más detalles técnicos y el diagrama de flujo del proceso.

### **1.3 Noticias periodísticas**

Las opiniones en torno a la construcción de la CTRT suelen ser de carácter negativo. Entre las mayores críticas se encuentra el abismal retraso y sobreprecio de la central termoeléctrica. Al año 2007, el presupuesto oficial del proyecto era de 1.506 millones de pesos (aproximadamente 500 millones de USD) y un plazo de 42 meses. Sin embargo, el costo finalmente pautado fue de 2.600 millones de pesos. Diez años después, la obra sigue sin terminar y ya excedió su presupuesto. Según un artículo periodístico de Clarín, “El informe de la SIGEN reveló que la obra modificó once veces su monto inicial, ya sea a través de “ampliaciones” o “Variantes” elevando su valor a U\$S 1.631.355.105 cuando fue adjudicada por U\$S 857.341.128: los adicionales de la obra incrementaron el 90,28 % del contrato

original.”<sup>3</sup>. Este presupuesto excluye los costos del acondicionamiento del yacimiento y la conexión de la central al Sistema Interconectado Nacional.

Asimismo, se critica que el gobierno de los Kirchner había anunciado que el costo de la obra iba a ser cubierto en parte “con la venta del carbón de Río Turbio que no sea utilizado en la usina”<sup>4</sup> y, a pesar de los 1.500 millones de dólares invertidos entre los años 2009 y 2014 para mejorar las condiciones de la mina, de esta sólo se “logra extraer alrededor de un décimo de lo necesario por año”<sup>5</sup> para abastecer a la CTRT.

Por último, se critica la decisión de invertir en esta construcción en vez de en fuentes de energía renovables. Según Clarín, “la huella ecológica del país (la suma de gases de efecto invernadero de todas las actividades económicas) subirá 6,2 por ciento.”<sup>6</sup> El estudio del impacto ambiental de la CTRT identifica las siguientes causas de impacto ambiental:

- “manejo del carbón (acopio),
- el funcionamiento de la caldera (por la generación de gases y material particulado cuya composición puede resultar contaminante),
- la generación de residuos de combustión (cenizas y escorias) en grandes cantidades (se estima que los residuos sólidos de la combustión pueden llegar a un 40% del total del consumo de carbón más el consumo de cal),
- la generación de otros residuos industriales y
- eventos puntuales vinculados al arranque, mantenimiento y accidentes.”<sup>7</sup>

---

<sup>3</sup> Lucía Salinas. Clarín. “Usina de carbón de Río Turbio: obra parada y pelea multimillonaria”. [En línea] [consulta: 28 de julio del 2017]. Disponible en: [https://www.clarin.com/politica/usina-carbon-rio-turbio-obra-parada-pelea-multimillonaria\\_0\\_ry5OtoAU1.h](https://www.clarin.com/politica/usina-carbon-rio-turbio-obra-parada-pelea-multimillonaria_0_ry5OtoAU1.h)

<sup>4</sup> Casa Rosada. “Construirán una central termoeléctrica en Río Trubio”. [En línea] [consulta: 15 de agosto del 2017]. Disponible en: <http://www.casarosada.gob.ar/informacion/archivo/16487>

<sup>5</sup> Diego Cabot. La Nación. “El Gobierno decidió completar la central térmica de Río Turbio”. [En línea] [consulta: 28 de julio del 2017]. Disponible en: <http://www.lanacion.com.ar/1962294-el-gobierno-decidio-completar-la-central-termica-de-rio-turbio>

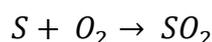
<sup>6</sup> Marina Aizen. Clarín. “Central a carbón: a contramano del mundo”. [En línea] [consulta: 28 de julio del 2017]. Disponible en: [https://www.clarin.com/cambio-climatico/cambio\\_climatico-cumbre\\_de\\_paris-co2-carbon-energia\\_0\\_SJX9PQYwQl.html](https://www.clarin.com/cambio-climatico/cambio_climatico-cumbre_de_paris-co2-carbon-energia_0_SJX9PQYwQl.html)

<sup>7</sup> UTE, EIA y Serman y Asociados S.A.. “Estudio de Impacto Ambiental Central Termoeléctrica a Carbón Río Turbio, Santa Cruz”. Informe Final, Capítulo 2: Resumen Ejecutivo. Pág. 20. [En línea] [consulta: 25 de julio del 2017]. Disponible en: [http://www.santacruz.gov.ar/ambiente/audiencia/CD%20EIA%20CTRT/Cap%2002%20%20Resumen%20Ejecutivo/EIA%20CTRT-Cap02%20Resumen%20Ejecutivo\\_Rev2.pdf](http://www.santacruz.gov.ar/ambiente/audiencia/CD%20EIA%20CTRT/Cap%2002%20%20Resumen%20Ejecutivo/EIA%20CTRT-Cap02%20Resumen%20Ejecutivo_Rev2.pdf)

## Capítulo 2: Tratamiento de azufre

### 2.1 Características generales

El dióxido de azufre ( $SO_2$ ) es un gas incoloro e irritante que resulta nocivo tanto para los humanos como para el ecosistema. El mismo se reconoce mediante su olor fuerte y penetrante que se empieza a percibir a partir de las 0,3 ppm – 1,4 ppm; y se distingue perfectamente a partir de las 3 ppm. Se genera en la naturaleza debido a la actividad volcánica, aunque durante los últimos años su principal fuente de generación ha sido mediante el proceso de combustión en industrias. El azufre contenido en los combustibles fósiles se oxida mediante:

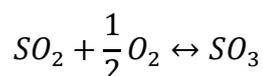


de modo que se genera el dióxido de azufre.

Dicho gas se ha considerado altamente reactivo debido a su alta solubilidad en agua (11,3 gr en 100  $cm^3$  a 20 °C) lo que genera ácido sulfúrico, el principal componente de la lluvia ácida. Debido a esto se ha definido una cantidad máxima de emisión que corresponde, en Argentina, a 1.700 miligramos por metro cúbico normal si se utiliza carbón (u otro combustible sólido) o fueloil (u otro combustible líquido) en una central de turbo vapor. En caso de que la central se rija por el límite europeo de emisiones de  $SO_2$ , el máximo permitido corresponde a 200 miligramos por metro cúbico normal. Además, deben llevarse a cabo mediciones mensuales de concentración de dióxido de azufre en caso de que la central cuente con equipos menores de 50 MW de potencia unitaria. En caso de que la potencia unitaria de los equipos supere los 50 MW, las mediciones de concentración deben realizarse en forma continua con detectores automáticos.

### 2.2 Generación en caldera

El azufre contenido en el combustible fósil se oxida generando dióxido de azufre durante el proceso de combustión dentro de la caldera. Este dióxido vuelve a oxidarse dentro de la misma para generar trióxido de azufre mediante la siguiente ecuación de equilibrio termodinámico:



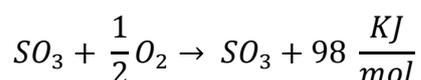
Sin embargo, pese a las fuerzas termodinámicas que promueven la generación de trióxido de azufre, se favorece la generación de dióxido en la caldera. Esto es así ya que a altas temperaturas se produce una mayor cantidad de  $SO_2$ ; mientras que a bajas temperaturas se promueve la generación de  $SO_3$ . Debido a esto es que el dióxido de azufre es el principal

elemento que se constituye en los procesos de combustión dentro de la caldera. De hecho, se estima que la relación de trióxido respecto del dióxido ronda valores entre 1:40 hasta 1:80; lo que corresponde a valores de  $SO_3$  oscilantes entre el 1% - 5% de la concentración de  $SO_2$ .

En caso de no tratarse las emisiones de gases a la salida de la caldera, se favorece la generación de trióxido de azufre. Existen varios factores que determinan la velocidad de dicha reacción, como por ejemplo la temperatura, la humedad y la intensidad de luz, entre otros. Dicho proceso debería resultar lento, aunque como la atmósfera corresponde a un sistema dinámico en el cual se interrelacionan gran cantidad de compuestos, la reacción se acelera hasta velocidades de formación del trióxido de 4% por hora. Esto sucede ya que existen catalizadores; oxidantes como el  $OH$ ,  $HO_2$  y el  $CH_3O_2$ ; y sales metálicas que favorecen la oxidación del dióxido en trióxido; lo que además favorece a la generación de ácido sulfúrico.

### 2.3 Consecuencias de no tratarlo

Al no tratar el dióxido de azufre, este es liberado a la atmósfera generando consecuencias graves para el ser humano y la naturaleza. Uno de los principales efectos del mismo es la conocida lluvia ácida, la cual se produce cuando dicho gas reacciona con el oxígeno del aire y el agua formando ácido sulfúrico mediante las siguientes reacciones:



Teniendo en cuenta que un pH menor a 7 se considera ácido y sabiendo que el pH del agua de lluvia es aproximadamente 5,7, al generarse ácido sulfúrico el pH es modificado llegando a valores de hasta 4,2. Las consecuencias más notorias de dicho fenómeno son los altos niveles de polución que se observan en áreas urbanas cercanas a la fuente de liberación de dióxido; como así también el daño a los bosques y la vida animal, junto con la acidificación de las aguas superficiales y el suelo. La intensidad de formación y el período de permanencia del compuesto depende de la cantidad de impurezas catalíticas presentes en el aire y de las condiciones meteorológicas. En general este tiempo de permanencia varía entre los 3 a 5 días por lo que el ácido puede ser transportado grandes distancias.

Por otro lado, la liberación de  $SO_2$  a la atmósfera contamina el aire afectando principalmente los pulmones y el sistema respiratorio humano. Genera dificultades para respirar, inflamación de las vías respiratorias, edema pulmonar, ataques de tos, asma y bronquitis crónica. Sumado a esto, trae efectos negativos en otras partes del cuerpo humano, como por ejemplo en vías gastrointestinales alterando el metabolismo de las proteínas. Además, puede generar inconvenientes en los ojos como irritación y queratitis. En mayores cantidades y al estar expuesto al mismo por un mayor período de tiempo, puede provocar

alteraciones psíquicas, un colapso circulatorio, interferencias en el sistema inmunológico y hasta un paro cardíaco. Se debe tener en cuenta que todos estos efectos se agravan cuando se trata de ancianos o niños que se enfrentan a emisiones del dióxido de azufre.

Respecto de la biodiversidad, genera degradación de la clorofila, mutaciones en microorganismos, reducción de la fotosíntesis y necrosis en las plantas. Estos efectos provocan la imposibilidad de crecimiento de las mismas, lo que resulta en la muerte de varias especies presentes en el territorio.

Sin embargo, aun existiendo graves efectos tanto para los seres humanos como para el resto de las especies presentes en la naturaleza, el grado de resistencia a la cantidad de dióxido de azufre presente en el aire es distinto. Por ejemplo, valores de  $300 \frac{\mu g}{m^3}$  implican un riesgo para el ser humano; mientras que valores de  $200 \frac{\mu g}{m^3}$  implican graves riesgos para las plantas. Debido a esto, los daños en la vegetación, la contaminación de los suelos y las aguas son las principales consecuencias de las emisiones de dióxido de azufre a la atmósfera.

Además de la generación de ácido sulfúrico, las emisiones de dióxido de azufre pueden llegar a formar sulfatos que incrementan los niveles de PM10 y PM2,5. Estas partículas traen graves consecuencias a la salud humana, en su mayoría relacionadas con inconvenientes respiratorios debido a su pequeño tamaño.

Luego de haber nombrado en detalle los efectos que generan las emisiones de este gas, cabe mencionar que, en pequeñas cantidades, el dióxido de azufre no es dañino. El mismo se utiliza como conservador de fruta y hasta es producido por el cuerpo humano. Debido a esto es que el cuerpo cuenta con enzimas que son capaces de descomponer dichos químicos, pero al enfrentarse a grandes cantidades del gas, la situación se torna dañina por la falta de capacidad de descomposición.

## **2.4 Métodos de tratamiento**

El tratamiento y eliminación del dióxido de azufre es un tema que se ha estudiado y que se continúa estudiando hasta el día de hoy. Es por esto que existen gran cantidad de tecnologías y métodos que son útiles para poder mitigar el riesgo, reduciendo las emisiones finales de dicho gas. Estos procesos de tratamiento varían según la etapa en la cual se aplican y los compuestos que se utilizan para realizarlos. Se pueden distinguir tres etapas en las cuales se pueden aplicar: previo a la combustión, durante la combustión o luego de la combustión. A continuación, se describen brevemente los métodos aplicados.

### **2.4.1 Precombustión**

Esta primera tecnología cuenta tanto con operaciones físicas como con procesos químicos para la eliminación del azufre del combustible.

El primero, consta de un lavado en el cual se logran eliminar los sulfatos, siendo un proceso simple, pero de poca eficiencia (hasta un 30% de eliminación de azufre).

En relación a los procesos químicos, refieren a la eliminación de los compuestos orgánicos de azufre contenidos en el combustible. El principal proceso es conocido como hidrotratamiento (HDT) o hidrodesulfuración (HDS) que consta en tener el combustible líquido a cierta presión (entre 10 y 11 bar) y temperatura (entre 300 y 400 °C), y mezclarlo con hidrógeno en presencia de catalizadores sólidos bimetálicos. De este modo se logra formar sulfuro de hidrógeno, que luego puede ser eliminado del proceso, purificado y comercializado. La principal desventaja de dicho proceso es el alto consumo de hidrógeno necesario para eliminar el azufre.

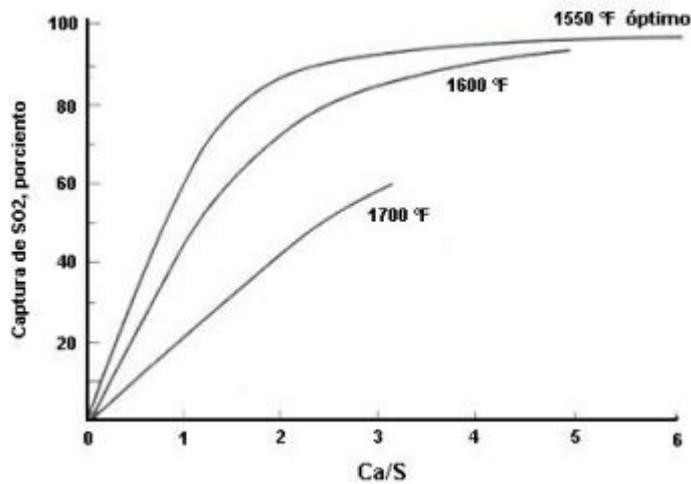
#### **2.4.2 Durante la combustión**

Estas tecnologías de eliminación de azufre están totalmente relacionadas con lo que sucede dentro de las calderas durante el proceso de combustión. Es fundamental la quema del combustible en un lecho fluidificado y la incorporación de compuestos que reaccionen con el azufre para dar sulfatos estables y lograr el objetivo buscado. Es una tecnología que se utiliza desde hace ya algunas décadas debido a que es simple y se obtienen grandes eficiencias en el proceso. Su principal ventaja es que evita el tratamiento posterior de los gases de combustión para separar el dióxido de azufre. Además, cuando el combustible fósil es carbón, la tecnología funciona sin importar el tipo de carbón que sea, es decir, la cantidad de azufre que contenga.

Los principales compuestos utilizados para esta tecnología son el carbonato de calcio (o caliza) y la dolomita debido a sus composiciones que presentan calcio. Frente al oxígeno y al calor producido por la combustión, el calcio reacciona formando óxido de calcio ( $CaO$ ) que luego se combinará con el dióxido de azufre para formar sulfato de calcio ( $CaSO_4$ ). La primera reacción se conoce como estado de calcinación y en el mismo la caliza se puede pulverizar fácilmente ya que es físicamente débil. Cuando la misma reacciona y se combina para formar sulfato (proceso conocido como sulfatación), se fortalece y se reduce el desgaste. Para asegurar el proceso de sulfatación y reducir dicho desgaste, se necesita un exceso de caliza.

La cantidad de caliza que reaccionará dentro de la caldera depende de varios factores o parámetros. Principalmente se debe controlar la relación molar Ca-S ya que estima cual es la cantidad de caliza que se debe introducir al lecho. Por otro lado, la temperatura presente en el lecho influye en el proceso de sulfatación ya que las reacciones del mismo dependen de la temperatura. Dicho proceso se genera entre los 843 – 954 °C. A temperaturas superiores se perjudica la fluidización por la aglomeración de las cenizas, aumentan las emisiones de NOx y se descompone el sulfato de calcio, generando nuevamente dióxido de azufre. Por el contrario, a temperaturas menores a dicho rango, la combustión no es eficiente y debe

introducirse una mayor cantidad de caliza para poder lograr el rendimiento óptimo de eliminación de azufre, que ronda el 90%. Esto mismo se muestra en la *Figura 2.1*, donde se grafica tiene el porcentaje de dióxido de azufre capturado, con respecto a la fracción molar Ca-S, a distintas temperaturas.



*Figura 2. 1 Efecto de la relación Calcio-Azufre sobre la captura de dióxido de azufre.*

Además, tanto la altura del lecho como la velocidad del fluido impactan en el proceso de control del dióxido de azufre; como así la relación ente ellos. El contar con un lecho más alto, en el cual la velocidad del fluido no sea demasiado elevada, admite que el gas permanezca dentro de la caldera una mayor cantidad de tiempo, aumentando el contacto entre los componentes y mejorando la eficiencia de la reacción. Esto mismo se muestra en la *Figura 2.2*, donde la curva A representa un proceso en el cual la velocidad del lecho es baja, aproximadamente  $1,2 \frac{m}{s}$ ; y la curva B representa un proceso con altas velocidades.

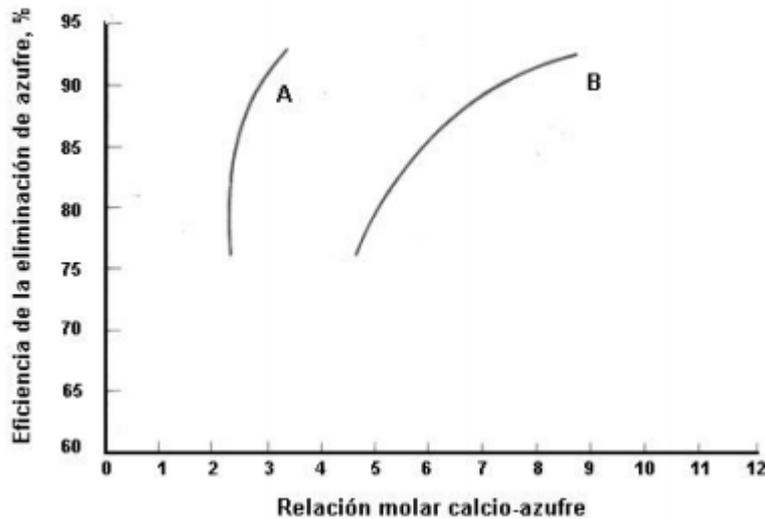


Figura 2. 2 Eficiencia en la eliminación de  $SO_2$  respecto de la relación molar Ca-S.

### 2.4.3 Postcombustión

A los procesos de eliminación de dióxido de azufre luego de la combustión se los conoce como tecnologías de desulfuración de gases (FDG por sus siglas en inglés) y la mayoría se basan en reacciones ácido-base. Existen gran cantidad de estas tecnologías tanto en medios secos como en húmedos, y aquellas en las cuales se puede recuperar el absorbente y otras en las que esto no es posible. La utilización de las mismas, en general, se ve limitada tanto por la disponibilidad de materiales necesarios como por el espacio físico con el que se cuenta.

Dentro de los procesos húmedos con regeneración del absorbente se pueden mencionar el de desulfuración con ácido sulfhídrico, conocido como proceso Claus Húmedo; el proceso de Wellman-Lord; el de desulfuración con carbonato de sodio; y el que utiliza óxido de magnesio. Por el contrario, en aquellos en los que no se recupera el absorbente se utiliza caliza o cal para eliminar el dióxido de azufre; aunque existe el proceso con agua de mar de Bechtel o el proceso Chiyoda.

Los procesos secos con regeneración, en general refieren a aquellos en los cuales se utiliza carbón activado; y aquellos sin regeneración llevan a cabo una inyección de aminas, plasmas no térmicos o hasta bombardeo de electrones.

## Capítulo 3: El mercado de la piedra caliza

La piedra caliza es uno de los insumos clave de la Central Térmica de Río Turbio. Para comprender la complejidad de su logística de abastecimiento, es necesario comprender su mercado. Para ello, se comenzará con un panorama general acerca de la minería en Argentina, enfocando luego en rocas de aplicación y por último la caliza en sí: perspectiva global, producción en Argentina, principales competidores, precios, entre otros.

### 3.1 Minería en Argentina

El sector minero se dedica a explotar o extraer tres grandes grupos de materiales: metalíferos, no metalíferos y rocas de aplicación. “En 2014, según datos de la Secretaría de Minería de la Nación, el 50% del valor de la producción minera (medida a precios de 1992) correspondió a los metales, mientras las rocas de aplicación aportaron el 41% y los minerales no metalíferos el 9%.”<sup>8</sup>

En Argentina, el mercado de la minería metalífera difiere en gran medida del mercado de rocas de aplicación. El primero se caracteriza por estar concentrado en tres productos (oro, plata y cobre), en su mayoría extraídos de 5 yacimientos ubicados en 4 provincias. Allí operan empresas extranjeras especializadas que destinan su producción al mercado externo y tienen un escaso procesamiento local. En cambio, el mercado de rocas de aplicación cuenta con un gran número de productos, y jugadores de diversos tamaños que operan en canteras localizadas a lo largo y ancho del país.

En cuanto a su método de extracción, las rocas de aplicación se obtienen principalmente a partir de la minería de superficie, también llamada “minería a cielo abierto”, que consiste en la perforación y voladura de una cantera, para luego transportar, triturar, moler y separar los minerales de la roca en cuestión. Se pueden clasificar principalmente en tres grandes grupos:

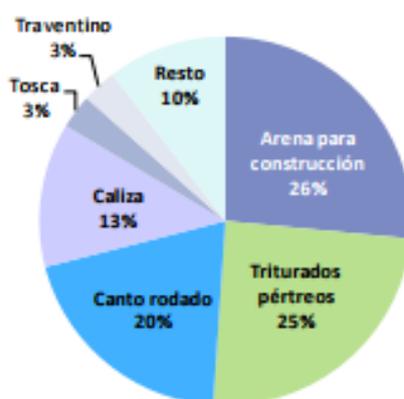
1. Rocas para construcción: áridos, que representan el mayor volumen relativo.
2. Rocas para uso industrial: aquellas que se usan como insumo para procesos industriales.
3. Rocas ornamentales.

---

<sup>8</sup> Cita de “Informe de cadenas de valor: Minería metalífera y rocas de aplicación”, documento del Ministerio de Hacienda y Finanzas [en línea] [consulta 14 de agosto de 2017]. Disponible en [http://www.economia.gob.ar/peconomica/docs/SSPE\\_mineria\\_metalifera\\_rocas.pdf](http://www.economia.gob.ar/peconomica/docs/SSPE_mineria_metalifera_rocas.pdf)

Las rocas de mayor relevancia para Argentina son la arena para construcción, triturados pétreos, canto rodado, y tosca - rocas para construcción - que representan el 80% del volumen y un 74% en valor de producción, y la caliza, que constituye el 16% del volumen de producción y un 13% en valor. En la *Figura 3.1* se puede observar la participación de cada tipo de roca en el valor de producción.

**Composición de las Rocas de Aplicación por Producto**  
Año 2014, en % según valor de la producción



*Figura 3. 1 Composición de Rocas de Aplicación por producto, según su participación en el valor de la producción de 2014. Ministerio de Hacienda y Finanzas.*

Existe una mayor presencia de este tipo de minería en provincias como Buenos Aires, Córdoba, Mendoza y San Juan. Según lo analizado por el Consejo Federal de Inversiones en 2010, el 62% del valor agregado en rocas de aplicación, proviene de la región Centro. En el Anexo III se puede hallar el detalle de participación por región.

En este mercado, a diferencia de la minería metalífera, la producción se destina en su mayoría al mercado interno, ya que los productos obtenidos tienen un valor por tonelada mucho menor, y los elevados costos logísticos hacen que su exportación no sea tan rentable como la comercialización en el mercado interno. Este panorama no se da únicamente en Argentina, sino que ocurre a nivel mundial.

### **3.2 La piedra caliza**

La piedra caliza es una roca sedimentaria compuesta principalmente por carbonato de calcio. Se puede utilizar como piedra triturada para químicos o agregados, de forma masiva para piedras ornamentales, calcinada para producción de distintos tipos de cales y de cemento,

molida fina para fabricación de papel, caucho y plásticos, o molida gruesa para agricultura, nutrición y otros. En la *Figura 3.2* se presentan con mayor detalle sus posibles usos.

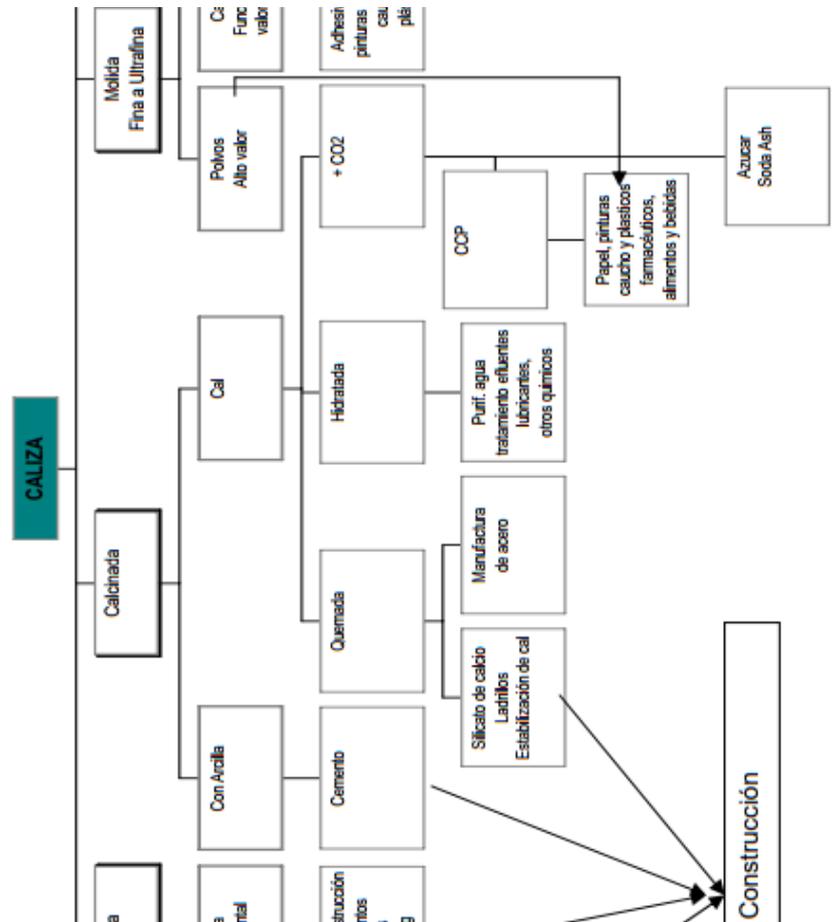


Figura 3. 2 Diagrama de usos de la piedra caliza. Instituto de Tecnología Minera, 2000.

### 3.2.1 Perspectiva global: caliza y cal

Un estudio realizado por Global Industry Analysts proyecta que el mercado global de la piedra caliza excederá los 5,5 billones de toneladas para el 2022. El principal *driver* de este crecimiento será el incremento proyectado en la demanda de cemento; dado que la piedra caliza es una de sus principales materias primas, esto impactará directamente en las cifras de explotación de dicha roca.

Actualmente, China representa uno de los mercados más grandes del mundo de piedra caliza, ya que el crecimiento sostenido en su PBI llevó a una urbanización masiva y rápida expansión del sector manufacturero, lo que fomentó una inversión importante en el sector de la construcción. A su vez, otros jugadores relevantes en el mercado son Japón, España e Italia.

Otro de los mercados estrechamente ligados a la piedra caliza es el mercado de la cal, por lo que a menudo se los suele analizar como un único mercado. Un estudio de la consultora McKinsey & Company abarcó los principales usos de estos dos compuestos a nivel global, detallando la participación de cada uno de ellos en la producción total.

1. **Metalúrgica** (32%): utilizados en la cadena de valor del hierro y el acero, como flujo en el alto horno, como agente desulfurante para metales calientes, o como aditivo para la escoria.
2. **Construcción** (22%): utilizados para la estabilización del suelo, como yeso en edificios, como aditivo para el asfalto en la construcción de rutas.
3. **Aplicaciones ambientales** (14%): utilizados para desulfuración de gases de combustión en usinas de generación eléctrica, o para el tratamiento de aguas.
4. **Minería** (12%): aplicación en procesamiento de minerales como reactivo durante la recuperación y procesamiento de alúmina, metales básicos y metales preciosos.
5. **Pulpado** y fabricación de **papel** (6%): utilizados para reciclar hidróxido de sodio durante la producción de pulpa, y como agente blanqueador en la producción de papel.
6. **Industrial y química** (5%): utilizados en diversos segmentos; por ejemplo, fertilizantes, vidrio, carburo de calcio, PCC, y otros productos químicos.
7. **Otras aplicaciones** (9%): incluye aplicaciones en agricultura, productos alimenticios, petróleo y gas, fibra de vidrio y aleaciones ferrosas.

Desde el punto de vista del consumo, United States Geological Survey (USGS) revela que el mayor consumidor de cal es China, responsable por más del 60% del volumen demandado, seguido por Estados Unidos, que representa alrededor del 4,5% de la demanda. A su vez, se evidencia que China tuvo un crecimiento más acelerado que otros países, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) entre 2002 y 2012 del 6%, mientras que en el caso de EEUU fue del 1% y para el resto del mundo 3%.

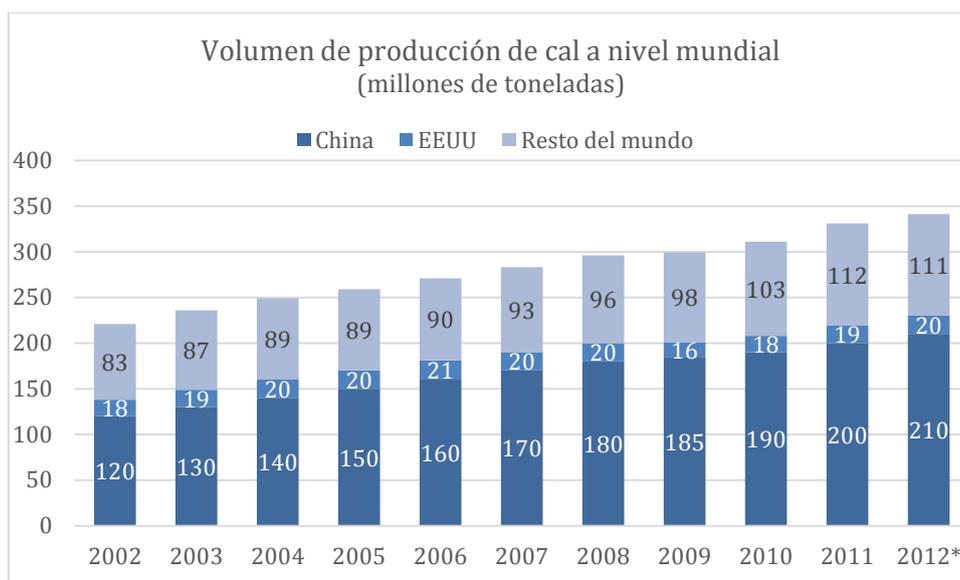


Figura 3. 3 Volumen de producción de cal. USGS.

En cuanto a la producción mundial de cal, un análisis de USGS de 2015 muestra que la producción total global en 2015 fue de alrededor de 350 millones de toneladas. China y Estados Unidos también lideraron la producción en dicho año, seguidos por India, Rusia y Brasil.

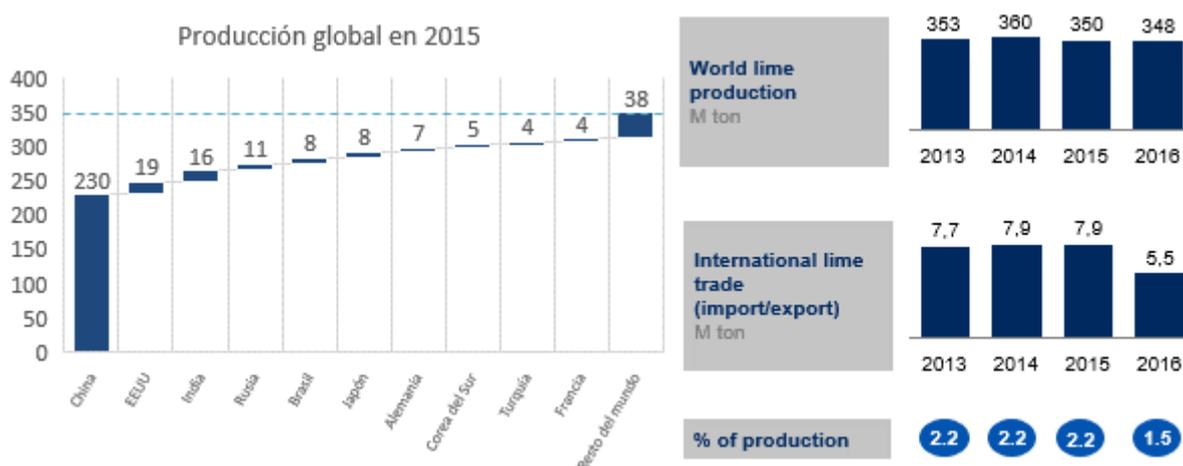


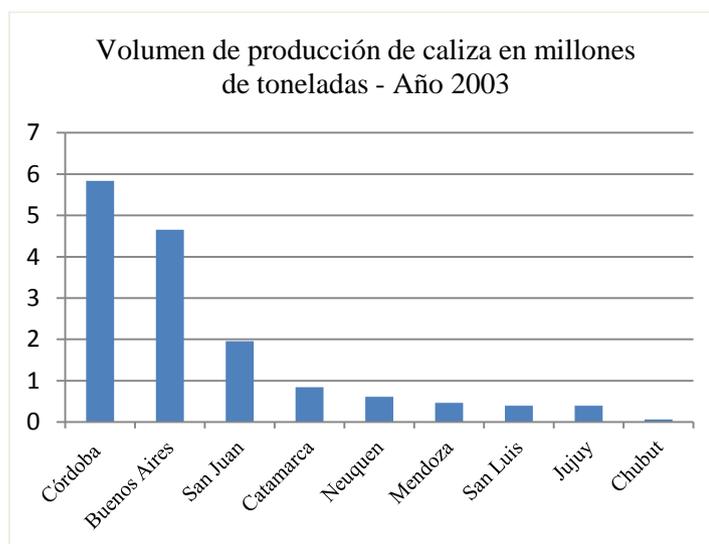
Figura 3. 4 A la derecha, Producción global de 2015 por país. USGS. A la derecha, evolución de la producción mundial y el comercio internacional. McKinsey & Company.

Estas cifras también evidencian que los flujos internacionales de este tipo de rocas son poco significativos, debido al pobre valor económico de las mismas. Según un análisis realizado por la consultora McKinsey & Company, sólo el 2% de la producción mundial de esta roca se destina al comercio internacional.

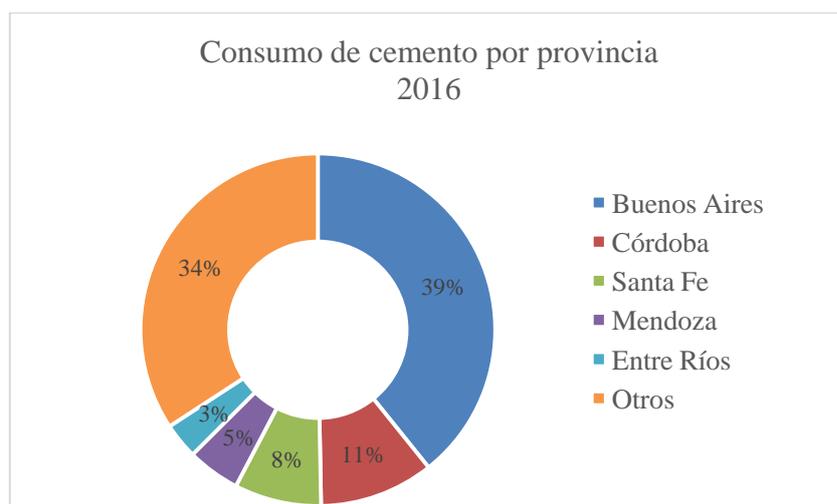
### 3.2.2 Piedra caliza en Argentina

Tal como se mencionó anteriormente, según datos de 2014 de la Secretaría de Minería de la Nación y de la Encuesta Nacional Minera de 2010, la piedra caliza representa el 13% del valor de las rocas de aplicación, y un 16% en volumen. Sin embargo, sólo el 4% de la caliza se comercializa como tal; el 96% restante se destina a la producción de cal y cemento.

La caliza se puede encontrar en diversos lugares del país, desde la región Noroeste, Cuyo, Centro, algunos lugares de la Patagonia y provincia de Buenos Aires. Las provincias que lideran la producción son Córdoba y Buenos Aires (*Figura 3.5*). No es casualidad que estas dos provincias sean aquellas que tienen mayor explotación de dicho recurso, ya que, además de contar con los recursos naturales para ello, se trata de las ciudades más desarrolladas en cuanto a infraestructura. Los datos publicados por la Asociación de Fabricantes de Cemento Portland (AFCP) revelan que el 40,6% del consumo de cemento del país proviene de Buenos Aires, y el 10,8% de la provincia de Córdoba, siendo los dos principales centros de consumo (*Figura 3.6*).



*Figura 3. 5 Volumen de producción de caliza en millones de toneladas. INDEC.*

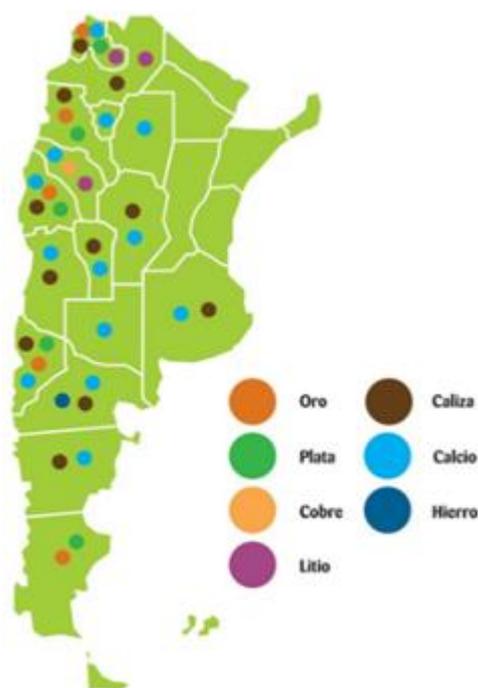


*Figura 3. 6 Consumo de cemento por provincia, año 2016. AFCP.*

Según el Informe de Cadenas de Valor realizado por el Ministerio de Energía y Minería en 2016, “dado el bajo valor unitario del cemento, se trata de una industria de base minera que requiere, no sólo una localización próxima a los mercados de consumo, sino a la cantera que le provee la materia prima”<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Cita de “Informe de cadenas de valor: Minería metálfera y rocas de aplicación”, documento del Ministerio de Hacienda y Finanzas [en línea] [consulta 14 de agosto de 2017]. Disponible en [http://www.economia.gob.ar/peconomica/docs/SSPE\\_mineria\\_metalfera\\_rocas.pdf](http://www.economia.gob.ar/peconomica/docs/SSPE_mineria_metalfera_rocas.pdf)



*Figura 3. 7 Mapa de explotación minera en Argentina. CAEM, Cámara Argentina de Empresarios Mineros.*

A lo largo y ancho del país, conviven empresas que se dedican exclusivamente a la extracción, con otras que se focalizan en el cemento o la cal, pero que tienen un modelo de integración vertical. Por ejemplo, Loma Negra, Holcim Argentina, Cementos Avellaneda y PCR (Petroquímica Comodoro Rivadavia) son los principales jugadores en el mercado del cemento, que poseen sus propias canteras para explotación de caliza. Es similar el caso de las compañías caleras: CEFAS, Compañía Minera del Pacífico, FGH y Sibelco, quienes lideran este mercado, también a partir de un modelo de integración vertical: extraen caliza con el fin de transformarla en cal para su venta. Estas empresas exportan el excedente de su producción a Chile, y en menor medida a Uruguay.

En cuanto al tamaño del mercado de la caliza, el Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas compartió la evolución de la producción de la piedra caliza entre 2004 y 2014. Utilizando una regresión lineal para dicha curva, se estimó que la producción de 2017 debería estar alrededor de 25.4 millones de toneladas (crecimiento aproximado del 9% anual). Esta curva se puede visualizar en la *Figura 3.8*.

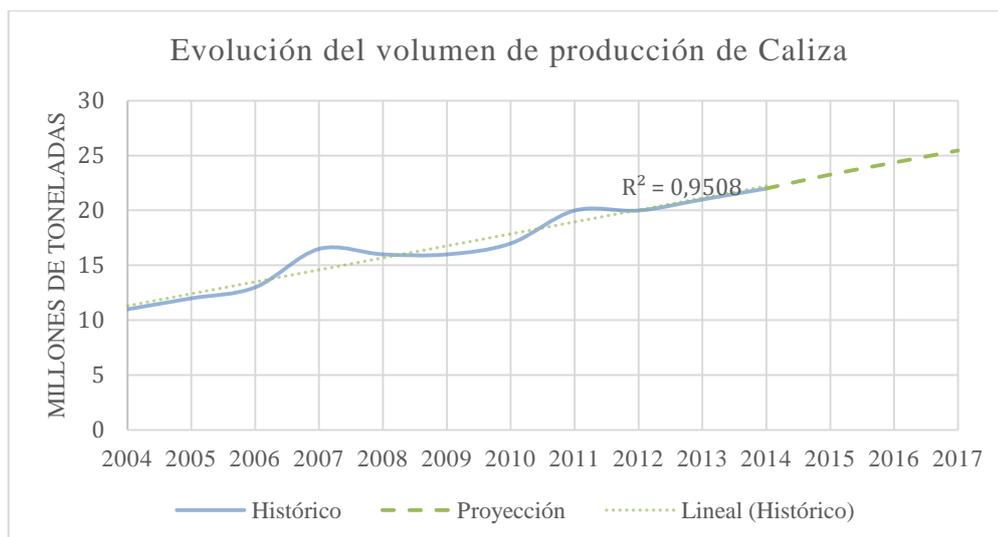


Figura 3. 8 Ministerio de Hacienda y Finanzas públicas. Informe de cadenas de valor: Minería Metalífera y Rocas de Aplicación. Proyección lineal de elaboración propia.

El precio de la caliza varía principalmente según el uso que se le dará a la misma. Esto es determinante de su calidad, granulometría y el método de almacenamiento para su transporte. A mayor pureza y menor el tamaño de sus partículas, mayor es su precio. De la misma manera, varía el precio según se lo entregue a granel o en Big Bag, dado que se necesita una operación adicional para poder envasar la piedra en Big Bag. Si bien más adelante se detallará el precio de la caliza para cada proveedor con sus especificaciones, se estima un precio aproximado entre 10 y 20 dólares la tonelada (EXW) con las especificaciones necesarias para la Central Térmica de Río Turbio.

En resumen, la piedra caliza es una roca de aplicación abundante en Argentina, explotado por PyMEs y empresas caleras o cementeras integradas verticalmente, que obtienen su propia producción con el fin de disminuir los elevados costos de transporte de la piedra. Se abastece en primer lugar al mercado interno, y luego los excedentes son exportados a Chile o Uruguay.



## **Capítulo 4: Introducción a alternativas logísticas**

En este capítulo se desarrollan los conceptos generales sobre los cuales luego se fundamentan las alternativas logísticas para la operación de la CTRT. En primer lugar, se tratan las principales cuestiones a tener en cuenta para el diseño de una logística de abastecimiento. Luego, se ahonda en las particularidades de la logística argentina y por último en los requisitos y características del abastecimiento de la piedra caliza.

### **4.1 Logística de Abastecimiento**

La función del área de logística de abastecimiento de una planta industrial es la disponibilidad de los insumos para la producción en tiempo y forma al menor costo posible. Las actividades asociadas con este proceso exigen la evaluación de distintos proveedores y la elección de los medios para su transporte. Esta área también debe definir cuál es el nivel de servicio que se desea alcanzar, y gestionar los inventarios para hacer frente a la variabilidad en los tiempos de entrega de los proveedores y los transportistas.

El área de abastecimiento juega un rol crítico en la definición de la rentabilidad de una empresa. En primer lugar, “componentes y suministros adquiridos por lo general representan 40 a 60% del valor de ventas de un producto final”<sup>10</sup>, por lo que una disminución en los costos de los insumos implica una mejora significativa de las utilidades. Asimismo, menores costos de compras se traducen en la disminución de la base de activos y una mejor rentabilidad sobre los mismos.

#### **4.1.1 Gestión de inventarios**

El manejo de inventarios implica equilibrar la disponibilidad de los recursos necesarios para la producción, evitando las consecuencias y costos de su agotamiento, con los costos de contar con ese nivel de servicio. Se recuerda que el nivel de servicio es la probabilidad esperada de tener existencias.

Se definen tres tipos de inventarios. En primer lugar, el inventario de ciclo es aquel que se va consumiendo para satisfacer la demanda. Se mantiene el mismo por el motivo de aprovechar las economías de escala al comprar por lotes que exceden las necesidades inmediatas de la empresa. En segundo lugar, el inventario de seguridad, frecuentemente referido como stock de seguridad, es aquel que se mantiene para hacer frente a la variabilidad en la demanda, la calidad y el tiempo de entrega. Por último, el inventario en tránsito es aquel que se pidió y ya es propiedad de la empresa pero que todavía no se recibió.

---

<sup>10</sup> Ballou, R. (2004) *Logística - Administración de la Cadena de Suministro*. Quinta edición Pearson/Prentice Hall, México

Existen varios modelos para determinar la política de inventarios de una empresa. El objetivo de los mismos es determinar la cantidad óptima por pedido de tal manera que se minimicen los costos de la operación. Cuando nos introducimos en el tema de la gestión de inventarios vemos que hay una serie de costos tales como:

- Costos de mantener inventario: estos costos son directamente proporcionales a la cantidad de unidades en inventario durante un período específico. En primer lugar, se compone del costo del capital que representa el costo de oportunidad de los fondos que se podrían reinvertir en el negocio por la venta de este inventario. Es apropiado estimar este costo como la WACC de la empresa antes de impuestos. A este componente se le adiciona los costos asociados al riesgo de mantener ese material, como el costo de obsolescencia, por daños o pérdidas. Los costos operativos y del espacio de almacenamiento suelen ser escalonados ya que solo se sumarán cuando impliquen un requerimiento adicional de personal, maquinaria o espacio. Por último, se suma una serie de costos varios como seguros, impuestos y los costos variables por su transporte desde el proveedor.

- Costos de ordenar: son aquellos que se generan al realizar el pedido de compra, independientes de la cantidad ordenada. Es la suma de los costos de la gestión de compra, de la recepción de los materiales y los costos fijos asociados a su transporte.

- Costo del material: es el costo por unidad del insumo que se adquiere. Puede ser independiente de la cantidad comprada o se pueden negociar descuentos por volumen.

- Costo por falta de existencias: se incurre en estos cuando se requiere una unidad de inventario y no está disponible para su uso. Es el beneficio que se habría obtenido al producir y vender la unidad que requería de ese insumo.

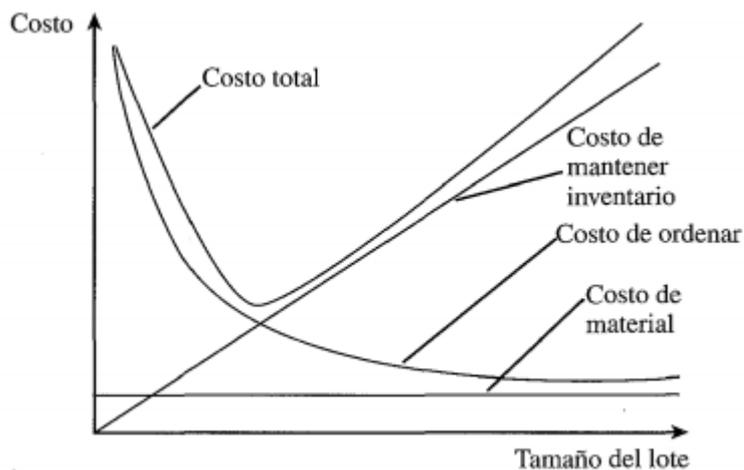


Figura 4. 1 Costos de la gestión de inventarios.

En la *Figura 4.1* se evidencia el costo total de la gestión de inventario y el punto óptimo en el cual se minimizan.

En el capítulo 9 se desarrolla un modelo de stocks para la CTRT.

#### 4.1.1 Elección de proveedores

A lo largo de los años hubo una evolución del concepto de la relación con los proveedores. El enfoque tradicional del área de compras era constantemente estar buscando, de forma manual y poco desarrollada, proveedores alternativos que ofrecieran la materia prima al menor costo posible. Había una desconfianza mutua entre las partes y no se compartía información.

Actualmente, se habla de acompañar el ciclo de vida del proveedor (*Figura 4.2*). Este concepto se basa en buscar el desarrollo del proveedor, incentivando e incluso financiando iniciativas para disminuir sus costos, aumentar la calidad del insumo y de los servicios provistos y mejorar los plazos de entrega. Se gestiona el riesgo haciendo frente a la variabilidad de alguno de estos componentes. Se considera al proveedor como un socio y se buscan contratos de largo plazo.



*Figura 4. 2 Ciclo de vida del proveedor. ITBA*

Asimismo, hoy en día no se elige un proveedor sólo en función del costo de adquisición del insumo si no que en base a una serie de factores que impactan en el costo total de la gestión de inventarios. En la *Tabla 4.1* se enuncian estos factores y su influencia en dichos costos. Se debe realizar una evaluación continua de estas métricas negociando no sólo mejores precios si no que mejores condiciones.

	<i>Precio de compra del componente</i>	<i>Inventario</i>		<i>Costo de transporte</i>	<i>Tiempo de introducción del producto</i>
		<i>Ciclo</i>	<i>Seguridad</i>		
Tiempo de espera del resurtido			X		
Desempeño en la puntualidad			X		
Flexibilidad del suministro			X		
Frecuencia de la entrega/tamaño mínimo del lote		X	X	X	
Calidad del suministro	X		X		
Costo de transporte entrante				X	
Términos del precio	X	X			
Capacidad de coordinación de la información			X	X	
Capacidad de colaboración en el diseño	X	X	X	X	X
Tipos de cambio, impuestos y derechos	X				
Viabilidad del proveedor			X		X

*Tabla 4. 1 Factores del desempeño del proveedor y su impacto en el costo total. Chopra y Meindl.*

De ser posible, se recomienda formar una cartera de proveedores que se complementen. El análisis del desempeño del proveedor puede utilizarse para conformar una cartera con aquellos que se destacan en distintas dimensiones para abastecerse eficazmente. Los autores Chopra, S. y Meindl, P. recomiendan en su literatura:

“El proveedor de bajo costo debe recibir pedidos grandes y constantes, independientes de la demanda, mientras que el proveedor flexible debe recibir pedidos pequeños que fluctúan con la demanda. El proveedor flexible tiene cantidades económicas de pedido menores y puede adaptarse mejor a las fluctuaciones. La combinación de proveedores da como resultado un mejor equilibrio entre la oferta y la demanda, a un costo menor que el de usar un solo tipo de proveedor.”<sup>11</sup>

#### **4.1.2 Medios de transporte**

El transporte de la materia prima desde el proveedor hasta su punto de consumo es de vital importancia en el diseño de la logística de abastecimiento. Las decisiones de transporte

<sup>11</sup> Chopra, S. y Meindl, P. (2008) Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación. Tercera edición. Pearson Educación, México.

impactan en la rentabilidad y en los niveles de inventario de ciclo, de seguridad y en tránsito. A continuación, se presenta una reseña acerca de los diferentes medios de transporte para la piedra caliza y sus principales ventajas y desventajas.

#### 4.1.2.1 Transporte carretero

El transporte carretero se caracteriza por proveer una gran flexibilidad, accesibilidad y versatilidad en su uso. Esta alternativa permite el servicio “puerta a puerta” y la posibilidad de cambiar de ruta para garantizar el arribo a destino. Existen múltiples herramientas de información para avalar la seguridad del cargamento y para optimizar el traslado como sistemas de ruteo y de rastreo de la mercadería.

Como principales desventajas se identifican los costos crecientes con las distancias, en detrimento de su comparación con otros modos (*Figura 4.3*), y la dependencia de las condiciones de las rutas. Por condiciones meteorológicas, congestión o cortes e infraestructura defectuosa, como rutas sin pavimentar, se puede dificultar el tránsito por las mismas impactando en los tiempos de reaprovisionamiento y por ende en la gestión de inventarios.

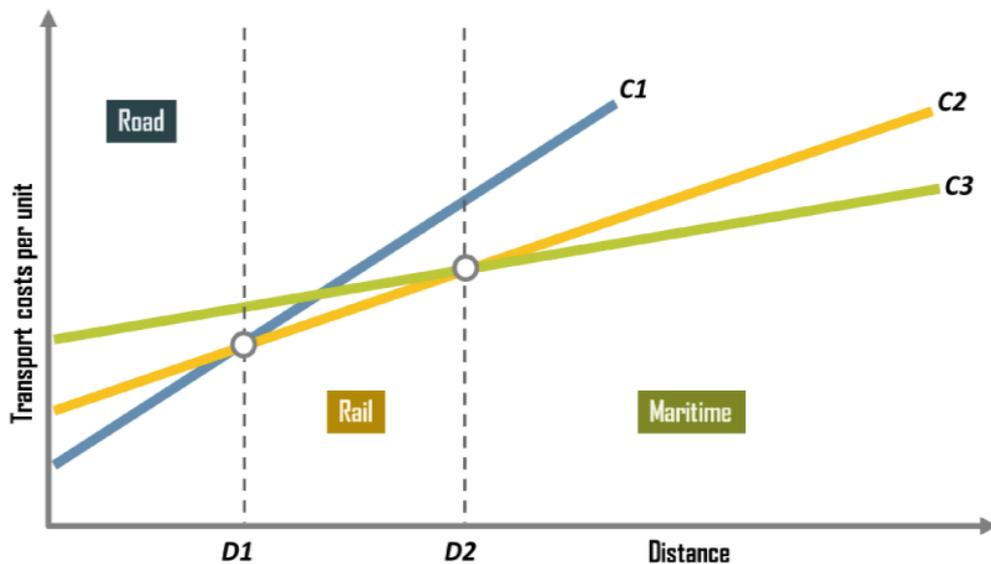


Figura 4. 3 comparación de los costos de transporte en función de la distancia del transporte carretero (azul), marítimo (verde) y el ferrocarril (amarillo). Rodrigue, Comcois, Slack.

Otra limitación del transporte carretero es la restricción del peso transportado por eje y la relación peso potencia. Para hacer frente a esta condición, se está impulsando el uso de los

bi-trenes que ofrecen una mayor capacidad de carga y menor afectación de las rutas en cuestión.

#### **4.1.2.2 Ferrocarriles**

Como segunda alternativa terrestre se plantea el ferrocarril. La gran ventaja del tren es que tiene una mayor capacidad de carga en comparación con los vehículos carreteros, y es menos dependiente de las condiciones climatológicas. A su vez, los costos del transporte por tren suelen ser menores, a causa de un menor consumo de combustible, y la posibilidad de aprovechar economías de escala con un transporte de elevado tonelaje.

#### **4.1.2.3 Ductos o cintas transportadoras**

En la minería es común la utilización de ductos para el transporte de pulpas o hidromezclas. Los ductos pueden “llevar mineral triturado/molido (mineroductos), concentrado (concentraductos) o relaves (relaveductos)”<sup>12</sup>. El transporte en tubería es preferido cuando se requiere una alta consistencia en el traslado del material. Asimismo, el costo de operación suele ser bajo. Sin embargo, en el caso de los ductos utilizados para la minería todavía no hay suficientes modelos matemáticos acerca de la mecánica del traslado. Esto se traduce en desgaste por fatiga y frecuentes rupturas del ducto. Si bien es cierto que “en los últimos 50 años se ha desarrollado gran cantidad de investigación en la materia, debido a la importancia de abaratar costos productivos y a la necesidad de transporte por largas distancias, naciendo en 1986 el primer estándar normado para el diseño, instalación y operación de estos sistemas: ANSI/ASME B31.11 (Slurry Transportation System), al amparo de la Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME)”<sup>13</sup> todavía existen varios problemas en su armado y diseño óptimo del trazado. Como los lugares de instalación de estos ductos suelen ser en lugares remotos, los trabajos de soldadura y revestimientos apropiados del ducto suelen ser de baja calidad por falta de personal especializado.

En la Argentina existe un mineroducto de 317 km de longitud y 175 mm de ancho, propiedad de Minera Alumbraera, que transporta un concentrado de cobre, oro y plata desde Catamarca hasta la planta de filtros en Tucumán. Es de conocimiento público las múltiples fracturas de caños que experimentaron y los problemas ambientales que estas rupturas conllevan.

No se han encontrado registros de mineroductos que transporten caliza. Las propiedades químicas de la caliza deben hacerlo un material inadecuado para este medio.

---

<sup>12</sup> Minería Chilena. “Transporte de fluidos: la confiabilidad es clave” [En línea] [consulta: 3 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://www.mch.cl/informes-tecnicos/transporte-de-fluidos-la-confiabilidad-es-clave/>

<sup>13</sup> Minería Chilena. “Transporte de fluidos: la confiabilidad es clave” [En línea] [consulta: 3 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://www.mch.cl/informes-tecnicos/transporte-de-fluidos-la-confiabilidad-es-clave/>

Asimismo, el proceso de la CTRT requiere una caliza con un contenido de humedad máximo de 0,5%. Existen tecnologías para su transporte neumático en fase densa, pero son para distancia muy cortas, generalmente menores a los 100 m.

La última alternativa terrestre a analizar es el transporte a granel mediante cintas transportadoras. Existen cintas de diversas longitudes que garantizan el abastecimiento continuo y masivo del material. Las cintas pueden llegar a transportar por ejemplo 3.600 tn/hr. Los costos de instalación varían según su longitud y velocidad. En la *Figura 4.4*, se pueden apreciar cintas de distancias cortas (A), por lo general menores a 1 o 2 km de distancia, y cintas de distancias largas (B). La imagen (B) se trata de una de las cintas de correa única más largas del mundo, que transporta 1.000 tn/hr de piedra caliza por 17 km en India.



*Figura 4. 4 cintas transportadoras de piedra caliza de corta (A) y larga (B) distancia.*

Las cintas transportadoras permiten altos niveles de productividad a bajos costos operativos. Sin embargo, este medio no sería adecuado para la CTRT ya que requieren que la cantera esté cerca y la CTRT esta debería ocuparse de su triturado y molienda al arribar.

#### ***4.1.2.4 Transporte marítimo***

La principal ventaja del transporte marítimo es que permite el transporte de grandes volúmenes (*Figura 4.5*) a través de grandes distancias a un costo más accesible que las otras alternativas (*Figura 4.3*). Sin embargo, implican largos tiempos de reaprovisionamiento, impactando en el costo de gestión de inventarios, e implican un transporte multimodal o intermodal y mucha documentación.

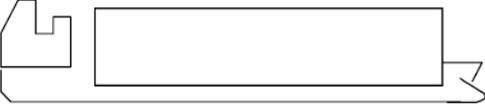
<p><b>CAMION</b> 1- 2 - TEU's</p>	
<p><b>BARCAZA</b> 40 - 400 TEU's</p>	
<p><b>TREN</b> 50 - 600 TEU's</p>	
<p><b>BUQUE</b> 500 - 15000 TEU's</p>	

Figura 4. 5 Capacidad de carga en TEUs de los distintos medios de transporte. ITBA.

En definitiva, existen varios factores a considerar a la hora de elegir el medio de transporte. Para nombrar algunos, se debe considerar el tiempo en tránsito, la tarifa, las distancias, los costos de manipulación de la carga, la naturaleza de la carga y el valor de la demora. Como regla general, se suelen elegir los medios de transporte más rápidos para mercaderías de alta relación valor-peso para los cuales es importante disminuir el inventario de ciclo, de seguridad y en tránsito. Por el contrario, para materiales como la piedra caliza con una baja relación valor-peso, no se sugieren los medios rápidos como el transporte aéreo, motivo por el cual no se analiza la alternativa. En los próximos capítulos se evaluarán las alternativas de utilizar transporte carretero, marítimo y el ferrocarril. Los ductos y las cintas se descartan por las propiedades de la piedra caliza y las distancias a recorrer.

Para la optimización de la cadena de transporte se habla de minimizar el ciclo del medio de transporte (Figura 4.6). Esto se debe a que al dimensionar el personal y los equipos necesarios se deben considerar no sólo el viaje de ida cargado, sino que también la vuelta descargado, los tiempos de mantenimiento, de servicio y de manipulación de la carga. Dada la complejidad de la cadena logística se recomienda contratar a un Operador Logístico que provea el servicio de transporte. El operador cuenta con la experiencia y los recursos para una logística eficiente.

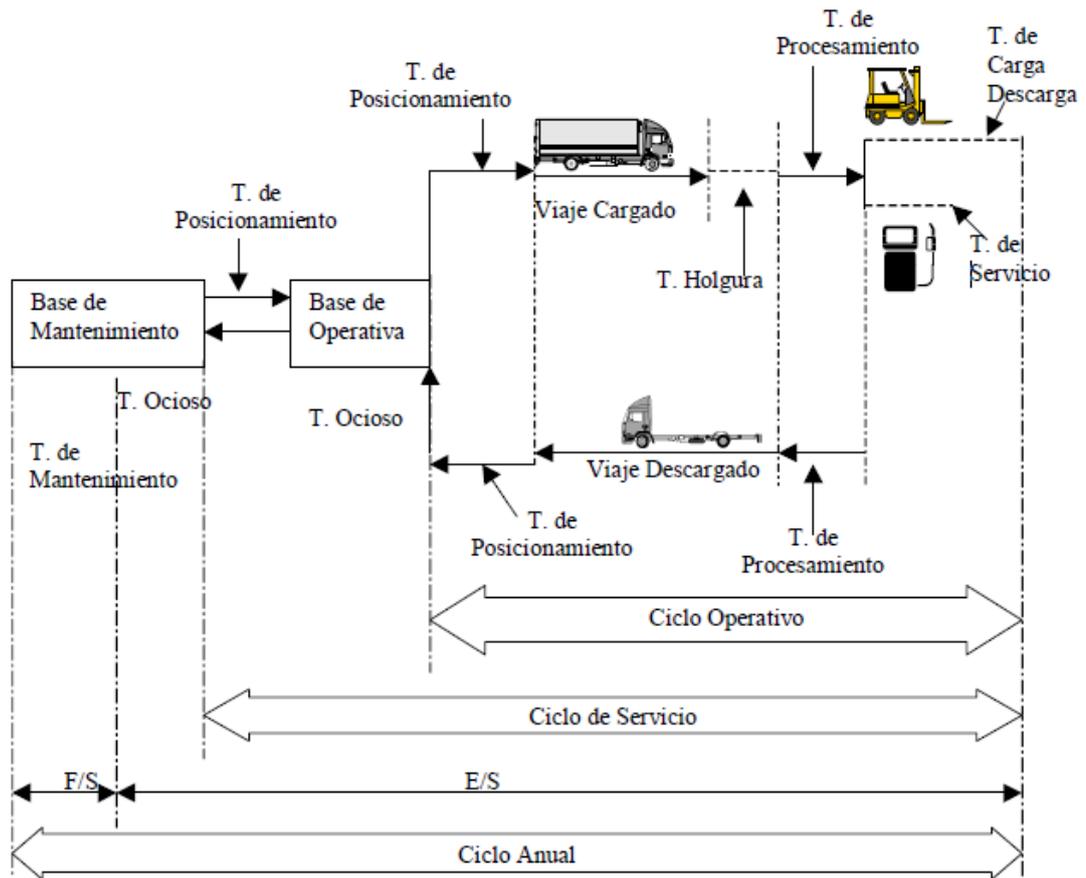


Figura 4. 6 Ciclo operativo de transporte en camión. ITBA.

Otra decisión importante es la elección entre el transportar con un solo modo, o intermodal o multimodal. Estas últimas dos alternativas consisten en el movimiento de la carga mediante el empleo de varios medios de transporte donde cada medio tiene su propio transportista o entidad. Se diferencia por la modalidad de contratación y los beneficios que ofrecen:

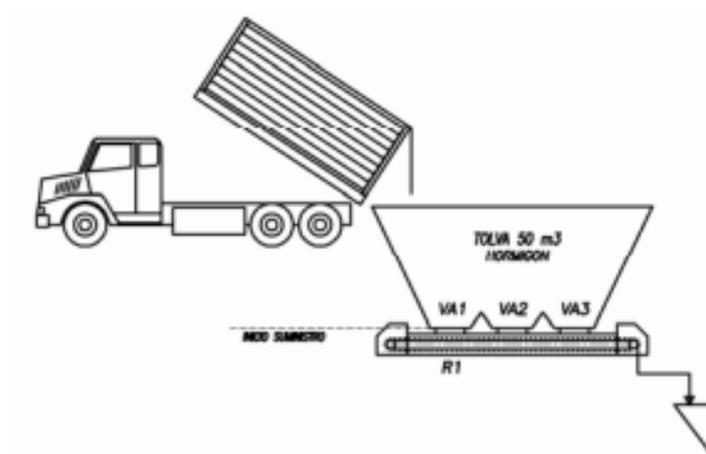
- Intermodal: cada entidad tiene su propio contrato. Se pueden elegir individualmente los transportistas que ofrezcan los menores costos para casa tramo. Asimismo, se puede contratar mano de obra especializada para la carga y descarga de un modo a otro.

- Multimodal: hay un único contrato con el Operador de Transporte Multimodal (OTM) y por consiguiente un único *Bill of Lading*. Este medio permite la eficiencia y facilidad de coordinación de toda la cadena logística.

### 4.1.3 Embalajes

La piedra caliza se puede transportar a granel en camiones tolva, volcadores, o camiones cisterna. Los primeros se suelen utilizar para granulometrías más gruesas que las requeridas por la CTRT, pero aun así pueden ser utilizados. Los camiones cisterna se descargan por transporte neumático y generan menores pérdidas en polvo. Sin embargo, este tipo de camiones no son muy utilizados en la Argentina, sólo en la industria del cemento. Como el cemento tiene una densidad específica que aproximadamente duplica la de la piedra caliza, los camiones cisterna diseñados para esta industria no se podrían utilizar ya que no se llegaría al peso permitido. Esto no solo implicaría una mayor flota de camiones, sino que también mayores costos dado que es frecuente que se cargue un sobreprecio por transportar por debajo del peso máximo permitido.

Las ventajas de transportar a granel son la simplicidad en la carga y descarga del material y costos nulos de consolidación de la carga. La CTRT incluso está diseñada para recibir la piedra caliza a granel.



*Figura 4. 7 recepción de la piedra caliza en la CTRT. Estudio de Impacto Ambiental.*

Otra opción es transportar el material en contenedores flexibles, también denominados Big Bags. Los mismos suelen ser de lona sintética de PVC reforzada con tejido de poliéster con tubo de carga y descarga. Pueden ser cargados en camiones o en contenedores y evitan la contaminación del material durante la manipulación. Asimismo, permiten el almacenamiento de la piedra caliza en galpones o al aire libre ya que protege la carga de la intemperie. Si bien la CTRT está diseñada para recibir la carga a granel, una de las inconsistencias en la construcción de la central termoeléctrica es que el sistema compuesto por el tren y el almacenamiento en el puerto de Punta Loyola está diseñado para recibir y transportar la piedra en Big Bags. En los próximos capítulos, se describirá en mayor detalle este sistema.

Las desventajas de los Big Bags son un mayor costo por la consolidación de la carga y el costo del Big Bag en sí. Asimismo, en la Argentina no existe un sistema sólido de logística inversa para la reutilización o reciclaje del Big Bag. La mayoría de los Big Bags comercializados en el país tienen un factor de seguridad de 5:1, que implica que la carga de ruptura es de 5 veces la carga máxima del Big Bag, y para ser reutilizable tienen que tener un factor de 6:1 o superior. No se encontraron plantas que reciclen estas bolsas en el sur del país por lo que la logística inversa de este embalaje puede ser sumamente costosa. Por lo tanto, es una gran desventaja de los Big Bags ya que, para el requerimiento de aproximadamente 80.500 toneladas anuales de piedra caliza, se generarían más de 90.000 Big Bags de residuo.

Por último, el transporte de caliza en contenedores ofrece dos principales ventajas. La primera, es que garantiza la protección de la piedra contra la lluvia. Si bien la caliza se encuentra en la naturaleza de esta manera, y no es altamente reactiva como sí lo es la cal, su efectividad en el proceso puede ser perjudicada por un alto grado de humedad. Tal como está pensada la operación en la CTRT, la caliza debería arribar a destino sin necesitar ningún pretratamiento.

La segunda gran ventaja del transporte en contenedores es que facilita el manipuleo a lo largo de la cadena de suministro, especialmente en los puertos y puntos de transbordo que cuentan con maquinaria adecuada para movilizar contenedores, tales como *reachstackers* y puentes grúa. Además, una vez consolidada la mercadería en el contenedor, no requiere de más intervenciones con la carga que puedan demorar la operación.

En este caso, hay dos tipos de configuraciones de contenedores que podrían ser de utilidad para transportar la piedra caliza: contenedores graneleros, o bien contenedores secos con Big Bags en su interior. Los contenedores graneleros tienen la particularidad de contar con escotillas de diversos tamaños que permiten cargar la mercadería por el extremo superior, y con compuertas en la parte lateral inferior que facilitan la descarga del contenedor. En cambio, en la alternativa que emplea Big Bags, se debe incurrir en un costo adicional por el material del Big Bag y la operación de armado del mismo, y a su vez esto tiene un mayor impacto ambiental.



Figura 4. 8 A la izquierda, un contenedor granelero de 20 pies, a la derecha un contenedor seco cargado con Big Bags. TSP Patagonia Norte.

#### 4.1.4 Impacto ambiental

Otro factor a tener en cuenta al elegir el medio de transporte es el impacto ambiental de cada alternativa. El movimiento de carga contribuye significativamente al calentamiento global generando gases de efecto invernadero como dióxido de carbono, hidrocarburos, hidrofluorocarburos y óxido nitroso. Aproximadamente el 95% de estas emisiones son de dióxido de carbono, el contribuidor principal al calentamiento global.

En la *Figura 4.9*, se exhiben los valores promedios de gramos de CO<sub>2</sub> emitidos por el movimiento de una tonelada a lo largo de un kilómetro.

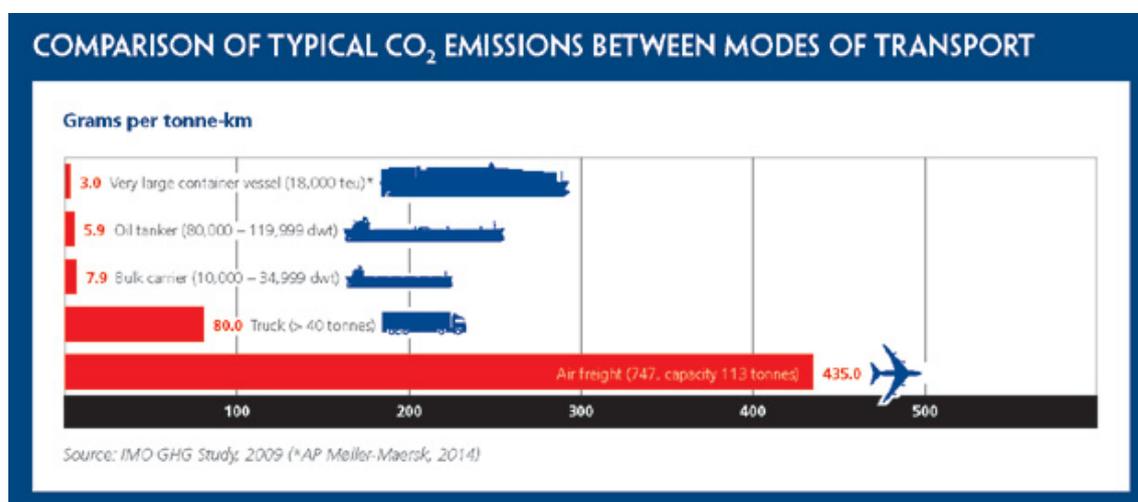
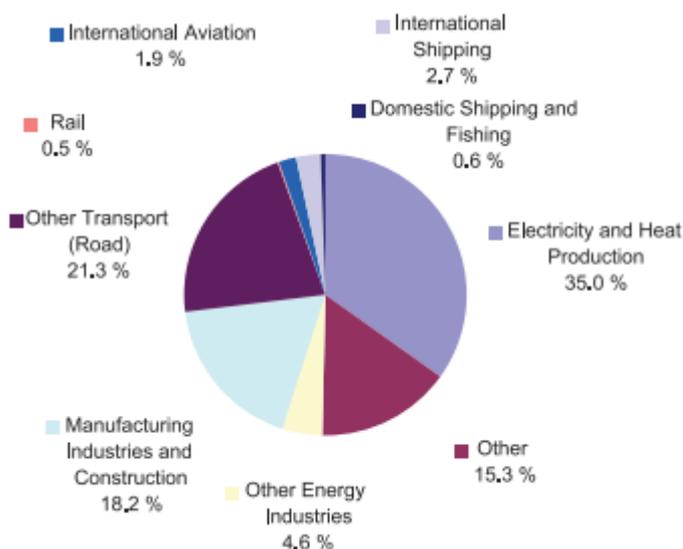


Figura 4. 9 gramos de CO<sub>2</sub> emitidos por tonelada kilómetro. IMO.

Si bien el transporte aéreo es el mayor contribuidor de gramos de CO<sub>2</sub>/km.t, como el transporte carretero es mucho más usado, este termina siendo el mayor contribuidor de emisiones de dióxido de carbono (*Figura 4.2*).



*Figura 4. 10 Emisiones globales de CO2 por actividad. IMO.*

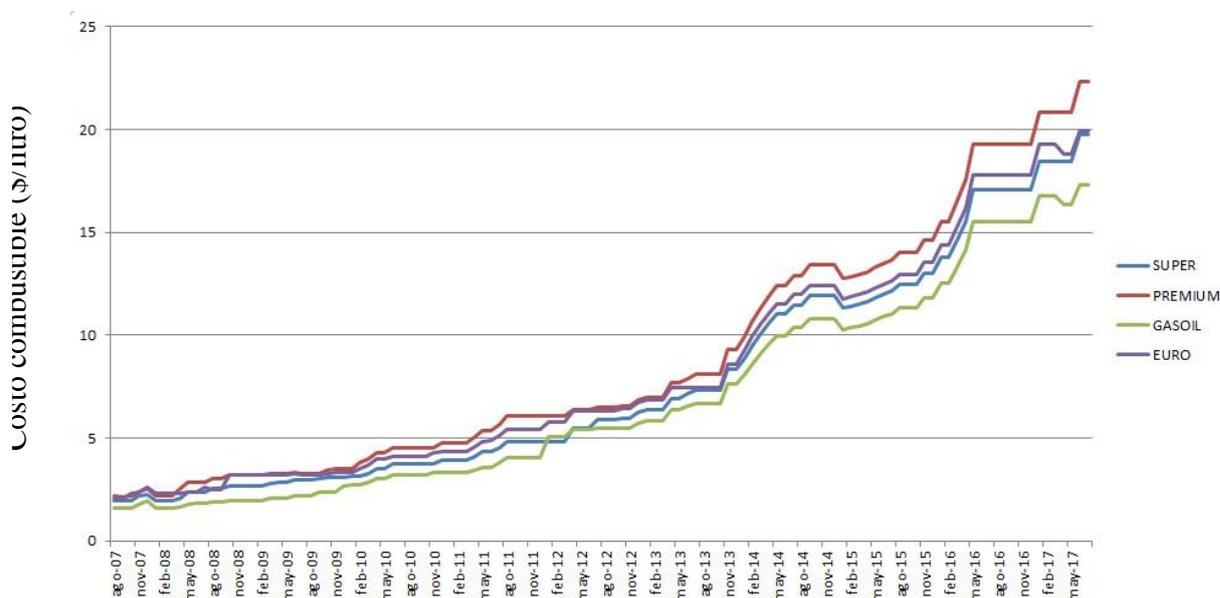
## 4.2 Costo Logístico Argentino

Al analizar en particular la red logística Argentina considerando la extensión del país y la cantidad de transportes internos alternativos que existen, se puede inferir que la misma no está desarrollada como podría. Muchos países en vías de desarrollo han demostrado que es posible encontrar soluciones para contar con una red logística eficiente que reduzca los costos de transporte de cargas; beneficiando así la economía propia del país. Se presentan algunos ejemplos particulares en el inciso 4.2.1. El impacto de no contar con una red logística eficiente es directo respecto del desarrollo productivo en zonas del interior del país. Es por esto que cuando se analizan los planes logísticos a largo plazo, deben considerarse todos los sectores productivos del país, tanto por diferencias de producción como geográficas. Este análisis tiene que buscar una integración nacional en cuanto a todos los aspectos logísticos, considerando que la situación actual de transporte de cargas no es eficiente.

El contexto actual del país y las largas distancias que deben recorrerse para transportar cargas dan a entender que es necesario un desarrollo ferroviario y fluvial. Para un mismo consumo energético, se transportan aproximadamente 0,15 toneladas en camión, 0,5 toneladas por ferrocarril, o 4 toneladas por barco. Asimismo, la inversión en transporte fluvial puede

brindar grandes beneficios, ya que, con sólo aumentar el calado en un pie, esto representa aproximadamente una posibilidad de aumentar la carga en 2.000 toneladas. Esto no se ve respaldado por la infraestructura actual argentina en la cual el transporte ferroviario de cargas no supera el 8% de las toneladas transportadas totales, y el fluvial no supera el 5%. Sin embargo, cuando analizamos el transporte de cargas por camión, el panorama es totalmente distinto, superando el 90% de las toneladas transportadas totales. Estos datos dan a entender que la actualidad del transporte argentino necesita un fuerte desarrollo en infraestructura al igual que una estrategia a largo plazo.

La falta de eficacia en el transporte de cargas, se traduce tanto en el aumento de costos directos como de los indirectos. Respecto de los primeros, los más importantes son el costo del consumo energético de combustible y la mano de obra. El costo de combustible aumenta todos los años, como se ve en la *Figura 4.11*, desde hace más de 10 años. Esto sucede tanto en las naftas como en el gasoil, lo que perjudica el costo total de transporte por carretera.



*Figura 4. 11 Evolución del costo de combustibles en Argentina. C.E.C.H.A.*

Además, si analizamos este mismo costo respecto de países sudamericanos, podemos ver en la *Figura 4.12* y la *Figura 4.13* que estamos segundos debajo de Uruguay con un precio de 1,25 dólares por litro de nafta y 1,12 dólares por litro de gasoil respectivamente. Esto significa que, al ser un país con una geografía extensa y poco desarrollo en transporte ferroviario y fluvial, el alto costo de combustible eleva directamente los costos logísticos generando consecuencias claras sobre el mercado local y los productos de exportación.

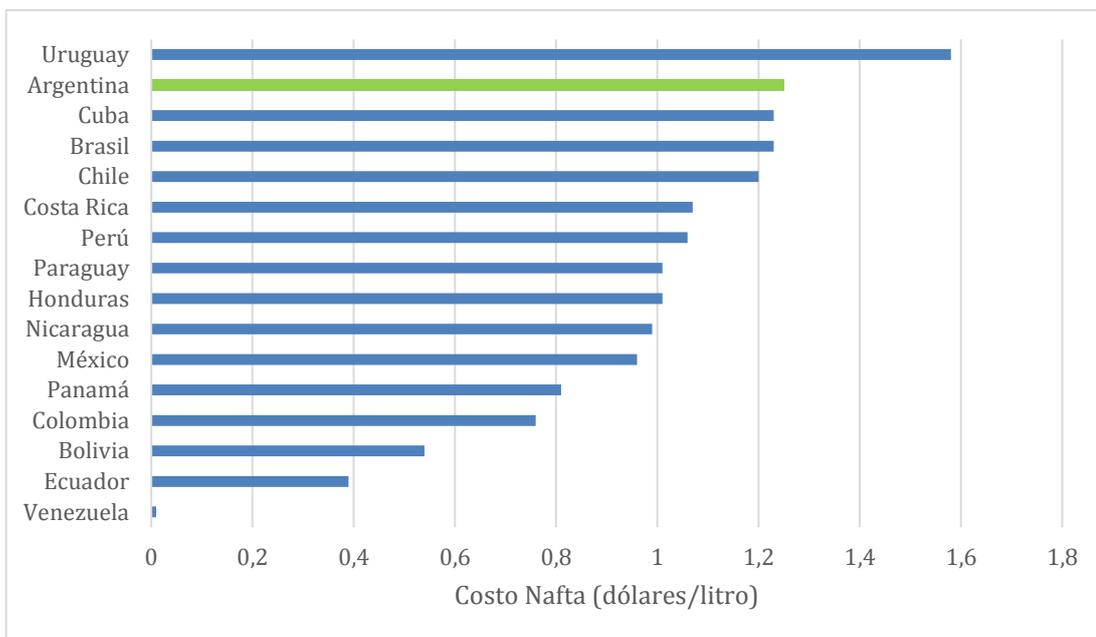


Figura 4. 12 Costo de nafta de países americanos en dólares/litro. Global Petrol Prices.

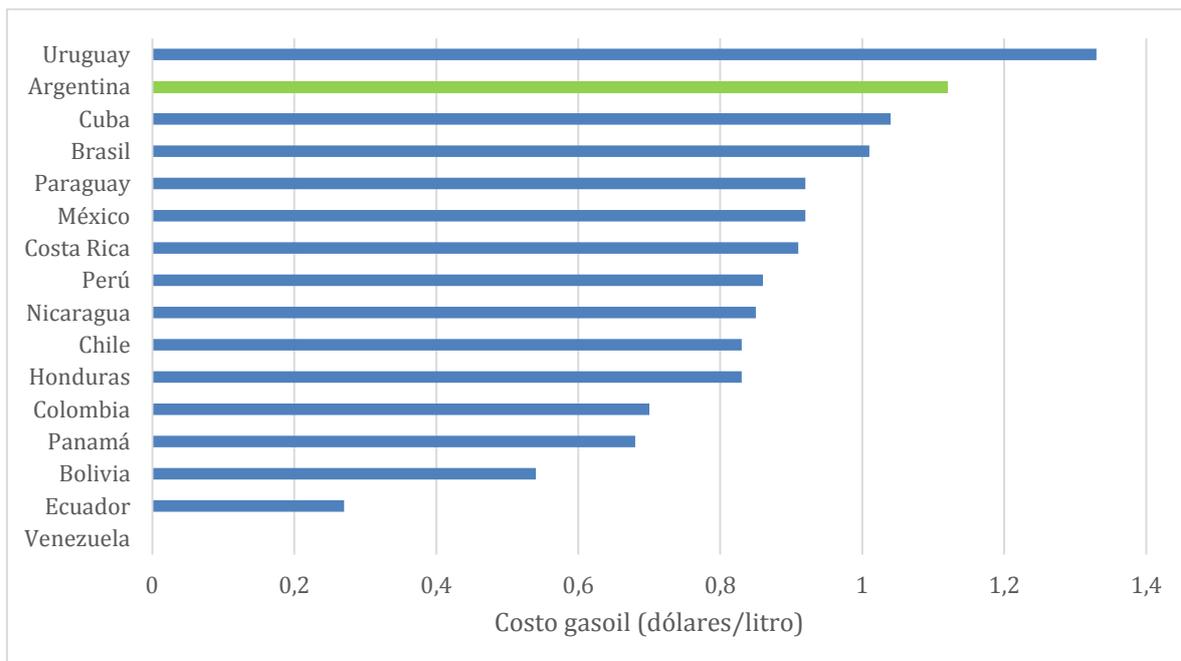
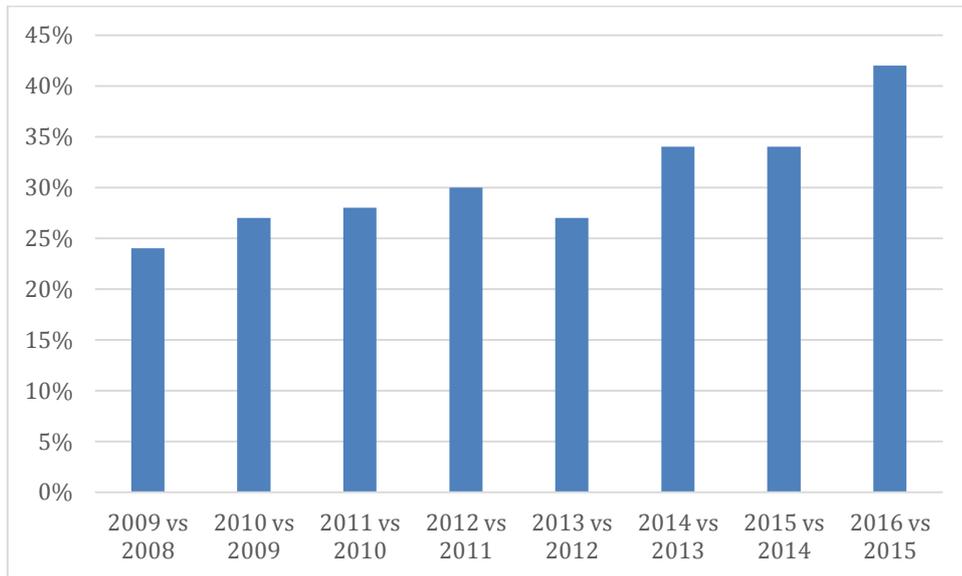


Figura 4. 13 Costo de gasoil de países americanos en dólares/litro. Global Petrol Prices.

El segundo costo directo que influye en el aumento de costos de servicios logísticos a nivel país es la mano de obra. Según datos brindados por la Cámara Empresaria de Operadores Logísticos, el costo de la mano de obra aumentó un 23,35% respecto de los últimos 12 meses. Además, en la *Figura 4.14* podemos observar el incremento del costo de mano de obra año a año respecto del anterior.



*Figura 4. 14 Costo de mano de obra relativo entre años. C.E.C.H.A.*

Resumiendo, el aumento de costos logísticos directos, podemos ver en la siguiente *Figura 4.15* la evolución del costo de combustible como el costo de la mano de obra respecto de la base en diciembre de 2001. El alza de ambos costos encarece el servicio logístico general afectando al mercado total del país.

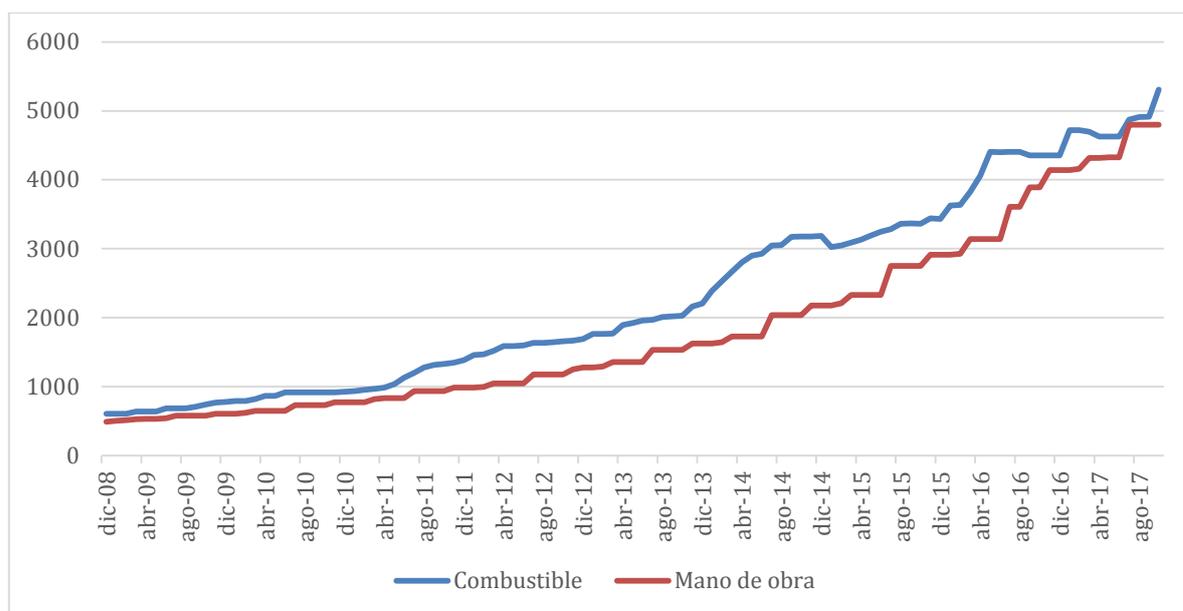


Figura 4. 15 Evolución de costos logísticos de combustible y mano de obra – Base diciembre 2001. C.E.C.H.A

Tanto es el incremento de este costo que existen casos en los cuales se produce un desfase respecto de los productos a nivel mundial. Por ejemplo, analizando datos del año 2016, era más caro transportar un contenedor de 20 pies desde Mendoza a Buenos Aires, que desde China a Buenos Aires. Por más insólito que parezca, el traslado del contenedor vacío hasta Mendoza, la carga del mismo y la logística hacia el puerto de Buenos Aires rondaba los 2900 USD. Por el contrario, si se traía un contenedor de igual medida cargado con producto desde Shanghái, el costo sin gasto portuario rondaba los 625 USD. Si se deseara llevar un contenedor a Shanghái desde Buenos Aires, el costo sin gastos portuarios rondaba los 400 USD. Esto da a entender que la logística desde Mendoza hacia Buenos Aires era 4,5 veces más cara que el traslado desde China hacia Buenos Aires; y 7 veces más cara que desde Buenos Aires a Shanghái. Aun sumando ambos traslados, es decir, si se desea realizar el trayecto Buenos Aires-Shanghái-Buenos Aires, el costo total rondaría los 1025 USD que representaba un 35% de costo de traslado respecto del trayecto Buenos Aires-Mendoza-Buenos Aires. Esto mismo puede observarse en la siguiente *Figura 4.16*.



Figura 4. 16 Costo de flete para un contenedor de 20 pies. iProfesional.

Otro ejemplo que demuestra el desacople a nivel mundial respecto de costos logísticos de transporte, es el traslado de Salta a Buenos Aires. En caso de querer trasladar el mismo contenedor de 20 pies vacío hasta Salta, cargarlo y volver a llevarlo a Buenos Aires, tenía un costo aproximado de 4200 USD por el transporte en camión. Si, por el contrario, se deseaba traer el mismo contenedor cargado desde Estados Unidos, el costo sin gastos portuarios se aproximaba a los 750 USD. En caso de querer realizar la logística inversa, es decir, desde Buenos Aires a Miami, el costo rondaba los 800 USD. Por lo que la logística Buenos Aires-Miami-Buenos Aires era un 37% del costo Buenos Aires-Salta-Buenos Aires. Esto mismo puede observarse a continuación en la *Figura 4.17*.



Figura 4. 17 Costo de flete para un contenedor de 20 pies. iProfesional.

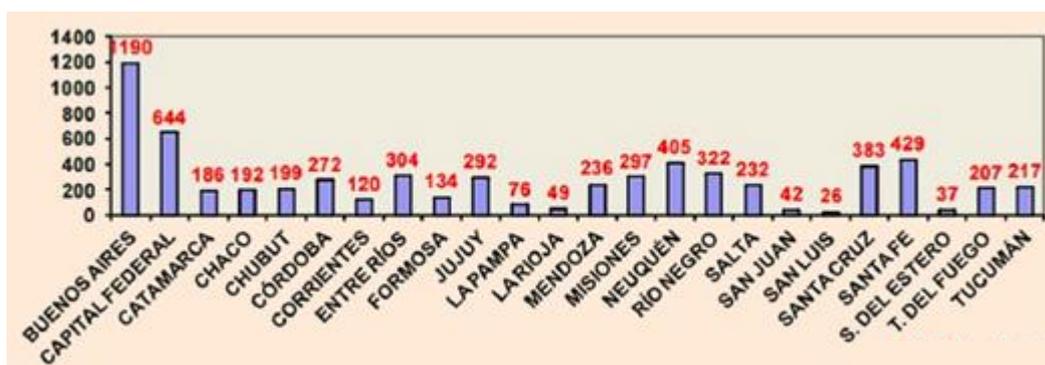
A su vez, existen una gran cantidad de costos indirectos que incrementan el costo total de la operación logística, disminuyendo la rentabilidad de dicho servicio. Uno de los

principales costos indirectos es el de los cortes de vías públicas, tanto nacionales como provinciales. Los mismos se han incrementado en los últimos años, tal como muestra la *Figura 4.18* a continuación.



*Figura 4. 18 Cortes de vías públicas por año. Diagnóstico Político*

Además, al analizar este corte de vías por distrito para el año 2016, la situación es totalmente diferente entre zonas, lo que se observa en la *Figura 4.19*.



*Figura 4. 19 Cortes de vías públicas por distrito. Diagnóstico Político*

A su vez, en al observar los cortes para ese mismo año separados por actores, la composición se puede observar es la siguiente (*Figura 4.20*).

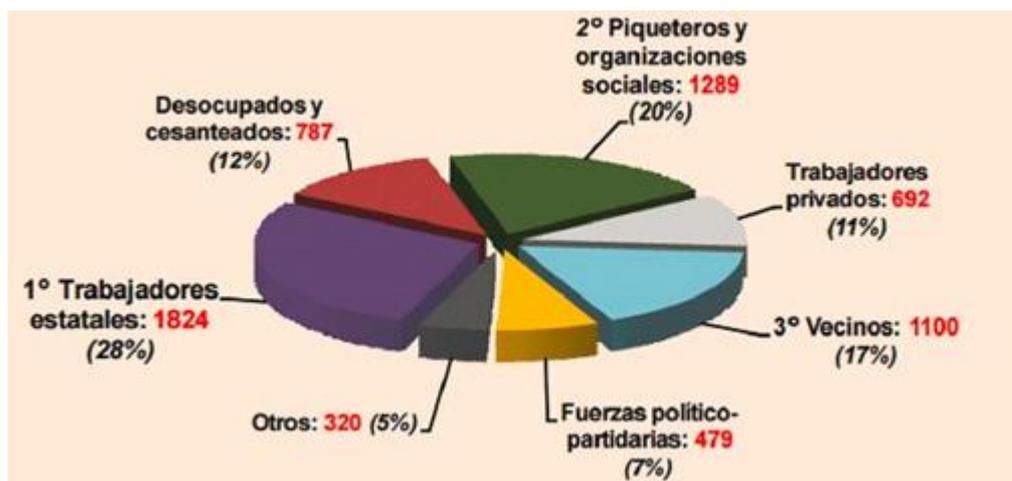


Figura 4. 20 Cortes de vías públicas por actores. Diagnóstico Político

Otro costo oculto no menor es una pérdida de eficiencia y productividad tanto para larga como para corta distancia por el tránsito. La congestión de tránsito en las grandes ciudades como Buenos Aires es algo que ocurre a menudo y que retrasa las entregas de carga. Algo similar sucede con los tiempos de carga y descarga de productos que se reflejan en esa pérdida de eficiencia que tiene como consecuencia final el aumento de costos logísticos totales. Además, se encuentran faltas de eficiencia en la administración financiera y operativa, donde errores en la planificación pueden generar altos costos ocultos.

Haciendo referencia a aquellas operaciones con costo indirectos, el incremento de SKUs por orden dificulta todos los procesos logísticos. Contar con una mayor cantidad de productos distintos para un determinado volumen, puede generar pérdidas de eficiencia en procesos como el *picking* dentro de un centro de distribución. A su vez, existen muchas empresas que solicitan un determinado nivel de servicio para un mismo costo; lo que no resulta eficiente. El aumentar el nivel de servicio de un determinado operador logístico implica una mayor tarifa total del servicio.

Por último, otro costo indirecto que no es menor en Argentina es el aumentar la seguridad de los transportes debido al aumento de los hurtos de carga. Se deben llevar a cabo medidas de seguridad que incrementan los costos para no correr el riesgo de perder la carga transportada.

Debido al incremento de todos los costos mencionados previamente, tanto los directos como los indirectos; existen empresas que deciden exportar a través de puertos chilenos, en especial aquellas que lo hacen hacia Estados Unidos o países orientales. Esto se ve como ejemplo en la industria del vino, pero está comenzando a implementarse en otras industrias.

En el año 2014, del total de exportaciones de vino a nivel nacional, el 40% lo hacía a través de puertos chilenos, en especial el de Valparaíso.

#### 4.2.1 Infraestructura

Luego de analizar todos aquellos costos que influyen en la logística actual argentina, es pertinente el análisis de la infraestructura del país. Esto es así ya que se debe conocer en detalle la situación actual respecto de las rutas y la vialidad, el desarrollo ferroviario, y el progreso del transporte fluvial.

Para comenzar, se presenta a continuación la *Figura 4.21* que muestra un ranking de infraestructura del World Economic Forum llevado a cabo sobre 140 países.

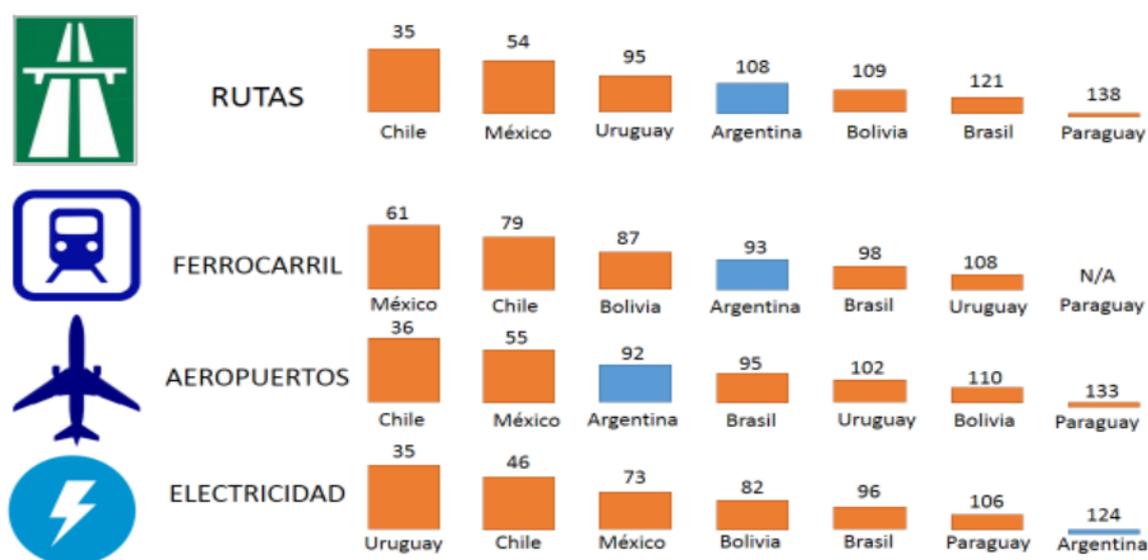
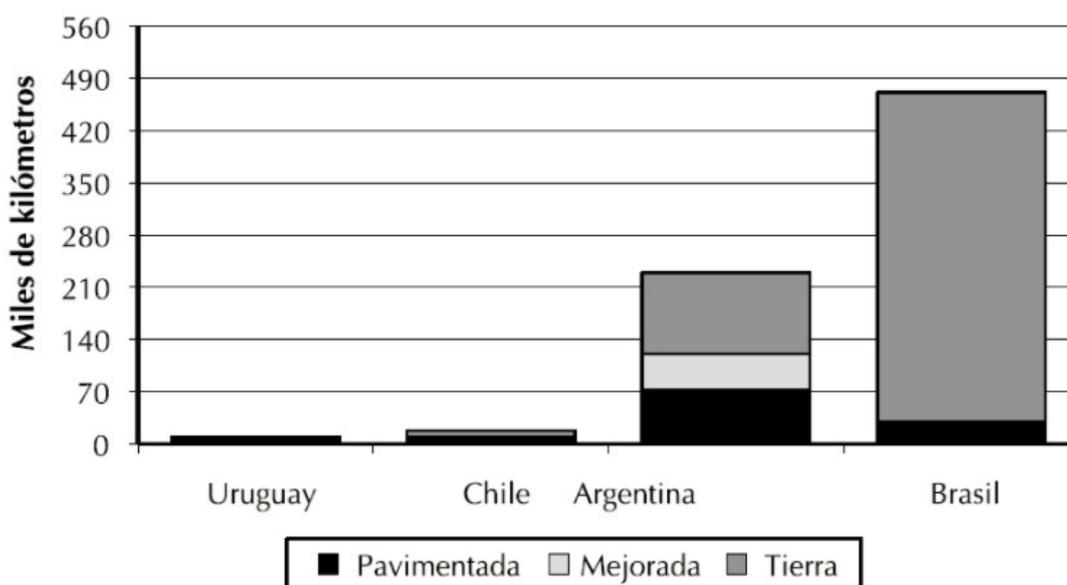


Figura 4. 21 Ranking de infraestructura sobre 140 países. W.E.F.

Podemos observar claramente que la Argentina se encuentra retrasada respecto de todos los aspectos que componen la infraestructura de un país. Esta situación rige tanto para el nivel global como para el regional, ya que, como se puede observar, Chile se encuentra mejor. El peor escenario se observa respecto del desarrollo de infraestructura eléctrica del país, aunque en los otros tres la situación tampoco es favorable.

Cuando nos focalizamos en las rutas propias del país debemos diferenciar la red vial nacional de la red vial provincial. Hasta el año 2007, la red vial contaba con una longitud total de 230.137 kilómetros aproximadamente, sumando los trayectos de la nacional y la

provincial. De ese total, sólo el 31% se encontraba pavimentado, el 21% era ripio y el restante 48% eran caminos de tierra. Si comparamos la situación del país en ese año con otros países de la región, observamos que, aunque Argentina tiene una gran cantidad de kilómetros en su red vial, el porcentaje pavimentado de la misma es menor que en países como Uruguay y Chile. Esto se corresponde con el ranking de infraestructura de la *Figura 4.21*. La comparación entre países se puede ver debajo en la *Figura 4.22*.



*Figura 4. 22 Distribución de rutas pavimentadas, mejoradas (de ripio) y de tierra. IIE.*

Al comparar los países de la región con otros a nivel mundial, la situación es similar, teniendo tan sólo el 15,82% de rutas pavimentadas en promedio en América del Sur. Por el contrario, el promedio de Europa occidental supera el 95%, Corea del Sur ronda el 72% y Estados Unidos se aproximan al 54%. Esto se puede observar en la siguiente *Figura 4.23*.

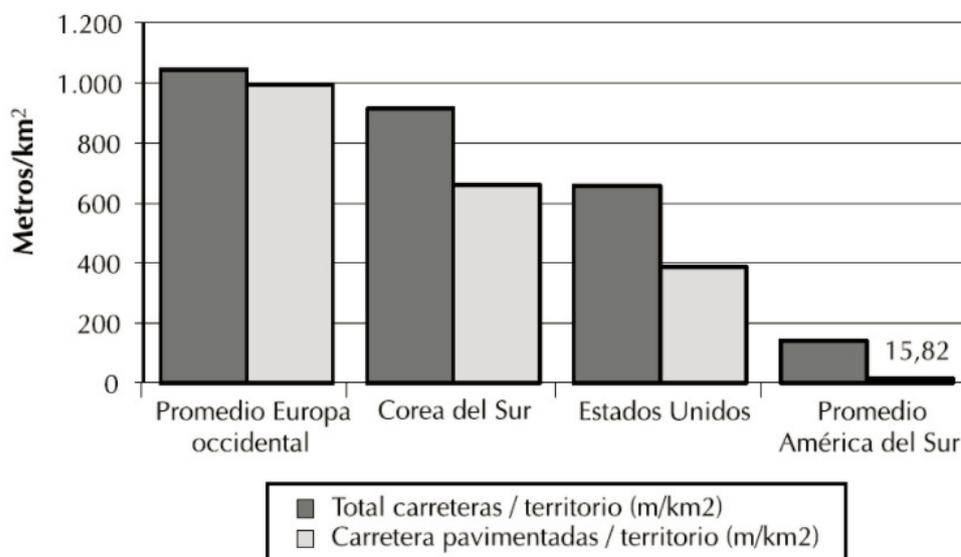


Figura 4. 23 Comparación rutas totales respecto de rutas pavimentadas. CEPAL.

Este bajo porcentaje da a entender como todos los países de América del Sur, exceptuando a Chile, se encuentran por debajo del puesto 95 en el ranking de rutas de infraestructura.

Sin embargo, se debe analizar cuál es la situación dentro del país respecto de la red vial nacional y provincial. Según el último estudio realizado por el Consejo Vial Federal en el año 2014, de la longitud total de la red nacional, más del 90% se encontraba pavimentada. Se pueden observar la cantidad de kilómetros pavimentados, mejorados y de tierra de cada una de las provincias en la *Tabla 4.2*

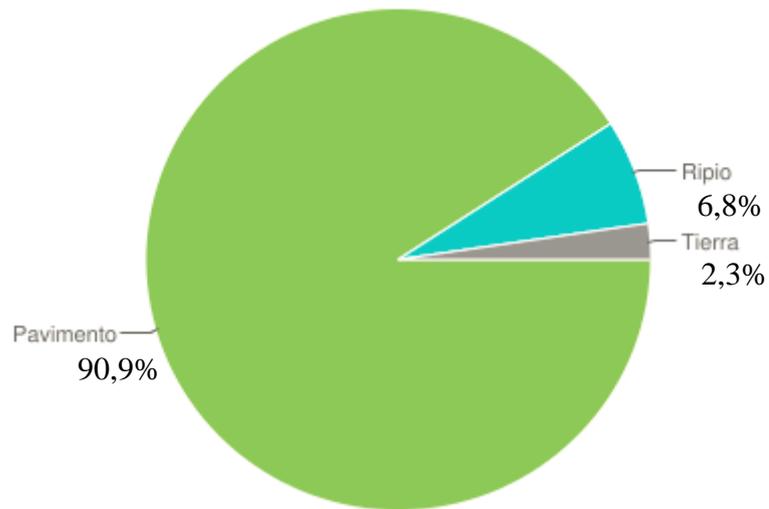
PROVINCIAS	PAVIMENTADAS	MEJORADAS	TIERRA	TOTAL
BUENOS AIRES	4,672	0	0	4,672
CATAMARCA	1,083	42	0	1,125
CORDOBA	2,715	0	0	2,715
CORRIENTES	1,754	0	0	1,754

					,754
CHACO	987	0	0	87	9
CHUBUT	1,874	291	0	,165	2
ENTRE RIOS	1,608	0	0	,608	1
FORMOSA	1,265	0	42	,307	1
JUJUY	750	423	16	,189	1
LA PAMPA	1,480	0	1	19	1
LA RIOJA	1,892	0	0	,892	1
MENDOZA	1,674	324	9	19	2
MISIONES	744	0	78	22	8
NEUQUEN	1,429	0	0	,429	1
RIO NEGRO	1,901	469	0	,370	2
SALTA	1,398	275	8	17	1
SAN JUAN	1,143	64	65	,272	1
SAN LUIS	960	0	0	60	9
SANTA CRUZ	2,471	433	0		2

					,904
SANTA FE	2,498	0	94		2
SGO. DEL ESTERO	1,435	0	46		1
T. DEL FUEGO, ANTARTIDA e IAS	291	369	0	60	6
TUCUMAN	534	41	0	75	5
<b>Total</b>	36,558	2,731	90	0,198	4

*Tabla 4. 2 Longitud de la red nacional en kilómetros. Consejo Vial Federal.*

Además, en el siguiente gráfico se puede observar el porcentaje total de la red vial nacional que se encontraba pavimentado, mejorado y de tierra.



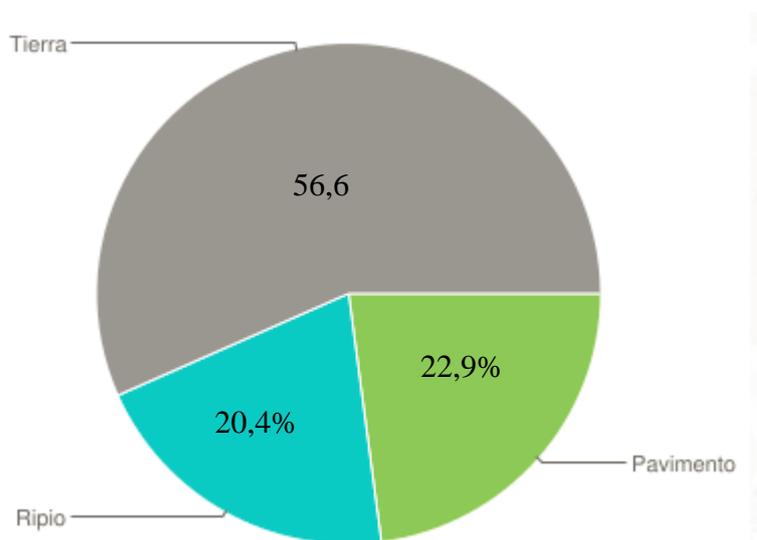
*Figura 4. 24 División de la red vial nacional según tipo de ruta. Consejo Vial Federal.*

Al analizarse la red vial provincial, el panorama es diferente, teniendo el mayor porcentaje de kilómetros de ruta de tierra. En la siguiente tabla se muestra la longitud de la red según el último estudio realizado por el Consejo Vial Federal en el año 2016.

PROVINCIAS	PAVIEMNTADAS	MEJORADAS	TIERRA	TOTAL
BUENOS AIRES	10,657	0	24,766	35,423
CATAMARCA	1,226	2,057	450	3,733
CORDOBA	5,016	2,374	9,496	16,886
CORRIENTES	905	2,377	2,792	6,074
CHACO	1,051	411	4,726	6,188
CHUBUT	744	4,575	3,058	8,377
ENTRE RIOS	1,928	1,831	9,857	13,616
FORMOSA	693	138	1,938	2,769
JUJUY	518	348	2,629	3,495
LA PAMPA	2,353	445	5,332	8,130
LA RIOJA	669	3,184	170	4,023
MENDOZA	3,145	3,789	6,849	13,783
MISIONES	1,231	0	1,696	2,927
NEUQUEN	1,008	3,679	2,330	7,017
RIO NEGRO	751	3,025	2,649	6,425
SALTA	908	2,553	3,810	7,271
SAN JUAN	1,095	2,187	1,183	4,465

SAN LUIS	3,389	667	4,408	8,464
SANTA CRUZ	1,393	2,415	3,454	7,262
SANTA FE	3,788	651	8,408	12,847
SGO. DEL ESTERO	2,520	3,500	13,036	19,056
T. DEL FUEGO, ANTARTIDA e IAS	5	0	718	723
TUCUMAN	1,118	881	147	2,146
<b>Total</b>	<b>46,111</b>	<b>41,087</b>	<b>113,902</b>	<b>201,100</b>

*Tabla 4. 3 Longitud de la red nacional en kilómetros. Consejo Vial Federal.*



*Figura 4. 25 División de la red vial nacional según tipo de ruta. Consejo Vial Federal.*

Al analizar la infraestructura en materia de la extensión de vías férreas del país, la situación es diferente a aquella presentada previamente. Lo primero a considerar es la historia que el país ha tenido respecto de esta extensión del ferrocarril, y el plan de concesiones de los años 90. A simples rasgos el mismo consistía en una política privatizadora del transporte ferroviario tanto de pasajeros como de cargas. Para ubicarnos en contexto, se presenta a continuación una tabla con algunos datos comparativos.

	<b>Antes</b>	<b>Después</b>
<b>Estacionamientos en funcionamiento</b>	2085	1292
Red operable	35746 Km	8339 Km
Tarifas de carga	0.0252	0.313
Tarifas de pasajeros	0.0168	0.0326
<b>Aporte económico del Estado</b>		
Aporte explícito	222 millones	406 millones
Subsidio explícito	-----	614 millones
Personal	98134 agentes (1988)	55000 agentes
Velocidad promedio	60 Km/H	30-35 Km/H

*Tabla 4. 4 Datos previos y posteriores a las concesiones de ferrocarriles. APDFA.*

Esto muestra de modo claro y preciso que dicha política no benefició a la red ferroviaria argentina. Lo que también se puede ver a continuación si analizamos la evolución de la cantidad de toneladas transportadas en Argentina por medio de ferrocarriles.

<b>Año</b>	<b>TN (en millones)</b>
1930	42.5
1950	32.8
1970	22.1
1990	14.1
1992	8.7
1996	15.5
1997	17.2
2007	25.0
2008	23.6
2010	23.0

*Tabla 4. 5 Evolución de toneladas transportadas por ferrocarriles de carga en Argentina. Dirección nacional de transporte ferroviario.*

En dicha la *Tabla 4.5* se puede observar un decrecimiento importante desde los años 30 hasta mediados de los 90. De ahí en adelante se ve una leve expansión en la red, pero no se logran alcanzar los valores récord de la década del 1930 y 1950. Sin embargo, al tener en cuenta las 23 millones de toneladas del año 2010, tan sólo el 6% del total de cargas transportadas a nivel país. En la *Figura 4.26*, se puede observar la incidencia en el transporte de cargas del ferrocarril respecto de otros países para el año 2008.

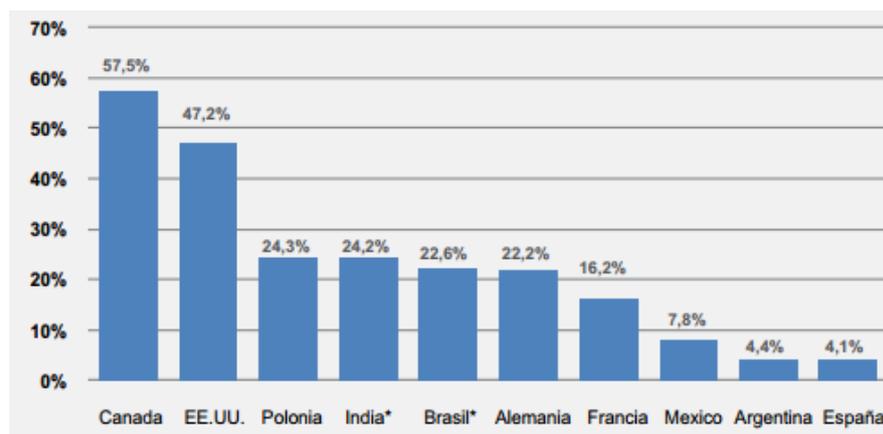


Figura 4. 26 Incidencia del ferrocarril en el transporte de cargas. Jorge Negre.

Al analizar lo que sucede en el exterior respecto de la extensión de vías férreas y la cantidad de toneladas transportadas por kilómetro de vía existente, el panorama no mejora. Estados Unidos cuenta con aproximadamente 150.000 kilómetros de vías férreas, Brasil con 28.000 y Argentina con tan sólo 18.000 kilómetros. En cuanto al transporte por kilómetro, es decir, un índice simple de eficiencia, Estados Unidos transporta 11.000 toneladas por kilómetro, Brasil 13.000 y Argentina sólo 1.000. Estos datos no son menores ya que dan a entender con mayor claridad la falta de infraestructura en materia férrea. Los accesos del ferrocarril a puertos sufren ciertas limitaciones, por lo que la inversión en integración intermodal es totalmente necesaria.

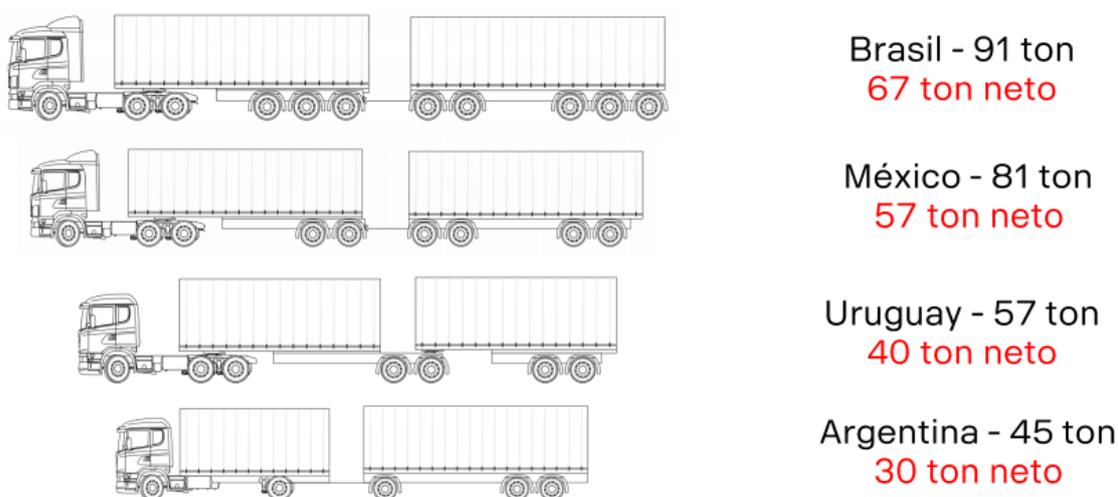
Respecto de la infraestructura marítima y fluvial, lo primero que debe remarcar es que la misma está desarrollada en su mayoría en el noreste del país. Existen gran cantidad de puertos a lo largo de la geografía argentina, pero tan sólo hay aproximadamente 70 que llevan a cabo actividades comerciales tanto de importación como de exportación. De este total de puertos operados comercialmente, han partido o ingresado entre 130 y 140 millones de toneladas a lo largo del año 2010. Sin embargo, puertos de tamaño considerable como los de Shanghái, Singapur o Rotterdam, han operado entre 400 y 600 millones de toneladas a lo largo de ese mismo año. Este desfasaje de infraestructura se puede evidenciar aún más cuando observamos que los Estados Unidos tienen aproximadamente 40.000 kilómetros de ruta fluvial operable, Brasil cuenta con 13.000 kilómetros, y la Argentina con aproximadamente 800 kilómetros.

Considerando el aumento del calado de los buques que hoy en día transportan cargas a nivel mundial, es necesaria la inversión en dragar las rutas fluviales de modo que estas embarcaciones puedan concurrir a los puertos argentinos. Esto se evidencia sabiendo que la mayoría de los canales del Río de la Plata cuentan con una profundidad de hasta 11 metros

aproximadamente, cuando existen buques transportistas de cargas que calan entre 13 y 14 metros.

#### 4.2.2 Legislación argentina

Luego de evaluar y analizar la infraestructura argentina respecto de los distintos medios de transporte de cargas, es pertinente brindar información sobre la legislación del transporte más utilizado en el país. Es por esto que se plantea la situación actual de los bitrenes que reducirían costos de transporte por ruta. Primero, en la *Figura 4.27*, se muestran aquellos que se utilizan hoy en día en distintos países de América junto con la carga máxima neta que podrían transportar.



*Figura 4. 27 Transportes de cargas utilizados con carga máxima neta posible por país. Scania.*

La carga máxima en Argentina es tan sólo un 45% de aquella posible en Brasil. Esto aumenta los costos logísticos de modo exponencial ya que se necesitan más cantidad de camiones para trasladar la misma cantidad de toneladas. La incidencia del costo fijo disminuye al aumentar la carga, por lo que las provincias de San Luis, La Rioja y Chubut están utilizando nuevos camiones que permiten cargar hasta 54 toneladas netas. Estos mismos se presentan a continuación en la *Figura 4.28*.



Figura 4. 28 Nuevos transportes de cargas utilizados con carga máxima neta posible. Scania.

Además, existe una legislación de peso máximo permitido por transporte y por eje. Cabe aclarar en esta instancia que existen gran cantidad de casos en los cuales la legislación no se respeta y las penalizaciones no se efectúan, por lo que se deteriora la infraestructura vial. En la *Figura 4.29* se presentan los pesos máximos y las tolerancias permitidos por eje.



Figura 4. 29 Pesos máximos permitidos por eje y tolerancias. Aprocam.

Más aún, existe un costo oculto del transporte relacionado con la legislación y los sindicatos que rigen sobre los trabajadores de transporte de cargas. En general en Argentina hay conflictos respecto de los transportistas de cargas, lo que en muchos casos deriva en juicios contra la empresa contratista. A continuación, se muestran en la *Figura 4.30* los juicios

por accidentes de trabajo, causa por la cual las cuotas de ART para los operadores logísticos han incrementado desde un 1,5% de su masa salarial hasta un 5%.

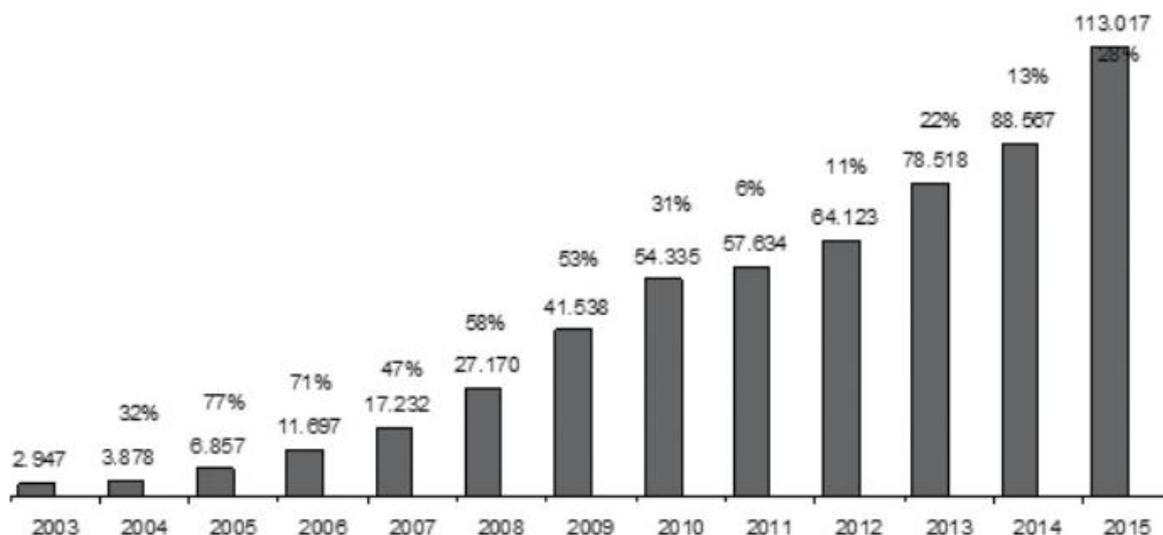


Figura 4. 30 Evolución de juicios por accidentes de trabajo. Unión Argentina de Riesgos de Trabajo.

Tanto este incremento exponencial en los juicios como el no contar con transportes que puedan cargar una mayor cantidad de toneladas netas de carga incrementa costos logísticos. Es por esto que deben llevarse a cabo medidas que puedan beneficiar económica, ambiental y estructuralmente al país, logrando eficiencia en todos los trasportes de carga.

## 4.3 Características del Abastecimiento a la CTRT

### 4.3.1 Requisito y almacenamiento de la caliza

La piedra caliza se debe almacenar de manera tal que esté protegida de los factores climatológicos. Esto se debe a que la caliza reacciona con la lluvia que naturalmente tiene un pH levemente ácido de aproximadamente 5 a 5,5. Asimismo, se debe prevenir su hidratación para eliminar eficientemente el dióxido de azufre. Actualmente, la CTRT cuenta con 4 silos de 900 m<sup>3</sup> de capacidad. La densidad de la piedra caliza molida debe ser de 1,3 tn/m<sup>3</sup>, por lo que cada silo puede almacenar 1170 tn.

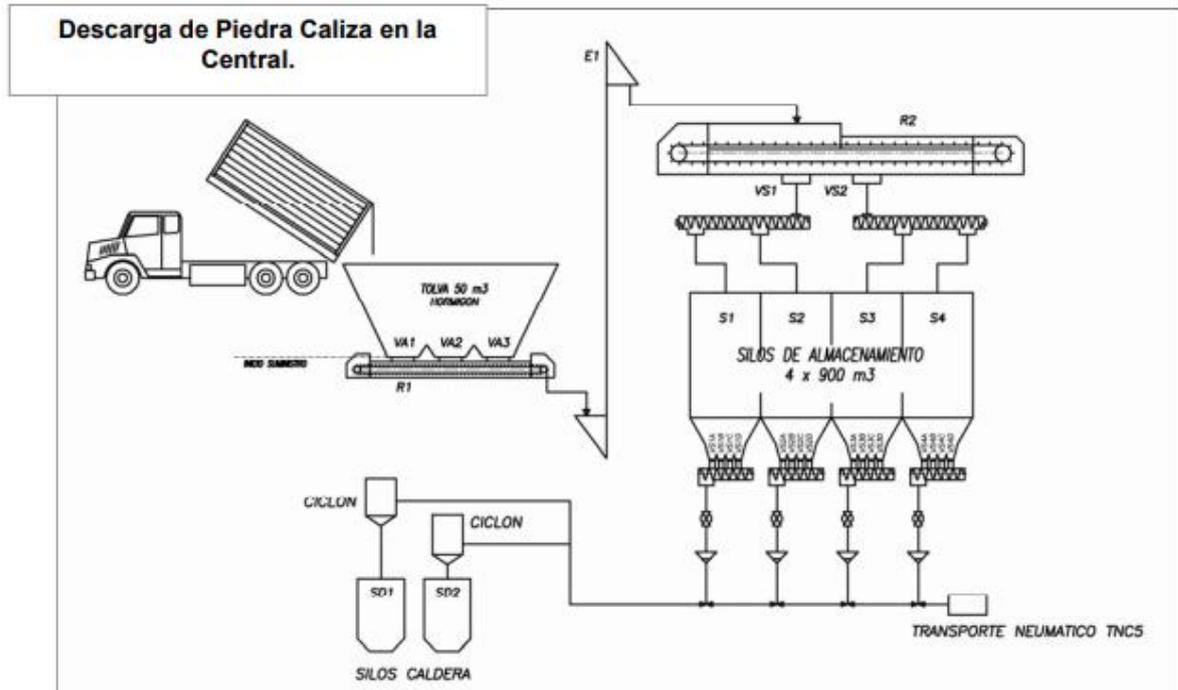


Figura 4. 31 Sistema de descarga y almacenamiento de la piedra caliza. Estudio de Impacto Ambiental.

Teniendo en cuenta que la planta operaría 10 meses al año con una capacidad aproximada del 90% y 2 meses al año con una del 45%, por el mantenimiento de las calderas, para dar un total de 7227 horas de producción por año, se calcula la autonomía en días:

Horas disponibles	8760
Factor de carga	0,825
Horas reales	7227
Requerimiento de caliza (tn/h)	11,14
Requerimiento de caliza (tn/año)	80508,78
Requerimiento promedio por día (tn/día)	220,57
Capacidad de almacenamiento (tn)	4680

Autonomía (días)	21,22
------------------	-------

Tabla 4. 6 Cálculos realizados con los datos de la hoja de datos del Anexo II.

La CTRT tiene que reabastecerse de este insumo en promedio cada 21,22 días sólo para operar, es decir, sin tener en cuenta todavía el stock de seguridad. Esto implica un desafío dada la ubicación, ergo, la lejanía de los proveedores, las condiciones climáticas, la infraestructura del país y varios factores más. Para los 10 meses que opera al 90% de su capacidad, requeriría de aproximadamente 241 toneladas por día, contando con 19,4 días de autonomía. Para los otros 2 meses, el consumo es la mitad, contando con una capacidad de 38,8 días de inventario.

Teniendo en cuenta que esta capacidad puede llegar a no ser suficiente para almacenar el inventario de ciclo y de seguridad óptimo, se deberá analizar si es más conveniente invertir en más silos o afrontar los costos extras de la gestión de inventarios. Asimismo, se puede analizar la posibilidad de construir infraestructuras de almacenamiento en diferentes puntos de la cadena logística (*Figura 4.32*).

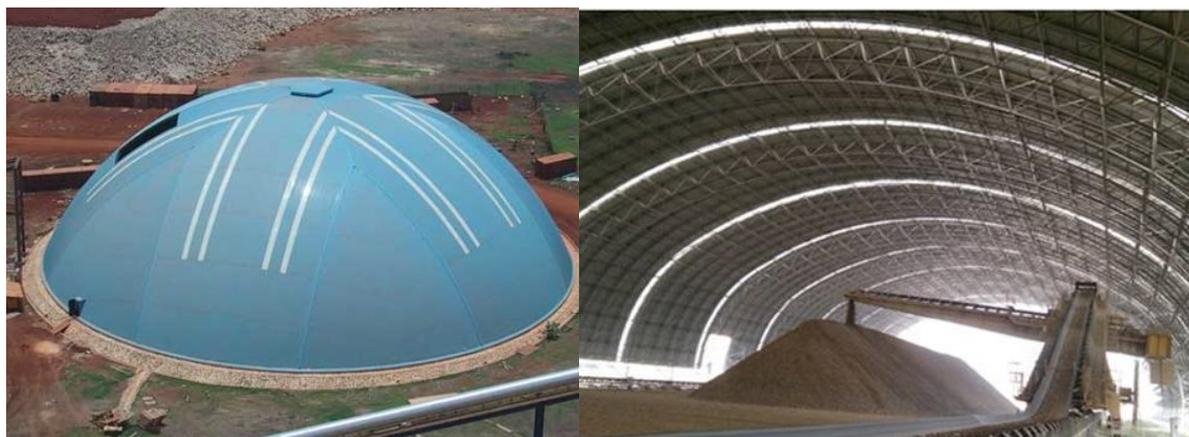
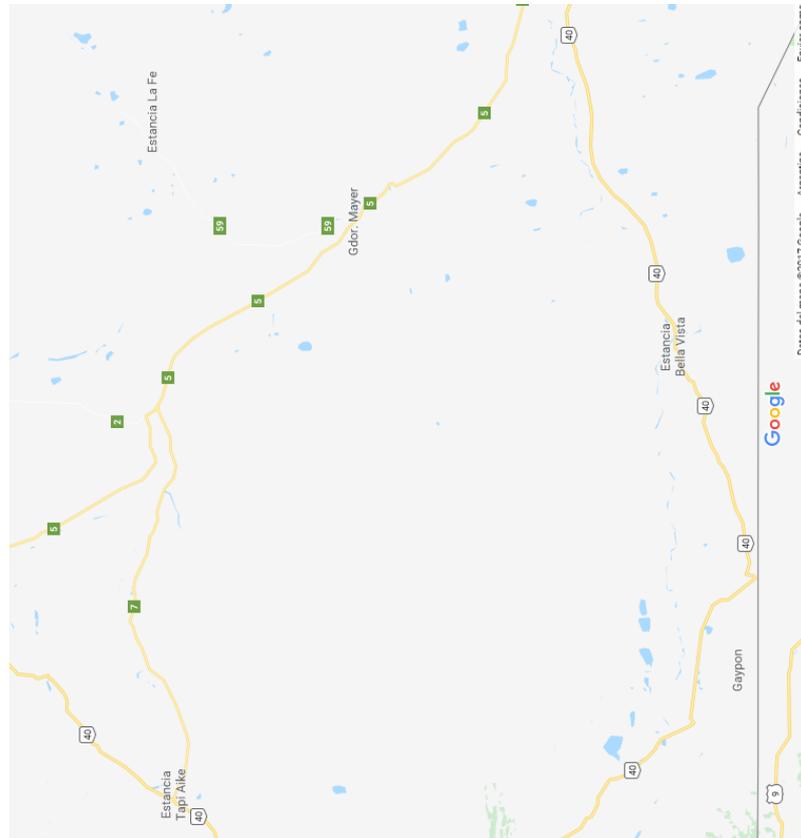


Figura 4. 32 Infraestructuras para el almacenamiento masivo de piedra caliza.

#### 4.3.2 Accesos a la CTRT

La CTRT se encuentra vecina a la Ruta Nacional N° 40 (RN 40). A través de esta ruta se puede acceder por el tramo inferior a Río Gallegos, aunque este trayecto es en su mayor parte de ripio, y por el tramo superior la ruta se extiende hacia el norte hasta La Quiaca, Jujuy. Otra alternativa más utilizada por el transporte de carga, debido al estado de las rutas, es el acceso desde el noreste mediante la combinación de la Ruta Nacional N° 3 (RN 3), y las

Rutas Provinciales 5 y 7 (RP 5 y 7). Desde Chile, se puede acceder mediante el Paso Dorotea o el Paso Laurita Casas Viejas.



*Figura 4. 33 Accesos viales a la CTRT.*

En cuanto a infraestructura vial, existe el Ramal Ferro Industrial Río Turbio, actualmente utilizado para el transporte de carbón desde el yacimiento hacia Río Gallegos y el Puerto Punta Loyola. De esta manera hay acceso marítimo desde este puerto mediante el tren y el Puerto Natales en Chile por ruta. A lo largo de los siguientes capítulos se analizará en mayor profundidad las características de cada acceso.



Figura 4. 34 Ramal Ferro Industrial Río Turbio.

## **Parte II – Análisis y Desarrollo de Alternativas**

A lo largo del Capítulo 4, se dimensionó la complejidad que conlleva el diseño de una red logística, que puede tener incontables soluciones posibles. El objetivo del presente trabajo no es realizar un análisis exhaustivo de todas ellas, sino seleccionar algunas redes con características distintivas para comprender las implicancias de cada una de ellas, y la interacción entre los distintos factores que influyen en el costo final de la operación de abastecimiento de caliza.

Con este objetivo, se seleccionaron tres orígenes posibles de piedra caliza, que serán desarrollados en mayor detalle en los Capítulos 5, 6 y 7. Cada una de las alternativas fue seleccionada según un criterio distinto.

- En el Capítulo 5 se analizará la región de San Juan, que se destaca por una calidad superior y amplia capacidad instalada para la producción de calizas, pero que tiene la gran desventaja de ubicarse a 3.000 kilómetros de la Central, con pocas posibilidades de transporte intermodal o multimodal.
- En el Capítulo 6, se estudiará la región de Neuquén, ubicada a una distancia menor que San Juan, pero con fácil acceso al tren y posibilidad de utilización de transporte intermodal.
- Por último, en el Capítulo 7, se tomará el caso de Pico Truncado, el proveedor más cercano a la Central que, si bien se desconoce el tenor de calcio de su caliza, tiene la gran ventaja de la proximidad a la Central.



## Capítulo 5: Abastecimiento desde San Juan

La provincia de San Juan, con una extensión total de 89.651 km<sup>2</sup>, se compone de un relieve mayoritariamente montañoso intercalado por valles en donde se desarrollan los “oasis”, producto del deshielo cordillerano. Dadas estas características geográficas, las principales actividades económicas de la provincia son la minería, la agroindustria y el turismo.

El principal atractivo turístico es el Valle de la Luna, al noroeste de San Juan, declarado Patrimonio de la Humanidad por la Unesco.

En cuanto a la agroindustria, las cadenas productivas vitivinícolas, olivícolas y hortícolas son de gran importancia. A modo de ejemplo, como se evidencia en la *Tabla 5.1*, San Juan se encuentra segundo tanto en cantidad como en superficie de viñedos, destacándose en la cosecha de las variedades de Syrah y Malbec.

PROVINCIAS	VIÑEDOS Cantidad	% SOBRE TOTAL	SUPERFICIE Hectáreas	% SOBRE TOTAL
MENDOZA	16.196	65,6	158.584,5	70,8
SAN JUAN	5.121	20,7	47.533,4	21,2
LA RIOJA	1.179	4,8	7.428,2	3,3
SALTA	269	1,1	3.245,2	1,4
CATAMARCA	1.276	5,2	2.697,0	1,2

*Tabla 5. 1 Cantidad de viñedos y superficie. Año 2016. INV.*

Por último, la actividad que compete a este estudio es la minera. La provincia de San Juan se encuentra entre las principales provincias mineras del país con Santa Cruz y Catamarca. En 2010, el 85% del valor (a precios del 1992) de la producción minera correspondía a los minerales metalíferos como el oro y la plata. San Juan aporta el “50% del oro extraído en el país y el 14% de la plata”<sup>14</sup>. Los principales yacimientos de son los de Veladero, Gualcamayo, Casposo y Pachón, operados por grandes empresas mineras transnacionales como Barrick Gold, Yamana Gold, Troy Resources y Glencore.

---

<sup>14</sup> Subsecretaría de Planificación Económica. “Informes productivos provinciales: San Juan” [En línea] [consulta: 10 de noviembre del 2017]. Disponible en: [https://www.economia.gob.ar/peconomica/dnper/fichas\\_provinciales/San\\_Juan.pdf](https://www.economia.gob.ar/peconomica/dnper/fichas_provinciales/San_Juan.pdf)

### Valor de la producción minera del 2010

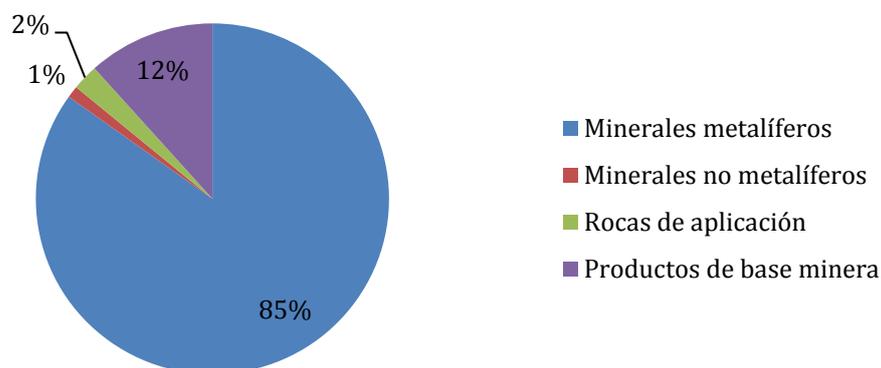


Figura 5. 1 Porcentaje del valor de la producción minera de San Juan. Año 2010. Elaboración propia a partir de información del Ministerio de Minería de la Provincia de San Juan.

Según las estadísticas del Ministerio de Minería de San Juan, el aprovechamiento de los yacimientos de caliza llegó a contribuir en el año 1998 un 40% del valor de la producción minera de la provincia. Después de su conversión en productos de base minera y la explotación de metales, el valor de la caliza libre bajó a un 0,3% del valor de la producción minera.

### Extracción de piedra caliza (tn)

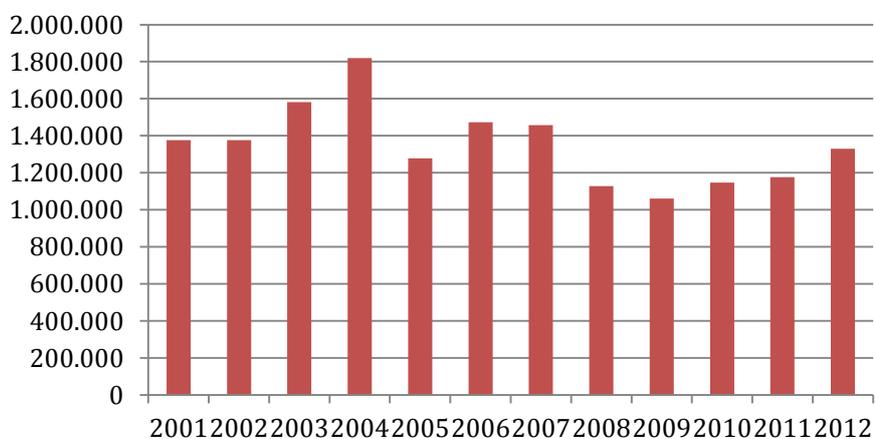


Figura 5. 2 Evolución de la extracción de caliza en toneladas del 2001 al 2012. Elaboración propia a partir de información del Ministerio de Minería de la Provincia de San Juan.

La caliza es una roca de aplicación que se encuentra en la Región Central PreCORDILLERA y la Región Oriental Sierras Pampeanas de San Juan. Los principales yacimientos se encuentran en los siguientes departamentos y polos de producción:

- Departamento Sarmiento (Los Berros, Divisadero y Cienaguita)
- Departamento Albardón (Villicum y La Laja)
- Departamento Zonda (Sierra Chica)
- Departamento Jáchal

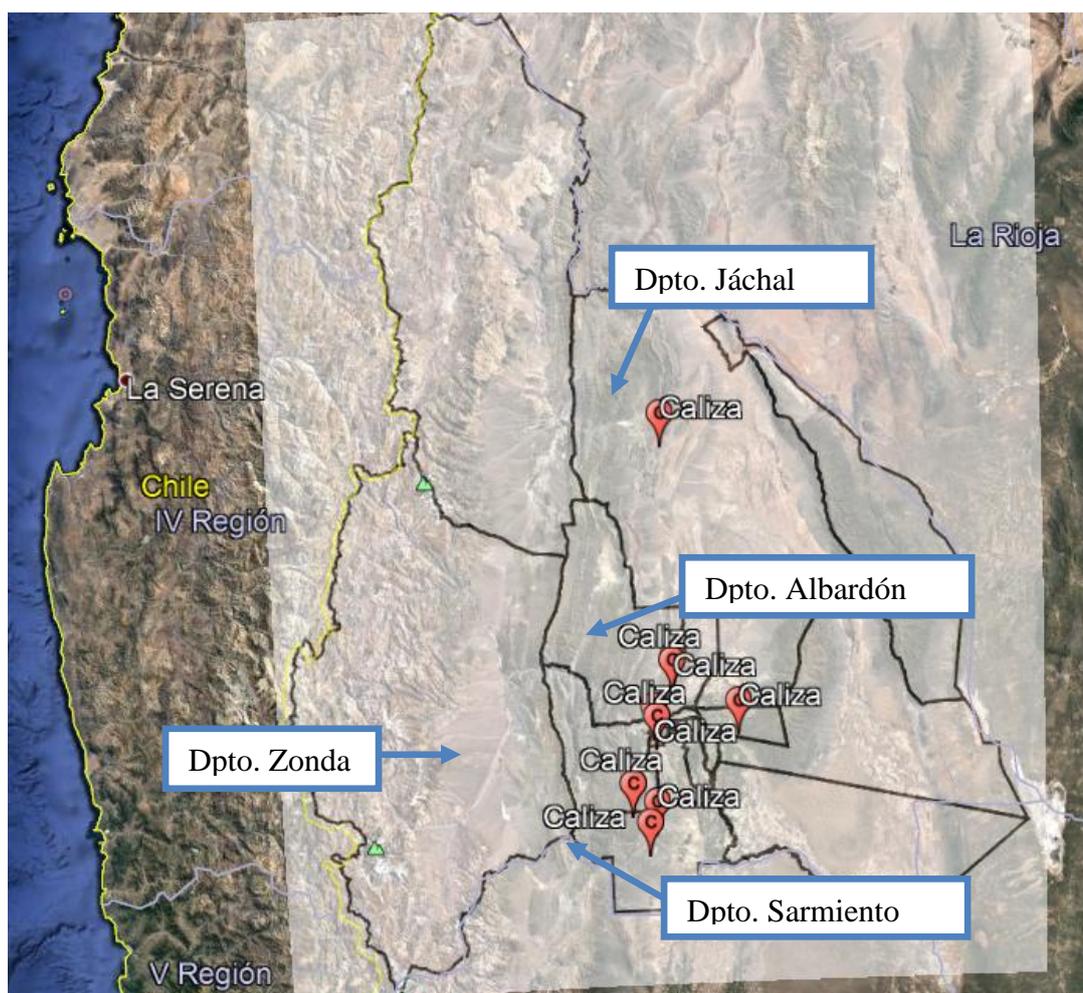


Figura 5. 3 Superposición de SIG Geológico Minero, que indica los yacimientos de caliza, y un mapa departamental de San Juan. Ministerio de Minería de la Provincia de San Juan.

Dada la abundancia de este mineral en San Juan, más de 3.000 millones de toneladas, la ubicación de las explotaciones se determina según la disponibilidad de infraestructura

poblacional y de transporte en la zona. Asimismo, las calizas de San Juan son “de elevada pureza, (cuyas impurezas clásticas llegan a ser menos del 5%)”<sup>15</sup>.

Dada su calidad alta, las calizas de San Juan son solicitadas por la industria siderurgia y para la construcción, siendo la cal uno de los componentes del cemento. Asimismo, aproximadamente un 30% de la piedra caliza se exporta a Chile ya que los yacimientos del país vecino no son superficiales como los de Argentina por lo que es muy difícil la extracción de la roca. Tanto en Chile como en Argentina se utiliza como neutralizante para producir oro y plata.

## **5.1 Proveedores de Piedra Caliza en San Juan**

En San Juan existen aproximadamente veinticinco empresas con yacimientos activos. Este mercado está bastante concentrado: tres empresas tienen aproximadamente la mitad de la producción de calizas.

Para seleccionar a los proveedores primero se descartaron aquellas que sólo proveían de cal y no de piedra caliza. Luego, se eligieron las empresas que serían capaces de cumplir con los requisitos de calidad y abastecer el volumen demandado por la CTRT.

A continuación, se enuncian y se describen los posibles proveedores de San Juan:

### *Proveedor 1: Sibelco*

Se trata de una multinacional, de origen belga, que desde el 2008 fue lentamente expandiendo su participación en el mercado argentino a través de la adquisición de las mineras TEA en La Laja, La Buena Esperanza SA en Los Berros y El Volcán SRL en Villicum. Opera 228 centros de producción en 41 países.

### *Proveedor 2: Compañía Minera del Pacífica S.A.*

La calera más antigua de capitales extranjeros de San Juan, ubicada en Jáchal. Es una compañía de capitales chilenos y actualmente no tiene compradores locales si no que solamente exporta piedra caliza a Chile.

### *Proveedor 3: CEFAS SA (Grupo Calindra)*

---

<sup>15</sup> Ministerio de Minería, Gobierno de San Juan. “Calizas” [En línea] [consulta: 17 de noviembre del 2017]. Disponible en: [http://serviciosmineria.sanjuan.gov.ar/recursos/min\\_extract\\_pdf/Calizas.PDF](http://serviciosmineria.sanjuan.gov.ar/recursos/min_extract_pdf/Calizas.PDF)

Fundada en 1995, el grupo empresario argentino integrado por la familia Brandi hizo crecer a la compañía mediante la adquisición de varias plantas y yacimientos de Córdoba, Neuquén y San Juan. En el 2016, el grupo mexicano Calindra, cuarto productor global de cales y primero en Latinoamérica, adquiere el 51% de las acciones de CEFAS con el fin de aportar capital para el desarrollo de nuevos negocios.

*Proveedor 4: Caleras San Juan S.A.*

Es una empresa minera fundada en 1952, ubicada en el distrito de Cienaguita. Comercializan piedra caliza, dolomías y cales vivas e hidratadas. La compañía se ubica como una de las principales productoras de cal de Argentina mediante sus múltiples proyectos de inversión en tecnología italiana y suiza.

*Proveedor 5: Canteras Blancaley SA (Grupo Calderón)*

El Grupo Calderón está compuesto por tres líneas principales Miguel Calderón e Hijos S.A., Blancaley S.A y La Lily S.A.. Las primeras dos se dedican a la producción y comercialización de cales vivas e hidratadas y de triturados de carbonatos y dolomías en San Juan y Córdoba. La Lily S.A. se dedica a la comercialización de materiales para la construcción.

*Proveedor 6: FGH SA*

Esta empresa cuenta con más de 50 años de experiencia en la extracción y comercialización de piedra caliza y sus productos. Fue fundada por un mendocino, Francisco García, y en el 1960 comenzó su producción en el departamento de Sarmiento en San Juan. Tiene una producción diaria de aproximadamente 500 tn/día y adquiere otras 300 tn/día a otras canteras de la zona.

A continuación, se detalla la información que se obtuvo de cada proveedor que respondió a las solicitudes de las especificaciones técnicas y de cotización:

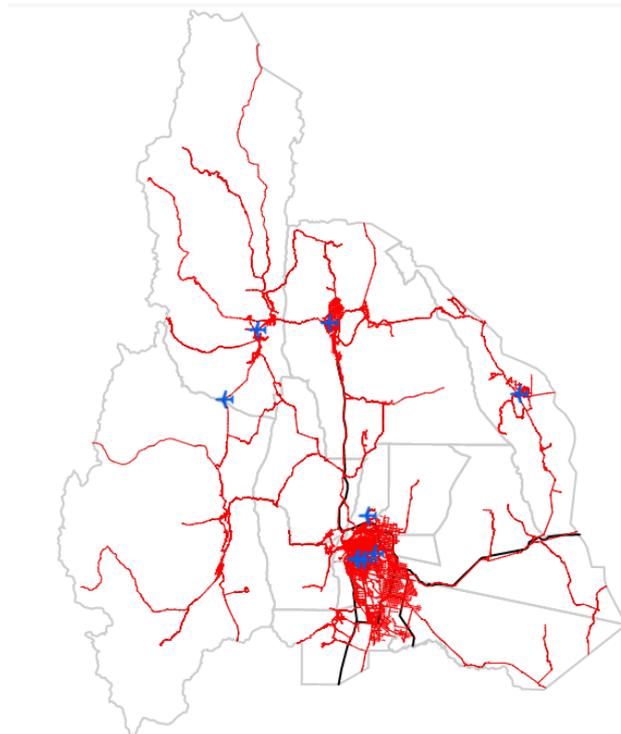
Componentes de la cal	Unidades	Especificaciones requeridas	Prov. 2	Prov. 4	Prov. 5	Prov. 6
CaCO <sub>3</sub>	%	92	95-98,5	96	99	>95
MgCO <sub>3</sub>	%	2	< 3	-	0,51	<1
H <sub>2</sub> O	%	0,5	-	2	-	-
Densidad	t/m <sup>3</sup>	1,3	1,5-1,7	-	-	-
Granulometría	mm	0,01-1	12 - 40	0 - 3,35		0 - 4
Cotización (ExWorks)	USD/t		10	9,24 (granel) 14,85 (Big Bag)	-	-

Tabla 5. 2 Información de proveedores de San Juan.

## 5.2: Alternativas Logísticas para el Abastecimiento

El transporte de la caliza desde San Juan hasta la Central Térmica de Río Turbio es un gran desafío dado el volumen y las distancias de la operación.

En primer lugar, se analizaron las vías de comunicación disponibles en San Juan para el traslado de la piedra caliza. En la *Figura 5.4*, se visualiza en rojo las calles y los caminos, en negro las vías de los ferrocarriles y en azul los aeropuertos, aeródromos y aeroclubes. Cabe destacar que la provincia cuenta con un aeropuerto internacional ubicado a 12 km de la capital provincial y los otros nueve puntos identificados en el mapa son aeródromos, aeroclubes y hangars. Sin embargo, no se consideró la opción de transporte aéreo ya que es un medio de transporte muy caro para un material tan barato.



*Figura 5. 4 Infraestructura de vías de comunicación de San Juan. Universidad de San Juan.*

Dado que San Juan cuenta con rutas nacionales y provinciales y ferrocarriles, se consideran a continuación las siguientes alternativas:

- Alternativa 1: transporte automotor hasta la CTRT.
- Alternativa 2: transporte intermodal vía Chile, compuesto por transporte automotor hasta Chile, transporte marítimo por el océano Pacífico hasta Puerto Natales y reingreso en transporte automotor en el sur de Argentina.
- Alternativa 3: transporte multimodal vía el Puerto de Buenos Aires, compuesto por ferrocarril hasta el puerto de Buenos Aires, barcaza hasta Punta Loyola y tren o camión hasta CTRT.
- Alternativa 4: transporte intermodal vía Chile, compuesto por transporte automotor hasta Chile, transporte marítimo por el océano Pacífico hasta Punta Arenas y reingreso en transporte automotor en el sur de Argentina.

### **5.2.1 Alternativa 1: transporte automotor.**

La primera alternativa a evaluar es el transporte automotor desde San Juan a la Central Térmica de Río Turbio. Se comenzará el análisis con una evaluación de los camiones

necesarios y los distintos transportistas posibles. Luego se realizará un estudio de las condiciones de las rutas y por último se hará una estimación del costo de esta alternativa.

### ***5.2.1.1 Flota de camiones y operadores logísticos***

Para el transporte automotor se recomienda un semirremolque con carrocería tipo caja o tipo bañera o camiones batea, también conocidos como camiones tolva que, dependiendo del modelo disponible, pueden transportar entre 10 a 30 toneladas de piedra caliza a granel. Dado que esta alternativa no requiere traslados de un medio a otro, es más conveniente el transporte a granel para evitar los costos asociados al empaque del material en Big Bags o contenedores. El material se puede proteger de la intemperie durante el transporte con lonas.



*Figura 5. 5 Carrocería tipo bañera (izquierda) y tipo caja (derecha).*



*Figura 5. 6 Ejemplos de los camiones que se deberían utilizar.*

Un camión puede recorrer entre 600 y 700 km por día. Dadas las condiciones dificultosas de las rutas argentinas, se va a tomar el supuesto pesimista de que recorra 600 km por día. Ergo, tardaría 5 días en cubrir los 3.000 km de San Juan a Río Turbio. Como el requerimiento diario de caliza es de aproximadamente 245 toneladas, y cada camión tolva lleva aproximadamente 28 toneladas se necesitarían alrededor de 9 camiones diarios. Como el ciclo de camión, contando la vuelta, es de 10 días, da una flota total de aproximadamente 90 camiones.

Para esta alternativa se recomienda contratar a un transportista que pueda manejar adecuada y eficientemente esta flota de camiones. A continuación, se describen algunos aptos para la operación.

#### *Operador logístico 1: Don Pedro*

Fundada en 1971, Don Pedro es una empresa familiar que creció a tener una flota de más de 9.000 unidades y 5 centros logísticos Regionales y otros 18 en el país. Para cumplir con los niveles de servicio y calidad, Don Pedro invierte constantemente en la renovación de la flota y en tecnologías informáticas que permiten, por ejemplo, el rastreo satelital de la carga siendo transportada. Cuenta con clientes como Dow, Total, Unilever, YPF, Cementos Minetti y Coca Cola, por nombrar algunos.

#### *Operador logístico 2: Transporte Morrison*

Es una empresa que realiza servicios de transporte por todo el país y que tiene su casa central en Río Gallegos. Está posicionada como una de las principales empresas de servicios de transporte de la provincia de Santa Cruz y del país. La ventaja de un transportista local es que al tener más negocios en el sur del país quizás se pueda obtener un precio más barato al conseguir carga para que el camión no vuelva al norte del país vacío.

#### *Operador logístico 3: Cruz del Sur*

Fundada en 1957, Cruz del Sur tiene una larga trayectoria y experiencia para atender a las exigencias de sus clientes. Al igual que Transporte Morrison, Cruz del Sur fue fundada en Santa Cruz, con su primera sucursal en el Puerto San Julián. La ventaja de Cruz del Sur es que cuenta con una división de minería con varios servicios particulares para el traslado de rocas y minerales. Cruz del Sur cuenta con sucursales tanto en Santa Cruz como en San Juan. Incluso tiene una sucursal en Río Turbio, enfrente a la CTRT. Esta vasta red de sucursales brinda una mejor calidad de servicio y disponibilidad de choferes para la operación.

*Operador logístico 4: Transporte Vesprini S.A.*

Con más de 30 años de experiencia, brinda servicios de asesoramiento y transporte de diversos tipos de cargas. Tiene una flota de camiones diversa, incluyendo camiones batea para el transporte a granel. Cuenta con varias sucursales al sur del país pero con ninguna en la Región de Cuyo.

**5.2.1.2 Condiciones de las rutas.**

A continuación, se analizarán los posibles trayectos desde San Juan a la CTRT y las condiciones de las rutas. De los proveedores analizados, la Compañía Minera del Pacífico tiene sus yacimientos en el departamento Jáchal, aproximadamente 240 km más al sur que el resto de las caleras que se encuentran ubicadas en el departamento Sarmiento.

Las rutas posibles de San Juan a la CTRT se encuentran en la *Figura 5.7*.



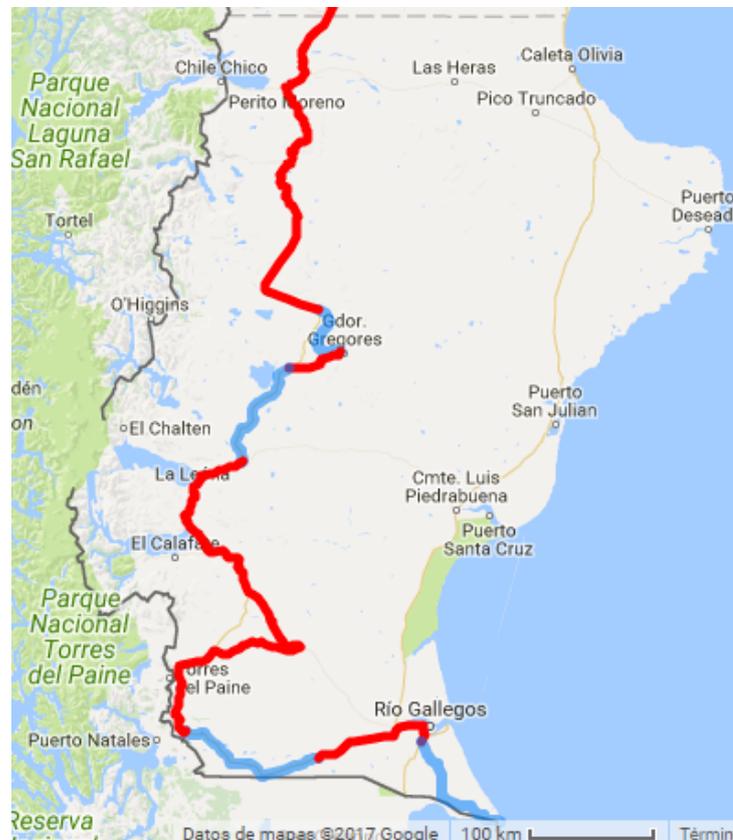
*Figura 5. 7 Mapas de las alternativas de ruta de San Juan a la CTRT.*

- a) RN 153 desde las caleras en el departamento de Los Berros hasta la RN40. Continuar por la RN 40 hasta Collón Cura, Neuquén en donde se toma la RN 234 y 237 para

luego retomar la RN 40 en San Carlos de Bariloche hasta la CTRT. Este camino recorre un total de 3.014 km.

- b) Desviarse en Mendoza por la RN7 hasta la RP153, luego tomar la RN 143 y la RN 151 para tomar la RN 237 y volver a incorporarse a la RN 40 en San Carlos de Bariloche hasta la CTRT. Esta ruta es la más corta, de 2.969 km.
- c) Una ruta más larga, de 3.109 km, sería tomar las RN 20 y 143 a Villa Merced, San Luis para tomar la RN 148, 35, 154 y 251 hasta San Antonio Oeste, Río Negro, para tomar la RN 3 hasta cruzarse con la RP 5 en Santa Cruz y tomar la RP5 y 7 hasta la CTRT.

Al elegir una ruta, hay varias cuestiones que se deben considerar. En primer lugar, varios trayectos de las rutas propuestas no se encuentran pavimentados. A modo de ejemplo, en la *Figura 5.8* se visualiza los trayectos de ripio.



*Figura 5.8* tramos pavimentados en rojo y de ripio en celeste.

La Agencia de Seguridad de Vial de la provincia de Santa Cruz expresó que las rutas de la provincia se cortan frecuentemente por condiciones climáticas. Manifestaron que se suelen cortar las rutas por:

- Acumulación de nieve.
- Por la noche ya que no cuentan con servicio de auxilio o asistencia de noche y las temperaturas pueden llegar a los  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  provocando heladas.
- Por fuertes vientos.
- Por lluvias.

Expresaron que el tramo de la RN 40 de Lago Cardiel a Tres Lagos se suele cortar con frecuencia ya que, al ser de ripio, con una hora de precipitaciones ya se dificulta la circulación.

Asimismo, los cortes no sólo se deben a condiciones climáticas si no que según la Agencia de Seguridad Vial la zona sur del país es muy conflictiva y hay múltiples piquetes por la presencia de grandes empresas petroleras. En particular, destacaron que la RN 3 suele estar cortada a la altura de Caleta Olivia por diferentes sindicatos.

En segundo lugar, hay una gran cantidad de accidentes de ruta y trayectos tan largos implican una mayor exposición al riesgo para el conductor. Hay tramos de estas rutas en muy pobres condiciones y tramos peligrosos. Por ejemplo, en la RN3 existe una curva muy cerrada conocida como la curva “La Calera”, en la provincia de Santa Cruz a 5 km de la frontera con Chubut, que es un escenario frecuente de vuelcos.



*Figura 5. 9 Vuelco de un camión de la curva “La Calera”*

### ***5.2.1.3 Costo de la alternativa***

Para estimar un costo por km y por tonelada para viajes de larga distancia, se utilizó el tarifario de referencia nacional elaborado por la FADEAAC para el transporte granelero de cereales y oleaginosas del 1ro de agosto del 2017. El mismo considera que el transporte se realiza con un camión Ford 1722 con un acoplado Helvética de 3 ejes. Este tarifario, toma en cuenta los componentes del costo de personal, seguros, combustible, alquileres de garaje, patentes, gastos administrativos, neumáticos, reparaciones, peajes, impuestos y costo financiero.

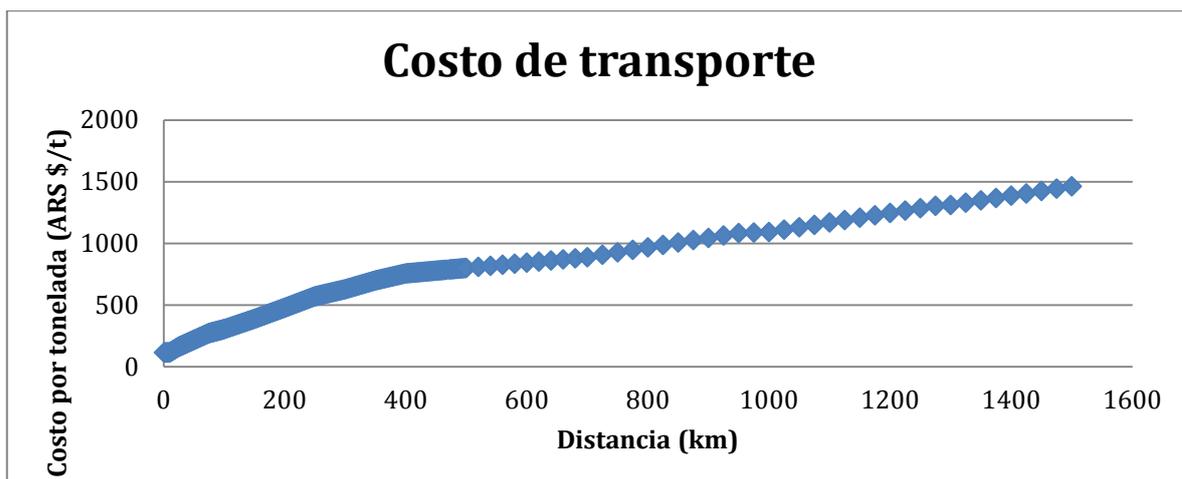


Figura 5. 10 Gráficos de \$/T en función de la distancia. FADEAAC.

Utiliza diferentes fórmulas para los viajes de corta distancia (<100 km), de mediana distancia (100 a 650 km) y de larga distancia (>650 km). Se utilizará la porción de larga distancia.

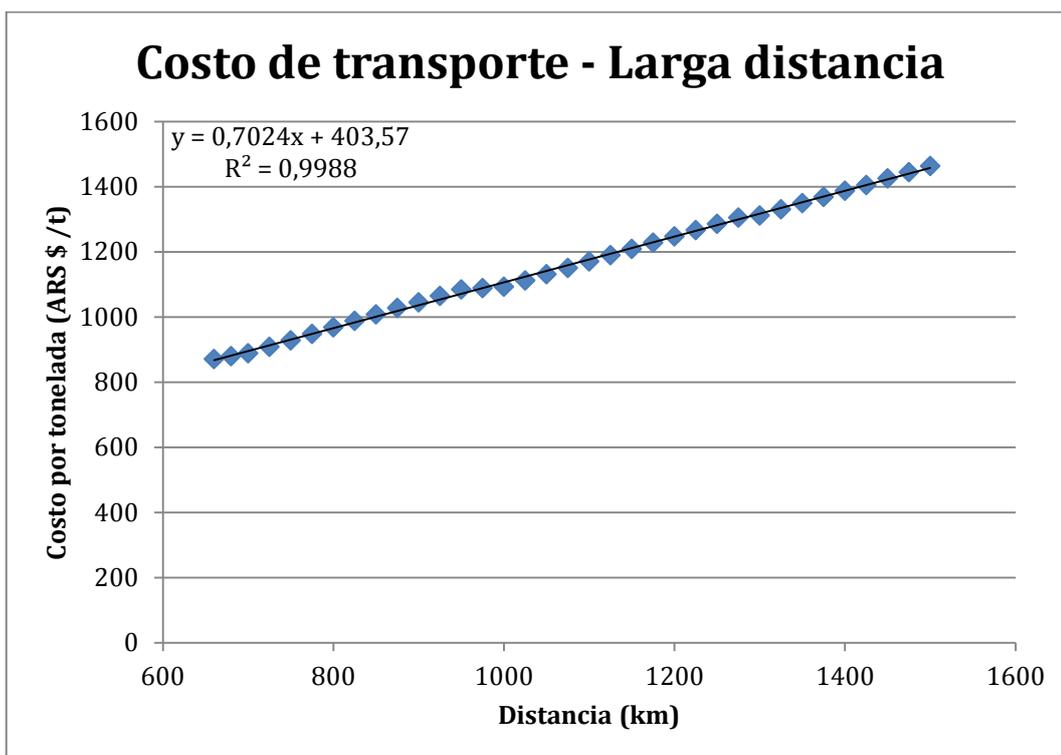


Figura 5. 11 Gráfico de \$/t en función de la distancia para viajes de larga distancia. FADEAAC.

Sin embargo, este tarifario “considera que parte de los viajes vuelven con cargas”<sup>16</sup> y que el trayecto se realiza por rutas pavimentadas. Al consultar con expertos logísticos, se determinó que el número obtenido se debería afectar por un factor de 1,3 por los tramos de ripio y multiplicar por 2 si no se consigue carga para la vuelta del camión. Dadas estas condiciones, se obtuvo un costo del transporte de 0,12 USD/km.t. Esto da un costo total de aproximadamente 437.400 USD/mes.

Según una estimación realizada por el Ministerio de Energía y Minería, el costo por km de una obra de rehabilitación y mantenimiento, contratada con una empresa privada sacado de las últimas obras contratadas en la provincia de Santa Cruz, con precios predeterminados a la fecha es de aproximadamente \$8.500.000 por km. Se supone que estas obras se realizan cada 10 años. Si se considera que el volumen transportado en esta operación puede significar entre un 1% a un 20% del volumen total transportado por una ruta, se incurre en un impacto en la infraestructura vial equivalente a entre 1,5 a 30 millones de dólares anuales. Si se adiciona estas inversiones necesarias para contrarrestar los deterioros provocados por esta operación, el transporte carretero es inviable.

### **5.2.2: Alternativa 2: intermodal vía Chile a Puerto Natales.**

La segunda alternativa a considerar es el transporte de la piedra caliza a Chile y su traslado al sur por buque desde el Puerto de Valparaíso hasta el Puerto Natales (*Figura 5.12*).

---

<sup>16</sup> Subsecretaría de Transporte Automotor. “Transporte Automotor de Cereales. Informe sobre costos y Precios de Referencia.” [En línea] [consulta: 2 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://www.fadeeac.org.ar/wp-content/uploads/2010/02/disp%20273-11%20tarifas%20cereales.pdf>



Figura 5. 12 Mapa de la alternativa 2.

### 5.2.2.1 Pasos fronterizos

El cruce de la frontera se debería realizar en los pasos Sistema Cristo Redentor y Dorotea o Laurita – Casas Viejas. El paso Río Don Guillermo en Santa Cruz no es analizado por ser un paso turístico y vecinal. El paso en San Juan, denominado Aguas Negras, se encuentra cerrado frecuentemente por las condiciones climatológicas, por lo general se encuentra abierto desde noviembre hasta abril. Además, aproximadamente 140 km de los 500 km que unen San Juan con la Región de Coquimbo en Chile no están pavimentados. Asimismo, no se registran transportes de carga por este paso, si no que se utiliza casi exclusivamente para el transporte vehicular. Según un estudio del año 2009, de los 38 pasos fronterizos, sólo los 16 que se listan en la *Tabla 5.3* se utilizan para el transporte de cargas.

Nombre del paso	Carga (tn)
Sistema Cristo Redentor	4.625.871
Integración Austral	796.346
San Sebastián	578.610
Pino Hachado	442.350
Cardenal Antonio Samoré	316.449
Jama	303.201
Huemules	86.699
San Francisco	17.746
Sico	15.958
Dorotea	8.481
Coihaique	5.486
Futaleufú	5.254
Río Jeinemeni – Chile Chico	4.620
Socompa	1.839
Río Manso	32
Laurita – Casa Viejas	29

Tabla 5. 3 Carga en tn transportada por los pasos fronterizos Argentina-Chile.

El Paso Internacional Los Libertadores, también conocido como el Túnel del Cristo Redentor o Sistema Cristo Redentor, es el paso más utilizado concentrando aproximadamente un 65% del transporte de carga por la frontera.

Para el acceso desde Puerto Natales se recomienda el acceso por el Paso Dorotea ya que la ruta del paso Laurita – Casa Viejas no está del todo pavimentado.

Sin embargo, al consultar con expertos logísticos, la mayoría opinan que esta opción es inviable debido a las grandes demoras que hay en los pasos fronterizos. Estas demoras implican un “tiempo muerto” del camión que hacen que esta alternativa se vuelva muy costosa. Uno de los expertos, que prefería mantenerse anónimo, opinó:

*“Si bien técnicamente podría ser viable, tiene una gran complejidad, pues hay que cruzar 2 veces la aduana, y esto puede llevar entre 2 y 4 días en total. En invierno hay cruces que están cerrados, y los fines de semana es más costoso. Además, muchas veces hay paros en las aduanas argentinas o chilena.*

*El problema estaría también con la mercadería, pues esto no es ninguna exportación ni importación, y cuando quieran volver a entrar, se van a encontrar con que la aduana argentina va a querer cobrar aranceles.*

*En definitiva, esta opción es casi inviable.”*

Sin embargo, al indagar más en el inconveniente aduanero mencionado por el experto, se encontró que para el traspaso temporario de la mercadería por otro país sólo hay que abonar los aranceles de exportación como una póliza de caución que se devuelve al reingresar la mercadería al territorio nacional.

En cuanto a las demoras, en la conferencia organizada por el Centro Argentino de Ingenieros, el Licenciado Guillermo Campra expuso en su presentación titulada “Políticas de Transporte Automotor de Cargas con impacto en la competitividad” que actualmente las demoras en los pasos fronterizos están empeorando y que el trayecto de Mendoza capital al Puerto de Valparaíso está demorando 7 días.

Otra desventaja de esta alternativa son los frecuentes cortes de los pasos fronterizos en invierno por las condiciones climatológicas. El gobierno sanjuanino está negociando “con autoridades de la Cuarta Región de Chile para construir un centro de acopio para las cales en el vecino país”<sup>17</sup>. Dado que el 27% de la producción sanjuanina se exporta a Chile, este almacén es crítico para garantizar esta exportación ya que si no las “intensas nevadas (...) interrumpen la circulación de los camiones por el paso internacional Los Libertadores, en Mendoza, única vía para hacer llegar la producción al vecino país.”<sup>18</sup>

No se considera utilizar el ferrocarril chileno Ferronor para cruzar la cordillera ya que cuenta con tan solo 8 vagones y transporta productos de alto valor agregado.

#### **5.2.2.2 Puertos**

El Puerto Valparaíso es el principal puerto de carga y de pasajeros de Chile. Es administrado por la Empresa Portuaria Valparaíso (EPV) que otorgó la concesión de sus dos Terminales Portuarias: la Terminal 1 que está administrada por Terminal Pacífico Sur Valparaíso S.A. (TPS) y la Terminal 2 por Terminal Cerros de Valparaíso (TCVAL). Además de estas dos terminales de carga y de pasajeros, el puerto también tiene una Terminal de Pasajeros concesionada a Valparaíso Terminal de Pasajeros (VTP) y el Puerto Barón y Muelle Prat que son para usos comerciales, turísticos, urbanos y de paseo público. Asimismo, la puerta de entrada y de salida a Puerto Valparaíso esta concesionada a ZEAL Sociedad Concesionaria S.A. (ZSC).

---

<sup>17</sup> Diario De Cuyo. “Quieren hacer un centro de acopio para asegurar la venta de cal a Chile” [En línea] [consulta: 27 de noviembre del 2017]. Disponible en: <https://www.diariodecuyo.com.ar/economia/Quieren-hacer-un-centro-de-acopiopara-asegurar-la-venta-de-cal-a-Chile-20170526-0118.html>

<sup>18</sup> Idem.

A continuación, se exhiben una serie de gráficos, tablas e imágenes que resumen la operación de transporte de carga del Puerto Valparaíso.

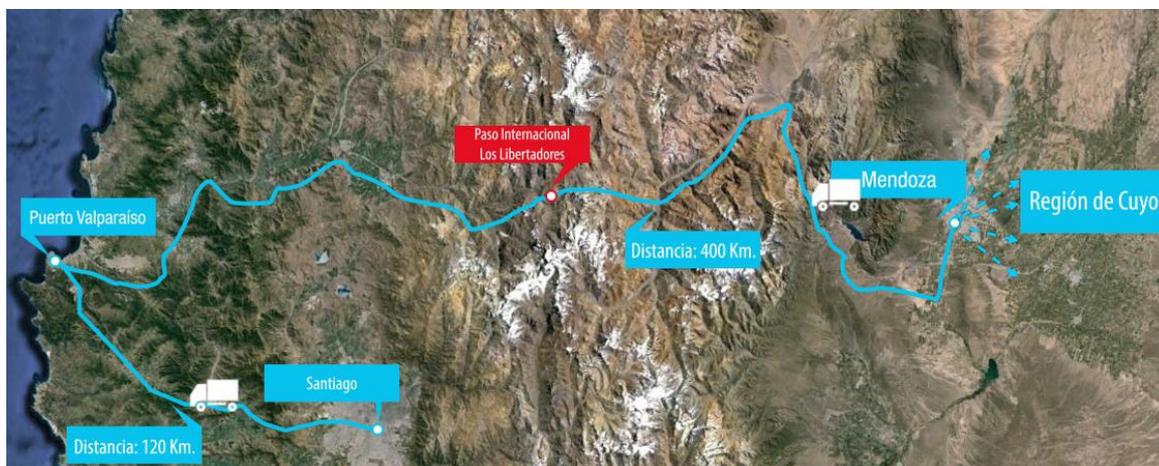


Figura 5. 13 accesos al Puerto Valparaíso.

Según el Boletín Estadístico Marítimo de 2016, de los 54 puertos chilenos, los primeros 15 concentran el 82% del tonelaje total movilizado. El Puerto Valparaíso se encuentra 7mo en ese ranking. A continuación, se evidencia la evolución de la carga transferida por el mismo.

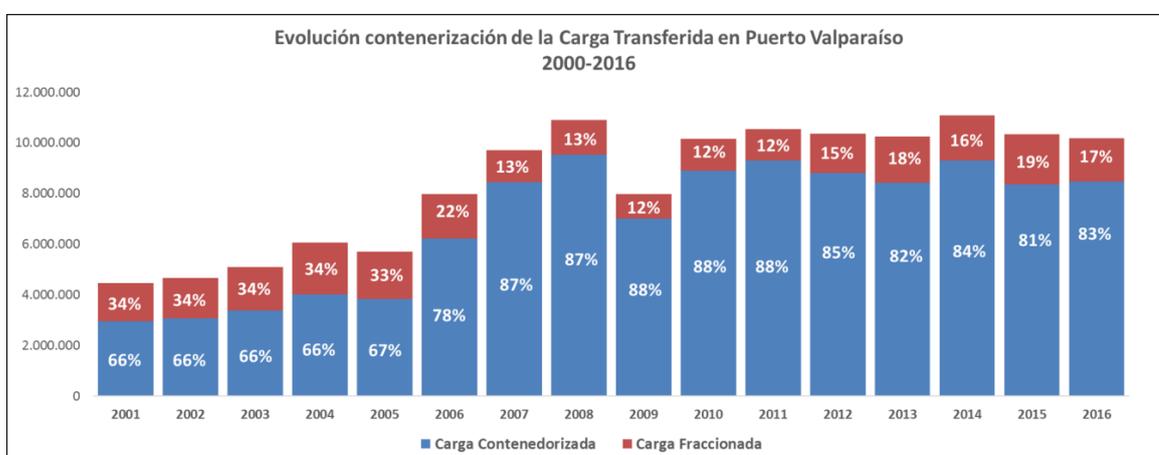


Figura 5. 14 Evolución de la carga transferida en Puerto Valparaíso del año 2000 al 2016.

El calado máximo del Puerto Valparaíso es de 13,8m en los sitios 1, 2 y 3 de la Terminal, permitiendo el acceso a buques con capacidad de más de 6.000 TEUs.

Sitio	Largo Total (Mts.)	Calado Máximo Autorizado (Mts.)
1	188,5	13,8
2	200,0	13,8
3	231,5	13,8
4	230,5	9,4
5	152,2	9,4

*Tabla 5. 4 Características de los sitios de la Terminal 1. Directemar.*

Sitio	Largo Total (mts.)	Calado Máximo Autorizado (Mts.)
6	245,0	8,4
7	120,0	6,2
8	240,0	8,8

*Tabla 5. 5 Características de los sitios de la Terminal 2. Directemar.*

El destino de llegada es el Puerto Natales cuya única terminal está concesionada a la Empresa Portuaria Austral (EPA). La terminal cuenta con tres sitios de atraque: “uno especializado para el servicio de naves del tipo Roll on – Roll off (sitio sur), otro para cruceros internacionales de mediana dimensión (sitio west) y el tercero para embarcaciones menores.”<sup>19</sup>. Los buques Roll on – Roll off (RO-RO), son aquellos que transportan cargamento rodado.

---

<sup>19</sup> EPAUSTRAL. “Memoria 2016”. [En línea] [consulta: 27 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.epaustral.cl/wp-content/uploads/2017/08/MEMORIA-2016-1.pdf>

Este puerto concentra tan sólo un 0,1% de los movimientos en toneladas de los puertos chilenos.

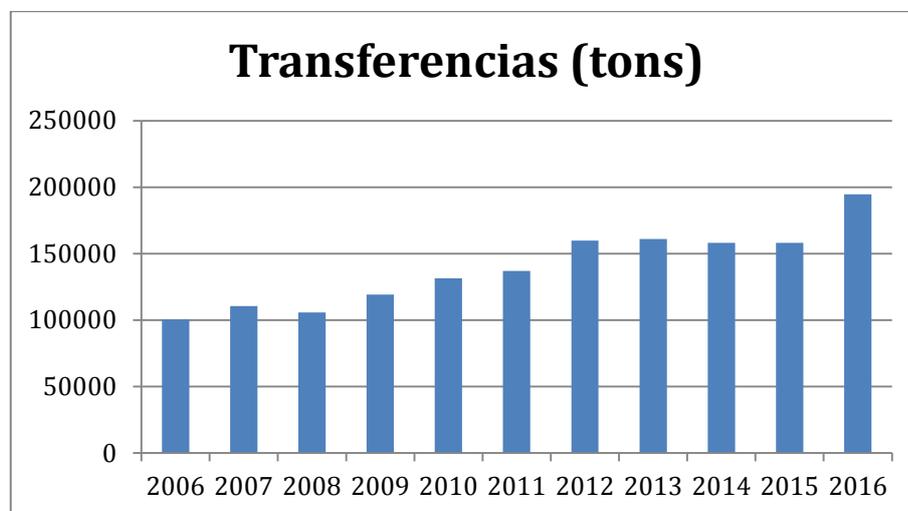


Figura 5. 15 Ttransferencias en toneladas en el Puerto Natales del año 2006 al 2016.

Dadas las características del puerto, no se admitirían buques portacontenedores. La eslora y el calado máximos permitidos son de 135m y 6,6m respectivamente, prohibiendo la entrada de la categoría más pequeña de buques portacontenedores (“Early containerhips”) que tienen una eslora de 137m y un calado de 9m.

DESCRIPCIÓN	VALOR
FRENTE DE ATRAQUE	1
SITIOS DE ATRAQUE	3
MTS. LINEALES DE ATRAQUE	33
ANCHO MUELLE [M]	11
ESLORA MÁXIMA AUTORIZADA [M]	135
BOYAS	1
DUQUES DE ALBA	4
CALADO MÁXIMO AUTORIZADO [M]	6,6
DWT	4.700,00
BODEGAS (M2)	700
SUPERFICIE TOTAL (M2)	17.000,00

Tabla 5. 6 características de la Terminal Puerto Natales.

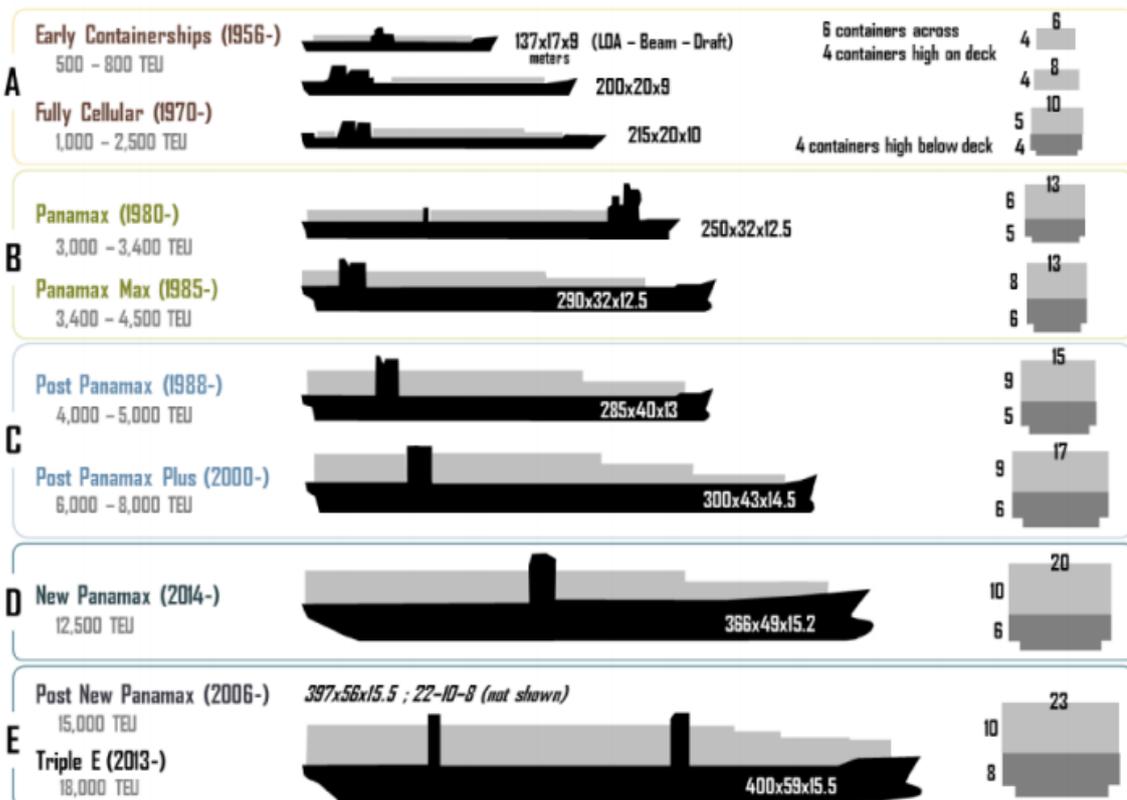


Figura 5. 16 Características de los buques portacontenedores.

Asimismo, el acceso a los puertos de la Zona Austral de Chile suele estar restringido por cuestiones meteorológicas (*Figura 5.17*).

TERCERA ZONA NAVAL » subir						
EDEN	Abierto - Condiciones normales	NORMAL		07/12/2017 06:09	Viento estimado Dirección 295° Intensidad 1 nudos	CALMA (sin dirección).
PUERTO NATALES	Cerrado para naves menores DENTRO Y FUERA de la bahia	TIEMPO VARIABLE		07/12/2017 08:17	Viento medido con instrumentos Dirección 330° Intensidad 23 nudos	RIZADA del Norte
PUNTA DELGADA	Cerrado para naves menores FUERA de la bahia	TIEMPO VARIABLE	TIEMPO VARIABLE	07/12/2017 06:13	Viento medido con instrumentos Dirección 010° Intensidad 19 nudos	MAREJADILLA del SurEste
PUNTA ARENAS	Cerrado para naves menores FUERA de la bahia	TIEMPO VARIABLE	SE SUSPENDE TRAFICO DE NAVES MENORES FUERA LOS LIMITES DEL PUERTO	07/12/2017 06:35	Viento medido con instrumentos Dirección 025° Intensidad 21 nudos	RIZADA del NorEste
TIERRA DEL FUEGO	Cerrado para naves menores DENTRO Y FUERA de la bahia	TIEMPO VARIABLE	PUERTO CERRADO PARA EMBARCACIONES MENORES DENTRO Y FUERA DE LOS LIMITES DE LA BAHÍA.	07/12/2017 09:15	Viento medido con instrumentos Dirección 035° Intensidad 15 nudos	MAREJADILLA del NorEste
PUERTO WILLIAMS	Abierto - Condiciones normales	NORMAL		07/12/2017 07:30	Viento medido con instrumentos Dirección 080° Intensidad 7 nudos	CALMA (sin dirección).

**Puerto Abierto**, en condiciones normales de operación y navegación sin restricciones.

**Puerto Cerrado para Naves Menores** de 25 ó 50 T. R. G. en navegación dentro o fuera de la bahía, según lo disponga cada Capitán de Puerto.

**Puerto Cerrado para Naves Mayores**, se podrá disponer además, la paralización de todas las actividades marítimo portuarias en la bahía.

*Figura 5. 17 Condiciones de acceso a los puertos de la Zona Austral de Chile del 07 de diciembre de 2017.*

Dadas estas complejidades, se consultó al Departamento Comercial de MOL-SUDOCEAN del grupo Ultramar/ULOG, una empresa que provee servicios de flete marítimo en contenedores, para indagar en la viabilidad de este traslado. En primer lugar, se descartó la opción de realizar el viaje en buques RO-RO ya que la estiba y des-estiba de una carga rodante es compleja y costosa. Opinaron que, este servicio se ofrece principalmente para las empresas automovilísticas y no son aptas para el transporte de minerales. En segundo lugar, consideran que la única opción viable para este trayecto, es el transporte marítimo del Puerto Valparaíso a otro puerto capaz de recibir buques portacontenedores y de ahí realizar el último trayecto hasta Puerto Natales en barcazas. Sin embargo, desconocían si alguna naviera o servicio logístico realizaba esta operación.

### 5.2.3 Alternativa 3: multimodal vía Chile a Punta Arenas

La única alternativa que puede ofrecer MOL-SUDOCEAN, mediante su unidad de negocios Transmares, es transportar la carga desde San Juan hasta el Puerto San Antonio, embarcar la carga en un barco Feeder hasta Punta Arenas y de ahí transportarla en camión hasta la Central Térmica de Río Turbio. A continuación, se visualiza la trayectoria de esta alternativa. Los pasos fronterizos son los mismos que los de la Alternativa 2, el Paso Internacional Los Libertadores y el Paso Dorotea.



Figura 5. 18 Mapa de la alternativa 3.

#### 6.2.3.1 Puertos

El Puerto de San Antonio está administrado por la empresa estatal Empresa Portuaria San Antonio (EPSA) y es el segundo puerto en cuanto a la transferencia de toneladas de Chile, concentrando en 2016 un 9,8% de las transferencias totales chilenas. El puerto cuenta con cuatro terminales. En la *Figura 5.19* se visualizan las empresas que operan cada una de

las terminales. La Terminal Sitio 9 “opera bajo un sistema multioperado, administrado por EPSA, especializado en la transferencia de gráneles líquidos”<sup>20</sup>.

Este puerto se destaca por su ubicación estratégica con conexiones tanto viales como ferroviarias y por la excelencia operativa de la Terminal 1, que cuenta con la mayor dotación de grúas Gantry de la costa oeste sudamericana. El Puerto San Antonio es el único puerto chileno capaz de recibir dos naves de 13.000 TEUs en simultáneo.



Figura 5. 19 Terminales portuarias del Puerto San Antonio. EPSA.

Terminal	STI	STI	STI	PCE	PCE	PCE	PCE	PANUL	EPSA
Sitio	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	C1	C2	Sitio 4/5	Sitio 6	Sitio 8	Sitio 9
Calado (m)	14,00	14,90	14,90	13,20.	13,50	11,39	7,70	11,00	10,00
Longitud (m)	842			700		237	161	230	190

Tabla 5. 7 Características de los sitios del Puerto San Antonio. EPSA.

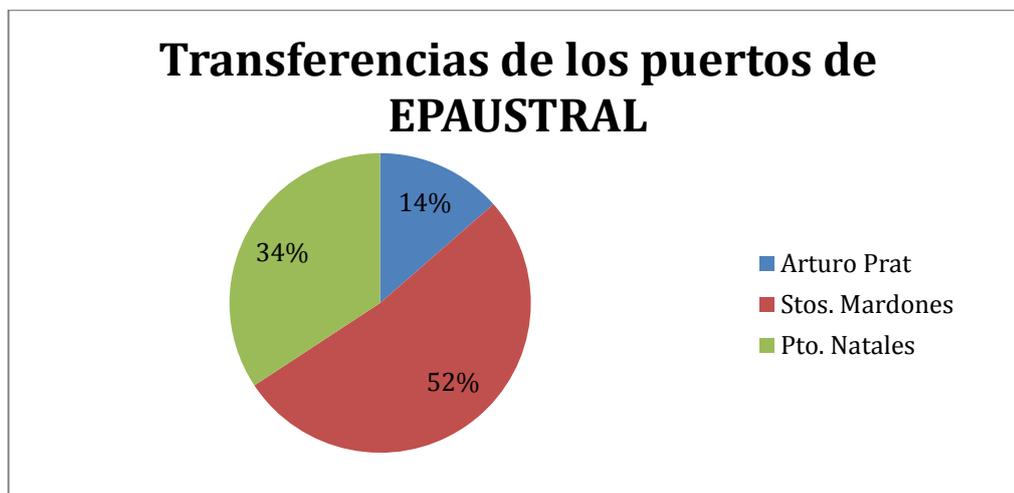
<sup>20</sup> Empresa Portuaria San Antonio. “Sistema portuario: Puertos”. [En línea] [consulta: 2 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://www.sanantonioport.cc.cl/index1.html>

El puerto de destino de esta alternativa sería Punta Arenas. El mismo cuenta con 7 muelles ubicados en diferentes bahías. La Empresa Portuaria Austral (EPA) opera dos de estas terminales, la Terminal Arturo Prat y la Terminal José de los Santos Mardones. La Terminal ASMAR pertenece a la Armada. El resto de las terminales son utilizadas casi exclusivamente por diferentes industrias de la zona. La Terminal de Pecket Coal la utiliza la empresa Ingeniería del Sur S.A. para el transporte del carbón que extraen de la mina Pecket. Las terminales Cabo Negro – Laredo transportan, por ejemplo, gas licuado refrigerado y a presión y productos petroquímicos propiedad de ENAP y también metanol producido por Methanex Ltda. ENAP también se encargó de la construcción de la terminal marítima Gregorio, para abastecer los productos de su Refinería Gregorio.

<b>Terminal</b>	<b>Sitio</b>	<b>Eslora (m)</b>	<b>Calado máximo (m)</b>
Terminal José de los Santos Mardones	Sitio 1	176	5,2 - 9
	Sitio 2	151	1,7 - 4,9
	Sitio 3	-	-
Terminal Arturo Prat	Sitio 3	220	13,90
	Sitio 2	60	8,23
	Sitio 1	70	-
Terminal ASMAR	ASMAR	300	5
Terminal Cabo Negro	Sitio 1	242	14
	Sitio 2	242	14
Terminal Laredo	Laredo	130	4
Pecket Coal	Pecket Coal	240	14,38
Terminal Gregorio	Gregorio	250	14,94

*Tabla 5. 8 Características de los muelles de Punta Arenas. Ultramar.*

Como se puede observar de la *Tabla 5.8* este puerto permite el arribo de buques más grandes que Puerto Natales. Las terminales de EPA son las más utilizadas para el transporte de carga general. En la *Figura 5.20* se pueden visualizar que la Terminal José de los Santos Mardones transfiere el 52% de las toneladas que se mueven a través de los puertos australes de EPA.



*Figura 5. 20 Porcentaje de transferencias por puerto.*

#### **5.2.3.2 Operador logístico**

La empresa MOL-SUDOCEAN, del grupo Ultralog, puede proveer de este servicio para el abastecimiento de la piedra caliza a la CTRT. Mitsui O.S.K. Lines, Ltd. (MOL) es una empresa japonesa con más de 133 años de experiencia y una de las flotas marítimas más grandes del mundo. Originalmente, diseñaron esta ruta para el transporte de material del Oeste de la Argentina a Río Grande. Garantizan que:

“• La ruta vía Chile es una alternativa competitiva para la importación de contenedores a la zona de Río Grande.

• Permite reducir en 7 días el tiempo de tránsito de la carga en relación a la alternativa vía marítima por Buenos Aires.”

Para realizar el transporte marítimo se utilizarían naves Feeder MN Condor y MN Cordillera que tienen una capacidad de aproximadamente 400 TEUs y 170 conexiones para Reefers. Ofrecen un servicio semanal e incluye una cantidad de días libres de almacenaje en Punta Arenas. El tiempo en tránsito marítimo es de 5 días y en transporte terrestre es de 8 días.



MN CONDOR



MN CORDILLERA

*Figura 5. 21 Naves Feeder que ofrece el operador logístico. Ultramar.*

### **5.2.3.3 Cotización**

La naviera compartió la siguiente cotización:

- Round Trip San Juan a Puerto San Antonio (643,2 Km de distancia): USD 6000 / Contenedor
- Embarcar carga en POL: SAN ANTONIO en Feeder a POD: PUNTA ARENAS USD 3000 / Contenedor
- Round trip Punta Arenas – Central RT (248 Km de distancia) USD 2500 / Contenedor

Los primeros 10 días de almacenamiento están incluidos en la cotización provista. Después del 10<sup>mo</sup> día se debería abonar la tarifa de 0,36 USD/t.

### **5.2.3 Alternativa 4: Intermodal vía Puerto de Buenos Aires**

La última alternativa a evaluar para el transporte de San Juan a la CTRT, es la opción de transportar la piedra caliza mediante la Línea San Martín del Ferrocarril Belgrano Cargas. Estos ferrocarriles son operados por la empresa estatal Trenes Argentinos Carga.



Figura 5. 22 Mapa alternativa 4.

El trayecto sería de 156km por el Ramal Secundario San Juan-Mendoza y luego 1048km por el Ramal Troncal Mendoza-Buenos Aires.

Sin embargo, al investigar la viabilidad de esta alternativa, rápidamente se descartó la opción debido al estado de las vías y la limitada capacidad de transporte. Esta imposibilidad de transportar la caliza por este medio se evidencia al analizar el caso de la Planta General Savio de Ternium - Siderar.

### **5.2.3.1 Caso Planta General Savio de Ternium – Siderar**

La piedra caliza es un insumo de la industria siderúrgica. La misma atraviesa el proceso de calcinación para obtener cal viva y luego un proceso de hidratación para producir cal apagada. Tanto la cal viva como la apagada se utilizan con diferentes propósitos: “tiene su

mayor empleo como fundente en la purificación del acero en los tradicionales hornos de oxígeno básico (BOF) y en los más modernos hornos de arco eléctrico (EAF). La cal es particularmente efectiva en la remoción del fósforo, azufre y sílice, y en menor medida, manganeso. La cal, tiene también, importantes usos en la refinación secundaria del acero, y en la manufactura de productos de acero.”<sup>21</sup>

Hasta el 2013, la Planta General Savio, ubicada en San Nicolás, Buenos Aires, compraba el total de su requerimiento, entre 50.000 y 60.000 toneladas mensuales, a las caleras de San Juan. Sin embargo, después de la estatización del servicio de ferrocarril, “según datos de la CMSJ, (...) durante el primer trimestre de 2017, la cifra alcanzó el 40% y se prevé que por la situación del ferrocarril, los envíos continúen mermando hacia el resto del año.”<sup>22</sup> Por este motivo, Siderar comenzó a importar este insumo desde México y Canadá.

### 5.3 Conclusiones parciales

La alternativa de transportar la caliza en camión desde San Juan hasta la CTRT tiene un alto impacto tanto vial como ambiental. Asimismo, la flota de camiones requerida de 90 camiones implica una logística sumamente compleja y costosa. De elegirse esta alternativa, se debería comparar contra la posibilidad de trasladar la carga por camión hasta Punta Loyola. En principio, esta opción exhibe varias ventajas como una mayor posibilidad de conseguir una vuelta cargada de Río Gallegos y la utilización de la infraestructura existente en Punta Loyola. En el capítulo 6 se detalla dicha infraestructura y el almacén que se podría utilizar cómo un pulmón intermedio desde San Juan. Asimismo, el tren de YCRT puede ofrecer ciertas ventajas como evitar los cortes de las rutas a los accesos a la CTRT por condiciones climatológicas adversas.

La Alternativa 2 vía el Puerto Natales es en principio inviable dadas las características del puerto. La empresa logística MOL-SUDOCEAN puede proveer otro camino vía el puerto Punta Arenas.

Las Alternativas 2 y 3 se ven afectadas negativamente por las demoras y los cortes en los pasos fronterizos. En particular en el Paso Internacional Los Libertadores hay demoras de hasta 4 días.

---

<sup>21</sup> Basavilbaso, M. (2011). *Ingreso al mercado de cal dolomítica para la siderurgia*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

<sup>22</sup> Diario de Cuyo. “Caleros: continúa el problema con el transporte del ferrocarril.” [En línea] [consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en: <https://www.diariodecuyo.com.ar/suplementos/Caleros-continua-el-problema-con-el-transporte-del-ferrocarril-20170419-0016.html>

En la conferencia organizada por el Centro Argentino de Ingenieros el Licenciado Guillermo Campra expuso en su presentación titulada “Políticas de Transporte Automotor de Cargas con impacto en la competitividad” las mejoras propuestas para agilizar el tránsito en los pasos fronterizos:

- Figura de “Operador Económico Autorizado”
- Ventanilla Única para reducir tiempos
- Uso de TAG, un dispositivo electrónico que recibe y emite información
- Implementar TIR: Convenio internacional que reduce los trámites aduaneros
- Otorgar paso prioritario de contenedores vacíos desde Chile
- Eliminación de Precinto Electrónico
- Aplicación de Tarifa Plana”<sup>23</sup>

La más significativa sería la implementación de la figura de “Operador Económico Autorizado” que implica la disminución de los controles de la carga que atraviesa la frontera otorgando este título y beneficio de no ser controlado a aquellos operadores logísticos que no tengan ningún historial de contrabando. Los controles pasarían a ser aleatorios en contraposición al control actual de toda la carga que atraviesa la frontera. Este tipo de esquemas se utilizan en fronteras como la de Estados Unidos y México. Asimismo, actualmente se está comenzando la construcción del Túnel Binacional Agua Negra que atraviesa la cordillera de los Andes uniendo la provincia de San Juan con Chile. De implementarse estas mejoras la alternativa vía Chile puede ser más atractiva.

La Alternativa 4 es actualmente inviable dadas las condiciones precarias de las vías y la falta de vagones y personal del Ferrocarril General San Martín. El presidente de la Cámara Minera de San Juan, Jaime Bergé, expresó que “Hoy en día la frecuencia de transporte no está planificada, es errática, un mes se llevan 20 mil toneladas, otro mes se llevan 10 mil, hay veces que no se envía nada”<sup>24</sup>. Con esta calidad de servicio y falta de parque rodante, no se puede realizar la última alternativa propuesta. Si bien hay propuestas para invertir en revertir esta situación sólo se espera “alcanzar el 60% de abastecimiento de caliza a Buenos Aires

---

<sup>23</sup> Campra, G. (noviembre de 2017). “Políticas de Transporte Automotor de Cargas con impacto en la competitividad”. Sistema de transporte de cargas y costo logístico argentino – Panorama 2018. Centro Argentino de Ingenieros, Buenos Aires, Argentina.

<sup>24</sup> Diario de Cuyo. “Caleros: continúa el problema con el transporte del ferrocarril.” [En línea] [consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en: <https://www.diariodecuyo.com.ar/suplementos/Caleros-continua-el-problema-con-el-transporte-del-ferrocarril-20170419-0016.html>

por las mejoras del ferrocarril”<sup>25</sup>. Por lo tanto, aún con esta inversión, no se podría abastecer a la CTRT.

Dada la complejidad que presenta esta operación, se investigó en mayor profundidad la hipótesis de que una mejor calidad de la piedra caliza podía implicar un menor volumen de carga al ser más eficiente. Con dicho propósito, se consultó al experto Dr. Fabrizio Scala, del Instituto de Investigación de la Combustión en Italia, autor de múltiples informes acerca de calderas de lecho fluido y el tratamiento de azufre y del libro “Fluidized Bed Technologies for Near-Zero Emission Combustion and Gasification”. En su opinión, el volumen requerido de caliza no puede ser determinado según el porcentaje de carbonato de calcio ya que la reacción no es estequiométrica si no que es una reacción que ocurre en la superficie de las partículas y hay varios componentes que pueden influenciar en esta reacción. Por ejemplo, impurezas de óxidos de aluminio y de hierro presentes tanto en el carbón como en la caliza, reducen el área superficial específica disponible para la reacción, reduciendo la cantidad de caliza disponible para la desulfuración. Por este mismo motivo, el Dr. Scala opina que no es posible determinar de ante mano cuánto volumen se va a necesitar hasta que se realicen las pruebas con cada una de las calizas disponibles. Opinó que se puede utilizar como aproximación una relación Ca/S de 3 para cualquier caliza, indistinto del porcentaje de carbonato de calcio presente en la piedra.

---

<sup>25</sup> Diario de Cuyo. “Se espera un buen segundo semestre para la cal sanjuanina” [En línea] [consulta: 2 de diciembre del 2017]. Disponible en: <https://www.diariodecuyo.com.ar/suplementos/Se-espera-un-buen-segundosemestre-para-la-cal-sanjuanina-20170822-0144.html>

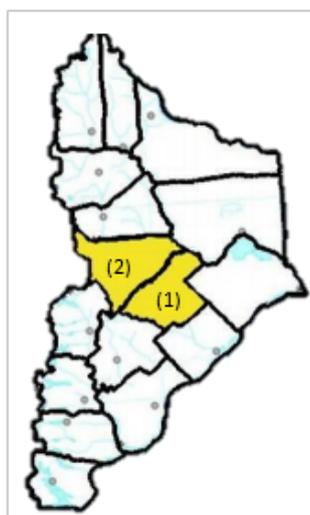




## Capítulo 6: Abastecimiento desde Neuquén

En la provincia de Neuquén, ubicada al noroeste de la región patagónica de la Argentina, la minería es, después de la explotación de hidrocarburos, una de sus principales actividades económicas. En 2016, la producción minera total de la provincia alcanzó las 1.945.306 toneladas – en Rocas de Aplicación y No Metalíferos – valorizadas a precios de mercado en 830 millones de pesos. De ese total, el 22% en volumen correspondió a piedra caliza.

En Neuquén, se identificaron dos principales zonas de explotación de esta piedra: Zapala, donde se produce el 84% del volumen de caliza, y Picunches que participa con el 16% restante.



Área	Producción en 2016	Participación
(1) Zapala	364.432 ton	84%
(2) Picunches	69.147 ton	16%
<b>Total Neuquén</b>	<b>433.579 ton</b>	<b>100%</b>

Figura 6. 1 Mapa de la provincia de Neuquén. En amarillo: áreas de explotación de piedra caliza. (1) Zapala, (2) Picunches. Estadística Minera de Neuquén, 2016.

Según el Informe de Estadística Minera de la Provincia de Neuquén, en 2016 había en total 118 establecimientos mineros, de los cuales sólo 6 correspondían a piedra caliza, y los demás a otras Rocas de Aplicación o minerales No Metalíferos.

MINERALES	N° DE YACIMIENTOS
ÁRIDOS	68
ARCILLA	15
ASFALTITA	2
BARITINA	4
BENTONITA	4
CALIZA	6
DOLOMITA	5
HALITA	1
PIEDRA LAJA	7
PIROFILITA	1
PUZZOLANA	0
TOBA	1
YESO	3
TRAVERTINO	1
<b>TOTAL</b>	<b>118</b>

Figura 6. 2 Cantidad de yacimientos de explotación de cada mineral en la provincia de Neuquén. Estadística Minera de Neuquén, 2016.

En el período comprendido entre 2012 y 2016, la producción promedio de caliza fue de 465.8 mil toneladas del mineral. En caso de que las canteras de Neuquén quisieran abastecer el 100% de la demanda de caliza de la Central Térmica de Río Turbio, se requeriría alrededor del 20% de su producción anual actual.

A su vez, se registró que en 2016 sólo el 3% de la producción se exportó a Chile, en su mayoría a granel, y una parte menor en Big Bag. El Informe compartía precios aproximados de exportación, detallados a continuación:

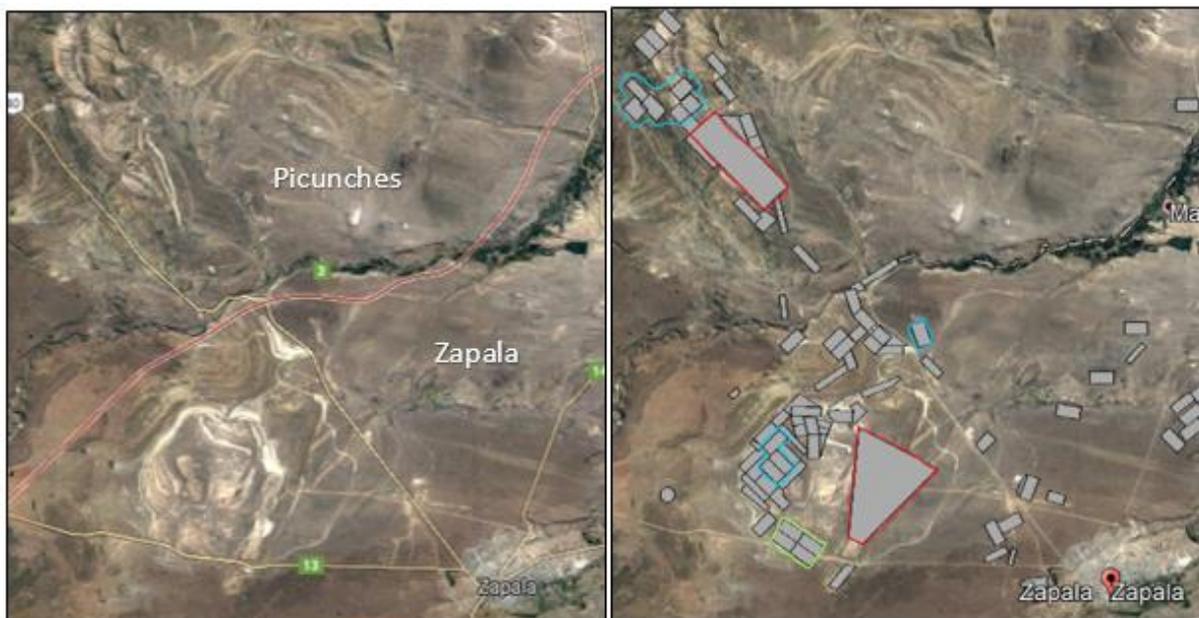
- \$ 450 /ton de caliza a granel, exportada a Chile
- \$ 810 /ton de caliza en Big Bag (x1000kg c/u)

## 6.1 Proveedores de piedra caliza en Neuquén

Tanto en Zapala como en Picunches, operan compañías cementeras, caleras, y especializadas en áridos, que son quienes comercializan caliza extraída en dicha región. Tras una exhaustiva investigación, y corroborando con el Informe de Estadística Minera de Neuquén, se identificaron cuatro proveedores principales de la zona:

PROVEEDOR	UBICACIÓN	COTIZÓ
	*VER MAPA	
Loma Negra C.I.A.S.A.	(1) Rojo	No
Ámbar Compañía Minera	(2) Azul	SÍ
Áridos Parada	No disponible	No
Servicios Mineros Lozano	(4) Verde	No

El Gobierno de la Provincia de Neuquén publicó los mapas y GIS de la provincia, de donde se pudieron obtener las ubicaciones exactas de todas las canteras de la provincia, de todos los minerales. Se tomaron imágenes de *Google Earth* en los alrededores de Zapala y Picunches, donde se encuentran la mayoría de los establecimientos de piedra caliza.



*Figura 6. 3 A la izquierda, imagen satelital de Google Maps, con las canteras de diversos minerales y la división entre Picunches y Zapala (línea roja). A la derecha, captura de Google Earth de las canteras delimitadas por el Gobierno Provincial de Neuquén. En color, las canteras de caliza de: Loma Negra (rojo), Ambar Compañía Minera (azul) y Servicios Mineros Lozano (verde).*

Si bien en el mapa proporcionado por la provincia de Neuquén no se pueden diferenciar a simple vista las canteras por tipo de mineral ni compañía, se marcaron aquellas que correspondían a canteras de caliza, de los proveedores evaluados. Las canteras que no se encuentran marcadas en color, corresponden a otros minerales, o bien a productores de caliza particulares, cuyo volumen de producción es significativamente menor, por lo que no son contemplados en el alcance del presente análisis.

A continuación, se identificará cada uno de estos cuatro proveedores, detallando las actividades que realizan actualmente y la información obtenida acerca de su caliza, tras varios contactos con el personal comercial de dichas compañías.

### **6.1.1 Loma Negra**

Loma Negra C.I.A.S.A. fue fundada en 1920 en Olavarría, Provincia de Buenos Aires, tras el hallazgo de canteras de caliza, una de las principales materias primas para la fabricación de cemento. A partir de ello, se expandió a varias zonas, entre ellas, Zapala, en Neuquén. En 2005 pasó a formar parte del grupo InterCement, también propietario de la concesión de una gran parte del tren Ferrosur Roca. Tras crecimientos y adquisiciones, InterCement también incorporó a su cartera de productos como cal, hormigón, piedra y arena.

Cuentan con varias canteras de piedra caliza en Neuquén, siendo los principales explotadores de la zona para este mineral. Si bien cuentan también con canteras en Olavarría, se eligieron las canteras de Zapala por una cuestión de proximidad. Su producción se destina mayoritariamente a la fabricación de cemento, y actualmente no cuentan con capacidad ociosa en sus canteras para la venta de caliza a la Central Térmica de Río Turbio. Para este proveedor no se obtuvieron las especificaciones del material, ni una cotización correspondiente. En futuros análisis podría analizarse la posibilidad de comprar caliza de Olavarría, y llevarla hacia Río Turbio a través del puerto de Buenos Aires.

### **6.1.2 Áridos Parada**

Áridos Parada es un productor minero de Neuquén que se dedica a la venta de áridos y hormigón elaborado, al movimiento de suelos y al alquiler de equipos viales para Energía y Construcción. En sus canteras, cuentan con una planta clasificadora que permite cumplir con las especificaciones de tamaño de los áridos con los que trabajan.

Esta compañía tiene amplia experiencia trabajando con clientes del sector energético, en particular en el área de Vaca Muerta. Cuentan con canteras de extracción de áridos en Añelo, Zapala, Rincón de los Sauces, Crucero Catriel-Centenario, Villa Pehuenia y Caviahue. El proveedor no compartió especificaciones ni cotizaciones para la venta de piedra caliza.

### **6.1.3 Ambar Compañía Minera**

Ambar Compañía Minera S.A. fue fundada en 1978, y se dedica principalmente a la producción y comercialización de cales de alta calidad, para construcción e industriales. Tiene presencia principalmente en el mercado de la Patagonia, La Pampa, Buenos Aires y CABA. Normalmente la empresa ofrece entrega de material paletizado con transporte multimodal camión-ferrocarril, pero al solicitar la cotización para la CTRT, manifestaron que no era posible en este caso por la gran distancia desde el origen hasta la Central.

En cuanto a la calidad del producto ofrecido, el mismo tiene una pureza de carbonato de calcio alrededor del 96%, con un contenido de sílice menor al 3%. Este proveedor comercializa la piedra caliza en malla 200, 325 o 400.

La cotización compartida por el proveedor fue de **20 USD/ton** (EXW), para una granulometría menor a 1 pulgada y a granel. Dado que el proveedor no cuenta con la maquinaria necesaria para poder entregar el producto en Big Bag, en caso de elegir este proveedor sería necesario contratar un agente intermedio que pueda pasar la mercadería de granel a Big Bag o a un contenedor granelero, para una manipulación más fácil en los siguientes eslabones de la cadena de suministro.

Según por especificado con el proveedor, no tendrían problema de capacidad para abastecer la gran demanda de la Central.

#### **6.1.4 Servicios Mineros Lozano**

La empresa Servicios Mineros Lozano, fundada en Neuquén hace alrededor de treinta años, se dedica a la “provisión de minerales industriales para diferentes usos, molidos o en bruto; provisión de servicios de perforaciones para minería, petróleo o agua; y movimiento de suelos en general”<sup>26</sup>. Además de las canteras de la compañía explota, cuenta con una planta de trituración y molienda en la localidad de Las Lajas, en Neuquén.

Si bien el proveedor no dio información acerca de las especificaciones de su caliza ni el precio de la misma, sí aclaró que tendrían una limitación de capacidad para el suministro a la Central.

## **6.2 Alternativas logísticas para el abastecimiento**

Con el fin de poder transportar la piedra caliza desde Neuquén hasta la Central Térmica de Río Turbio, se analizaron principalmente tres alternativas:

- Alternativa 1: Transporte terrestre en camión desde la cantera de origen hasta la CTRT.
- Alternativa 2: Transporte por tren Ferrosur Roca, desde Neuquén hasta el Puerto Ingeniero White de Bahía Blanca, desde allí por buque marítimo hasta el Puerto de Punta Loyola, y por el tren carbonero hasta la CTRT.
- Alternativa 3: Transporte por tren Ferrosur Roca, desde Neuquén hasta el Puerto Ingeniero White de Bahía Blanca, desde allí por buque marítimo hasta el Puerto de Punta Loyola, y por camión hasta la CTRT.

Las alternativas 2 y 3 serán analizadas en conjunto, diferenciándose únicamente en el último tramo, dado que es la única diferencia entre las dos.

---

<sup>26</sup> Cita de la página oficial de Servicios Mineros Lozano. Disponible en: <http://www.smlozano.com.ar/> . Consultado el 24 de noviembre de 2017

### 6.2.1 Alternativa 1: transporte en camión

En el mapa a continuación se puede visualizar el trayecto que deberían hacer los camiones, desde la zona central de Neuquén (Zapala) hacia la Central Térmica de Río Turbio. La principal ruta para realizar este trayecto es la Ruta Nacional 40, con algunas pequeñas desviaciones en el trayecto, hacia las rutas 234, 237 y 43. La distancia total del trayecto sería de 1977 kilómetros.



Figura 6. 4 Captura de Google Maps. En azul, la ruta desde Zapala hacia Río Turbio.

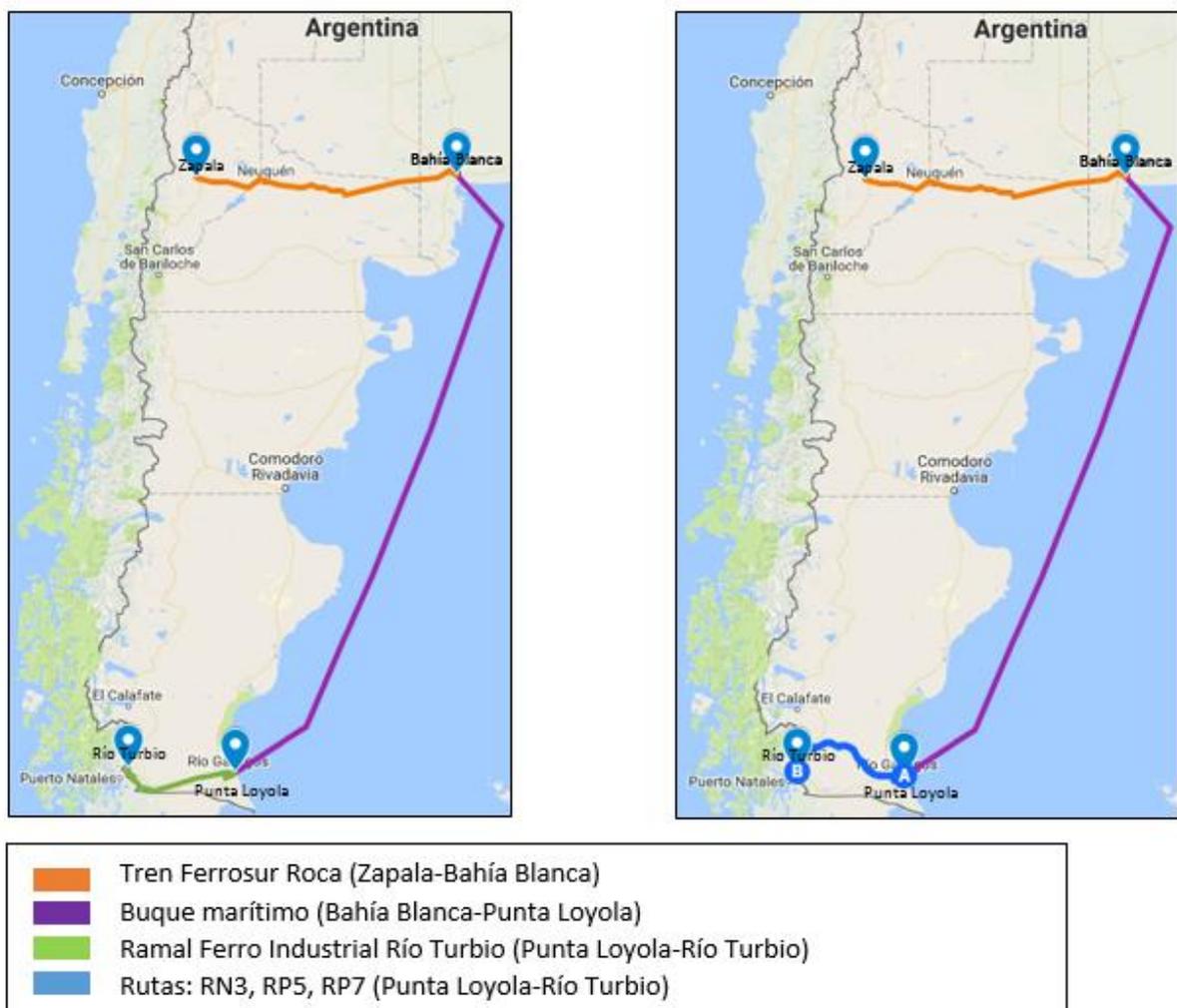
Esta alternativa se asemeja en gran medida a la planteada para el transporte carretero desde San Juan, dado que las posibles rutas son las mismas, aunque con una menor extensión, y las limitaciones también. En el inciso 5.2.1 del presente trabajo se encuentra el análisis de posibles transportistas, tipos de camiones, las condiciones de la ruta a recorrer, y los costos asociados al transporte carretero.

### 6.2.2 Alternativas 2 y 3: Intermodal (tren-buque- tren y tren-buque- camión)

En el Capítulo 4 del presente trabajo se presentaron las características del transporte intermodal. En comparación con el transporte carretero, requiere de una mayor complejidad

en cuanto a los movimientos en los nodos, los tipos de carga que requiere cada modo de transporte, y las limitaciones de capacidad de cada uno.

En el presente inciso se desarrollarán dos alternativas muy similares: Transporte por tren Ferrosur Roca, desde Neuquén hasta el Puerto Ingeniero White de Bahía Blanca, desde allí por buque marítimo hasta el Puerto de Punta Loyola, diferenciando el último tramo entre el tren carbonero y el transporte carretero. Para comprender la complejidad de toda la cadena, se detallarán las características y limitaciones de cada trayecto y de los centros de transferencia de carga. En la *Figura 6.5* se pueden visualizar los mapas de cada una de las alternativas mencionadas.



*Figura 6. 5 Mapa que detalla las dos alternativas a analizar. A la derecha: Alternativa 2. A la izquierda: Alternativa 3.*

### ***Tren Ferrosur Roca***

El punto de partida de esta red logística, sería la estación de Zapala del tren Ferrosur Roca. Esta compañía tiene la concesión de 3.180 kilómetros de red ferroviaria que pasan por Neuquén, La Pampa y la provincia de Buenos Aires. A su vez, tiene acceso a las terminales portuarias de Buenos Aires, Dock Sud, La Plata, Campana, San Nicolás, Rosario, Bahía Blanca y Quequén. Por lo tanto, se podría cargar la caliza en dichos trenes, en la primera estación, Zapala, para luego transportarla hasta el puerto Ingeniero White en Bahía Blanca. Este trayecto tiene una distancia aproximada de 730 kilómetros.



Figura 6. 6 Red ferroviaria del tren Ferrosur Roca. Marcadas en rojo las estaciones de carga y descarga de mineral a utilizar. Ferrosur Roca.

Un trayecto muy similar es realizado por compañías como YPF en sentido inverso para transportar *FracSand* hacia los yacimientos de Vaca Muerta. Esta arena es importada desde China, ingresada por el puerto de Bahía Blanca y transportada en tren desde el puerto hacia Neuquén. Si bien se consideró hacer logística compartida con esta compañía, esto no es posible dado que la arena de *fracking* no puede ser contaminada con otros compuestos.

En cuanto a la modalidad de carga dentro del tren, Ferrosur Roca cuenta con un parque de vagones amplio, que se adapta a la mercadería a transportar. El tipo de vagón necesario para transportar la piedra caliza dependerá de cómo lo entregue el proveedor. Dado que algunos proveedores trabajan con Big Bag y otros únicamente a granel, se consideraron tres tipos de vagones posibles.



*Figura 6. 7 Parque de vagones de Ferrosur Roca. De izquierda a derecha: Tolva Mineralera, Vagón de borde alto, Portacontenedores. Ferrosur Roca.*

La primera opción es la de utilizar vagones de Tolva Mineralera. La compañía cuenta con 764 unidades de estos vagones, de dos fabricantes distintos. La carga máxima que soportan es de 54,8 toneladas, con una capacidad de 42 metros cúbicos. Esta sería una posible opción para entregar caliza a granel.

En segundo lugar, se podría utilizar un Vagón de borde alto. Este vagón se debería utilizar en caso de manipular la carga en Big Bags en lugar de a granel. Sin embargo, la carga se debería cubrir para no perjudicarlo con humedad. Soportan una carga máxima de 59 toneladas, con 52 metros cúbicos de capacidad, y la compañía cuenta con un parque activo actual es de 46 unidades.

Una tercera opción es la de utilizar Portacontenedores de 50 toneladas de capacidad. Esta alternativa sirve tanto para el caso de utilizar contenedores graneleros, o en caso de ubicar los Big Bags dentro de contenedores secos de 20 pies, con el fin de protegerlos de la intemperie y facilitar su manipulación.

En cuanto a los detalles operativos y costos del tren, este tiene un ciclo de 8 días, contando con 4 días de ida y otros 4 de vuelta y realiza alrededor de 6 viajes semanales. El costo de operar el tren ronda los 0.035 USD/km.ton, que, para este trayecto en particular implicaría un costo de 25,55 USD/ton.

Costos asociados a la operación en tren:

<b>COSTO DE TRANSPORTE Y CARGA</b>	56,2 USD/movimiento
<b>COSTO POR KILÓMETRO</b>	0,035 USD/km.ton
<b>COSTO DE ADQUISICIÓN DE CONTENEDORES</b>	10.000 USD/unidad
<b>COSTO DE ALQUILER DE CONTENEDORES</b>	5 USD/día
<b>COSTO DE ADQUISICIÓN DE BIG BAGS</b>	200 USD/unidad

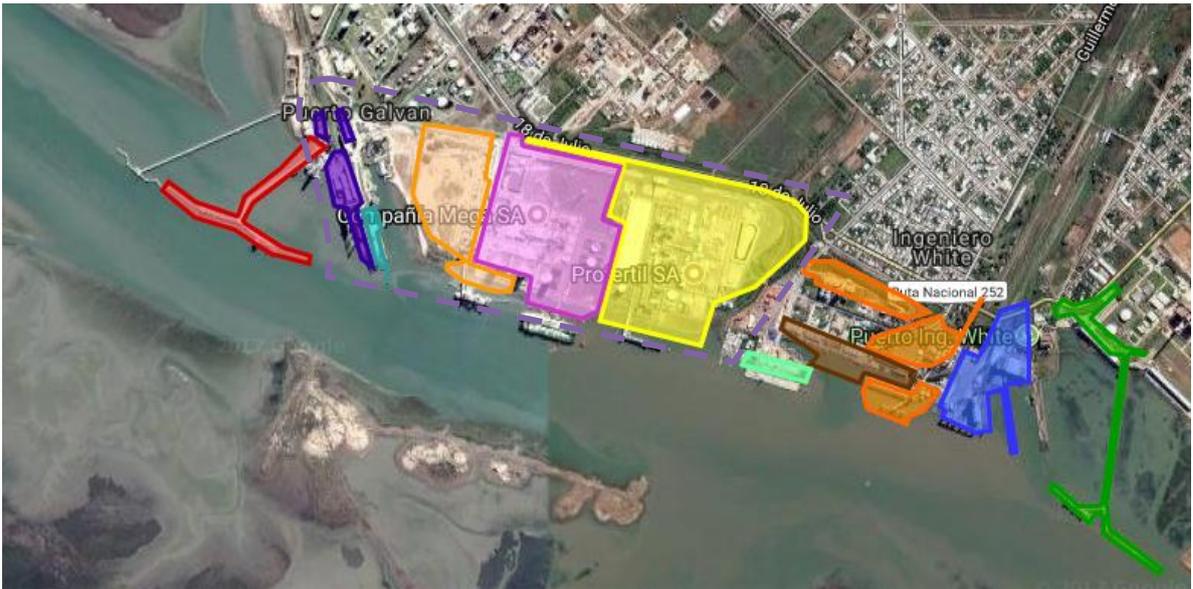
*Puerto de Bahía Blanca: Ingeniero White*

El Puerto Ingeniero White, abarca 25 kilómetros sobre la costa de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Con 45 pies de calado, es el único puerto de aguas profundas del país, que a su vez tiene salida directa al Océano Atlántico. Tiene la gran ventaja de estar conectado a la red ferroviaria, por lo que incluso cuenta con servicio ferroviario sobre el muelle mismo. A su vez, cuenta con amplias instalaciones para almacenar mercadería y para movilizarla (cuatro grúas eléctricas de pórtico y tres grúas móviles sobre neumáticos).



*Figura 6. 8 Puerto Ingeniero White. Patagonia Norte S.A.*

Históricamente, el puerto de Bahía Blanca movilizaba carga de cereales y luego comenzó a operar con mercadería general, químicos y petroquímicos. Es por ello que en el puerto Ingeniero White se pueden diferenciar claramente dos áreas: el área de carga de cereales y subproductos, operada en terminales especializadas por Toepfer International S.A., Terminal Bahía Blanca S.A. y Cargill S.A.I.C; y el área de Mercadería General, ubicada al oeste, donde se encuentran las instalaciones de almacenamiento y depósito. Vecino al Puerto Ingeniero White, se encuentra Puerto Galván, donde se movilizan también cereales, y opera la Posta para Inflamables con cargas peligrosas.



	(1) Posta para Inflamables		(5) Cargill (naranja)
	(2) Puerto Galván		(6) Terminal Bahía Blanca
	(3) Muelle multipropósito (sitio 21)		(7) Toepfer
	(4) Muelle Ministro Carranza		

*Figura 6. 9 Mapa del Puerto de Bahía Blanca.*

Teniendo en cuenta la configuración del Puerto de Bahía Blanca, se identificaron tres muelles en los que sería factible operar la carga de piedra caliza a los buques, dado que operan con Mercadería General y cuentan con recepción ferroviaria. A continuación, se detallan en una tabla las especificaciones de dichos muelles.

Puerto/ Terminal	Muelles		Almacenaje		Equipo de manipuleo	
	Sitio	Longitud y prof.	Tipo	Capacidad	Tipo	Capacidad
Puerto: Ing White. Muelle: Ministro Carranza	17	190m.x19'	Cubierto	3550 m3	2 Guinches Eléct. Y 2 Grúas móviles	3 ton y 2 ton
	18-19	260m.x19'	Plazoleta	14000 m3		20 ton
Puerto: Ing White. Terminal de Servicios Portuarios Patagonia Norte SA	21	270 m x 45'	Plazoleta	1800 contenedores	Grúa Móvil 4ª Generación Panamax	100 ton
			Plazoleta	2000 contenedores vacíos		
Puerto: Galván. Terminal 5, 6 y 7	5	252 m x 29'	Cubierto	2700 m2	2 Guinches Eléctricos y 2 Grúas Móviles	35 ton x16m
	6	120 m x 27'	Abierto	3600 m2		20 ton
	7	68 m x 20'	Abierto	13000 m2		5 ton

*Tabla 6. 1 Detalles de los muelles de Carga General del Puerto Ingeniero White.*

Luego de contactar al Puerto de Bahía Blanca para comprender mejor la operación del mismo, y solicitar contactos para pedir cotizaciones en dichos muelles, Patagonia Norte S.A. proporcionó mayor información sobre cómo se podría realizar esta maniobra. El muelle adecuado para realizar la carga de este material sería el Sitio 21 (Muelle multipropósito), operado por dicha compañía.

Un responsable comercial de Terminal de Servicios Portuarios Patagonia Norte S.A. que fue contactado, especificó que no se podría recibir la carga a granel, dado que sería de difícil manipulación una vez recibido el tren con la carga, por lo que no habría forma de transportarla hacia el muelle. En cambio, en Big Bag sería un tanto menos dificultoso ya que se podría descargar el tren utilizando camiones, para almacenarlos en las plazoletas de la compañía. Una vez llegado el buque, se realizaría la carga en camión nuevamente. Sin embargo, la principal limitación de esta alternativa es que la plazoleta de almacenamiento no es techada. Esto puede perjudicar las especificaciones de humedad necesarias para utilizar la caliza sin ningún pre tratamiento. Por lo tanto, se sugirió manipular la carga directamente en Big Bags, colocados dentro de contenedores, o en contenedores graneleros. Se estima que la productividad en el consolidado de carga en contenedores es de 9 unidades por día. De esta manera se facilitaría el manipuleo en el puerto y dentro del buque de carga. Para realizar el movimiento de estos contenedores, la empresa cuenta con Reach stackers de 41 toneladas de capacidad de carga y una grúa móvil.

En cuanto a los costos de operación en puerto, se cotizó con TSP Patagonia Norte S.A., que compartió los siguientes componentes de costo:

1. Entrada del contenedor
2. Recepción del contenedor lleno
3. Movimiento del contenedor lleno sobre camión
4. Bajada de contenedor lleno en Plazoleta
5. Pesaje y Tara
6. Entrega de contenedor vacío
7. Subida del contenedor vacío en la Plazoleta
8. Movimiento del contenedor vacío sobre camión
9. Salida del contenedor

Estos costos totalizaban alrededor de 350 USD por contenedor. A su vez, se compartieron los costos de almacenamiento de contenedores llenos, según la cantidad de días:

- Almacenamiento de contenedor lleno por 6 a 15 días: 5,76 USD/día.
- Almacenamiento de contenedor vacío por 16 a 30 días: 11,53 USD/día.

Los horarios en los que la terminal se encuentra operativa son: días hábiles de 7:00 a 19:00hs y sábados de 7:00 a 13:00 hs. En caso de necesitar operar fuera de estos horarios, la empresa cobra un 40% de recargo durante la noche de los días hábiles, o en la madrugada del día sábado, y un 70% los sábados después de las 13 o en cualquier horario de un día domingo o feriado.

En resumen, la operación completa en el puerto de Bahía Blanca queda representada por el diagrama realizado a continuación.

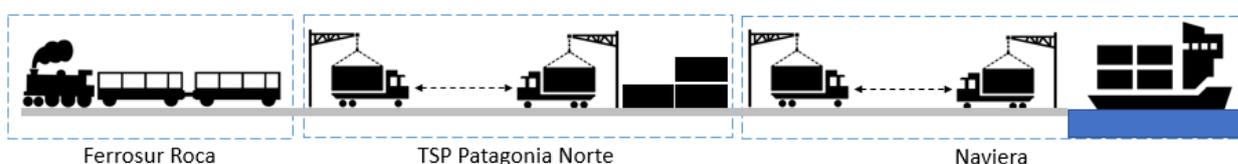


Figura 6. 10 Diagrama representativo de los movimientos a realizar en el Puerto Ingeniero White.

Costos asociados a la operación en el puerto:

<b>COSTO POR CONTENEDOR</b>	350 USD/contenedor
<b>COSTO DE ALMACENAMIENTO (6-15 DÍAS)</b>	5,76 USD/día
<b>COSTO DE ALMACENAMIENTO (16-30 DÍAS)</b>	11,53 USD/día

**Buque: Bahía Blanca a Punta Loyola**

Una vez ubicados los contenedores en la zona primaria del Puerto de Bahía Blanca, el paso siguiente es la selección del buque marítimo que transportará la carga hacia Punta Loyola. Según lo especificado por el personal comercial del puerto de origen, actualmente ninguna compañía realiza dicho viaje. Sin embargo, se contactaron dos empresas navieras que transportan mercadería con bandera nacional:

- 1) Maruba
- 2) Patagonia Shipping Lines

Tanto el personal comercial de Maruba como el de Patagonia Shipping Lines aclaró que actualmente no tienen capacidad para realizar dicho viaje, ya que todos sus buques se encuentran con un alto factor de ocupación, y no se detienen en el puerto de Bahía Blanca, ni otros del sur de la Argentina, sino que hacen el viaje directo Buenos Aires – Ushuaia. En cualquier caso, será necesario invertir en buques nuevos para la habilitación de dicho trayecto.

En el caso de Patagonia Shipping Lines, se identificó la ruta que hace actualmente el buque, desde Buenos Aires hasta Tierra del Fuego. Si bien actualmente no pasan por Punta Loyola, este puerto podría incorporarse al trayecto sin grandes desviaciones. A partir de un cuadro proporcionado por la compañía, se estima que el tiempo de tránsito entre ambos puertos sea de 2 días.

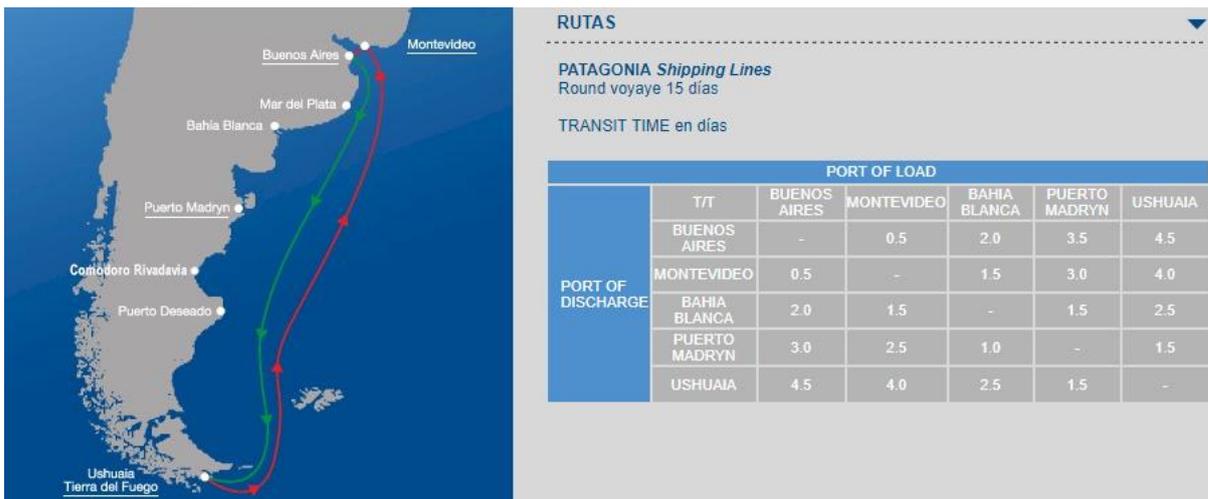


Figura 6. 11 Mapa de recorrido de Patagonia Shipping Lines y tabla de estimación de tiempos de recorrido. Patagonia Shipping Lines.

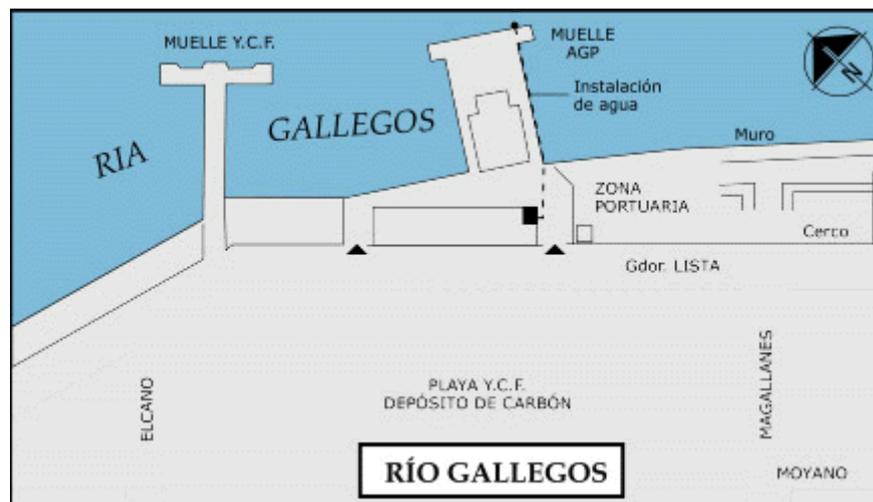
Costos asociados al transporte naviero:

<b>COSTO DE MOVIMIENTOS (CARGA/DESCARGA)</b>	56,2 USD/movimiento
<b>COSTO DE FLETE MARÍTIMO</b>	0.0012 USD/km.ton - 0.0046 USD/km.ton

***Punta Loyola: Recepción y almacenamiento temporario***

El puerto de Punta Loyola, ubicado a 20 kilómetros de Río Gallegos, es un puerto de uso público con destino comercial, administrado por la Unidad Ejecutora Portuaria de Santa Cruz (UNEPOSC). Fue construido principalmente para el embarque de carbón proveniente de Río Turbio, aunque también fue utilizado por YPF para carga y descarga de crudo, livianos y agua.

En cuanto a su infraestructura, cuenta con tres muelles, de los cuales solamente uno se encuentra operativo en la actualidad. El primero es el Muelle El Turbio, propiedad de Yacimientos Carboníferos Fiscales (YCF), que solía cargar el carbón de Río Turbio y abastecer la planta aleña de YPF. Este muelle no sólo no se encuentra operativo, sino que se lo está restaurando para construir una zona de patrimonio cultural. En segundo lugar, se encuentra el Muelle Fiscal, cuyas actividades se encuentran suspendidas desde el año 2005.



*Figura 6. 12 Diagrama del puerto de Punta Loyola. Muelle El Turbio y Muelle Fiscal, que no se encuentran operativos. Fundación Nuestro Mar.*

El Muelle Presidente Illia es el único que se encuentra operativo. Su construcción finalizó en el año 1983, con el principal objetivo de transportar carbón proveniente desde Río Turbio. Es propiedad de las empresas YCF e YPF, y no está administrado por UNEPOSC. Tiene un calado de 7 metros, que permite operar buques carboneros hasta 62.700 toneladas.

Este muelle “cuenta con cintas transportadoras de carbón y tuberías para carga y descarga de crudo, livianos y agua”<sup>27</sup>.



Figura 6. 13 Fotografía del Muelle Presidente Illia en el puerto de Punta Loyola. YCRT.

Actualmente, en Punta Loyola se encuentra en construcción una nave de acopio de caliza, de aproximadamente 15.000 metros cuadrados, cuyo principal objetivo es almacenar la piedra caliza contenida en Big Bags. Según un artículo publicado en la revista *Extracción* de YCRT, los Big Bags “deben ser absolutamente estancos a la proyección de agua y al ingreso de humedad, es decir que es caliza en condiciones de ser alimentada tal cual a los silos de caldera”<sup>28</sup>. Por ello, se encuentra en construcción dicho sitio de almacenaje, que cuenta con cuatro acopios de Big Bags, apilables hasta tres niveles.

Cabe aclarar que el diseño de dicha instalación se realizó con el supuesto de que las medidas de los Big Bags serían de 780 x 780 x 1200 mm, soportando un peso de 850 kilogramos. Esto fue planteado de forma tal que los Big Bags puedan ser cargados a los vagones del tren carbonífero mediante la utilización de cuatro autoelevadores, de 2,5 toneladas de capacidad cada uno.

---

<sup>27</sup> Cita de la página web de Uneposc, donde detalla las especificaciones de los distintos puertos de Santa Cruz. <http://www.uneposc.com.ar/web/ptorgallegos.php>

<sup>28</sup> Cita del artículo “Subgerencia de Ferrocarriles y Puerto” de la revista N°1 “Extracción” de YCRT, Diciembre 2016.

Si bien el artículo no especifica la capacidad total de almacenamiento, se estima que, utilizando un método de almacenamiento de autoestiba con rotación LIFO, considerando pasillos de 2,7m (adecuados para el tipo de elevadores necesarios), y con cuatro acopios de tres niveles, la nave tendrá capacidad para almacenar 16.800 Big Bags, es decir, 14.280 toneladas de caliza – suficiente para 53 días de operación a plena carga.<sup>29</sup>



*Figura 6. 14 A la izquierda: Readecuación parcial de la obra civil para el patio de caliza. revista Extracción de YCRT. A la derecha: imagen de referencia de almacenamiento de Big Bags en tres niveles, autoestibados.*

Sin embargo, es importante tener en cuenta las grandes desventajas a nivel operativo y ambiental, de llevar la piedra caliza en Big Bags en lugar de contenedores graneleros.

Costos asociados en Punta Loyola:

<b>COSTO DE MOVIMIENTOS (CARGA/DESCARGA)</b>	56,2 USD/movimiento
<b>COSTO DE ALMACENAMIENTO</b>	Únicamente financiero. No hay costo operativo porque el almacén es de su propiedad

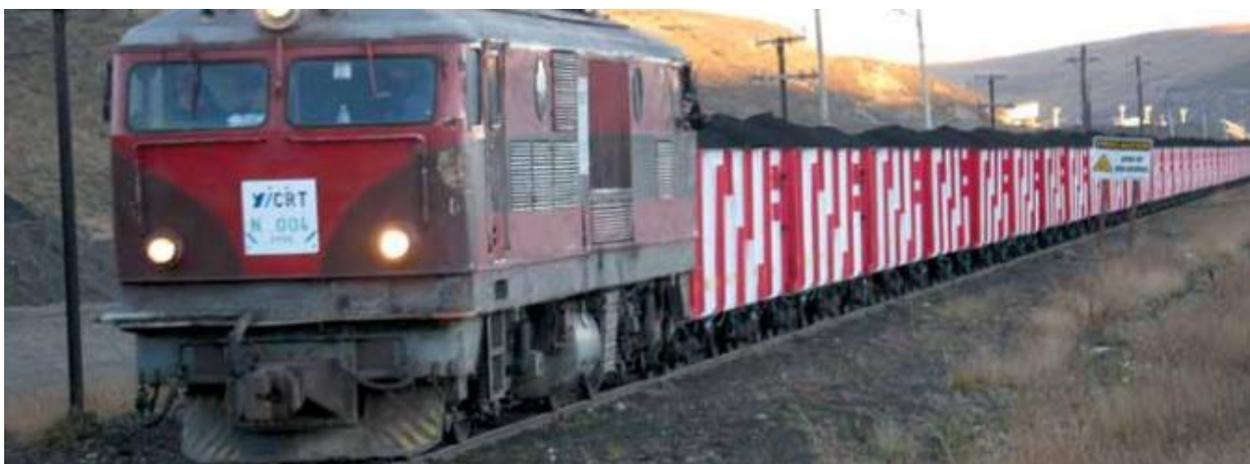
***Alternativa 2. Ramal Ferro Industrial de Río Turbio: de Punta Loyola a Río Turbio***

El Ramal Ferro Industrial de Río Turbio fue construido alrededor de 1950 con el fin de transportar el carbón proveniente del único yacimiento carbonífero de la Argentina, ubicado en Río Turbio, hacia el puerto de Punta Loyola. Cuenta con una trocha de 750 mm, y tiene una longitud de 320 km. Dado que en su momento también transportó pasajeros, el ramal se detiene en varios pueblos ubicados entre el origen y destino del mismo.

<sup>29</sup> El detalle de los cálculos realizados se encuentra en el Anexo VI.

En 1956 se recibieron las primeras locomotoras de origen japonés, que fueron reforzadas con 10 locomotoras nuevas, y luego fueron todas modernizadas para mejorar su funcionamiento con carbón sub-bituminoso. En los años 90, la privatización de YCRT (en su momento, YCF) llevó a que las 20 locomotoras fueran vendidas y reemplazadas. Se compraron con este fin cinco locomotoras diésel-hidráulicas usadas a los Ferrocarriles Estatales de Bulgaria, de las cuales cuatro fueron puestas en funcionamiento y una quinta se utilizó para repuestos. En el año 2001, un accidente en un paso a nivel hizo que este tren dejara de operar y, en combinación con el accidente ocurrido en la mina, llevó a que Río Turbio cesara su actividad minera en relación al carbón.

En 2002, la empresa fue nuevamente estatizada, reactivando la actividad minera en Río Turbio. En 2010, se incorporaron cuatro locomotoras de origen soviético provenientes de ramales de Bulgaria. El tren se encuentra operativo actualmente, únicamente para ocasiones especiales en las que se necesita extraer carbón para su venta interna o de exportación.



*Figura 6. 15 Ramal Ferro Industrial de Río Turbio. página web de YCRT.*

Según un estudio realizado por YCRT, y publicado en la revista “Extracción”, cada vagón carbonero podría cargar 13,6 toneladas, debiéndose cargar en total 20 vagones por día para cumplir con el requerimiento diario de caliza. Sin embargo, la disponibilidad de camiones para este trayecto es de alrededor de 40 unidades. Se espera que dicha carga se pueda realizar en un lapso entre 4 y 6 horas. Otra complicación para esta alternativa sería nuevamente la imposibilidad de mojar este material. Los vagones del ferrocarril, tal como se observa en la Figura 6.14, son abiertos. Es por ello que, para poder utilizar esta alternativa, sería necesario cubrir cada vagón. Sin embargo, esto conllevaría una gran complicación operativa en el armado y desarmado de vagones.

Una vez llegado el camión a Río Turbio, un puente grúa debería desarmar los vagones y colocar los Big Bags en una nave existente de 100x20m, para luego ser depositados sobre la tolva de recepción de caliza mediante un sistema de izaje y transporte elevado.

Costos asociados al transporte en tren Ferro Industrial de Río Turbio:

<b>COSTO DE MOVIMIENTOS (CARGA/DESCARGA)</b>	56,2 USD/movimiento
<b>COSTO DE OPERAR EL TREN</b>	0.068 USD/km.ton

**Alternativa 3. Transporte en camión: de Punta Loyola a Río Turbio**

El transporte carretero es especialmente recomendable en el caso de optar por transportar la piedra caliza en contenedores graneleros. El tren de Río Turbio a Punta Loyola no puede transportar este tipo de contenedores con la infraestructura con la que cuenta actualmente. Requeriría de grandes inversiones en vagones y vías para poder transportar la caliza de esta manera.

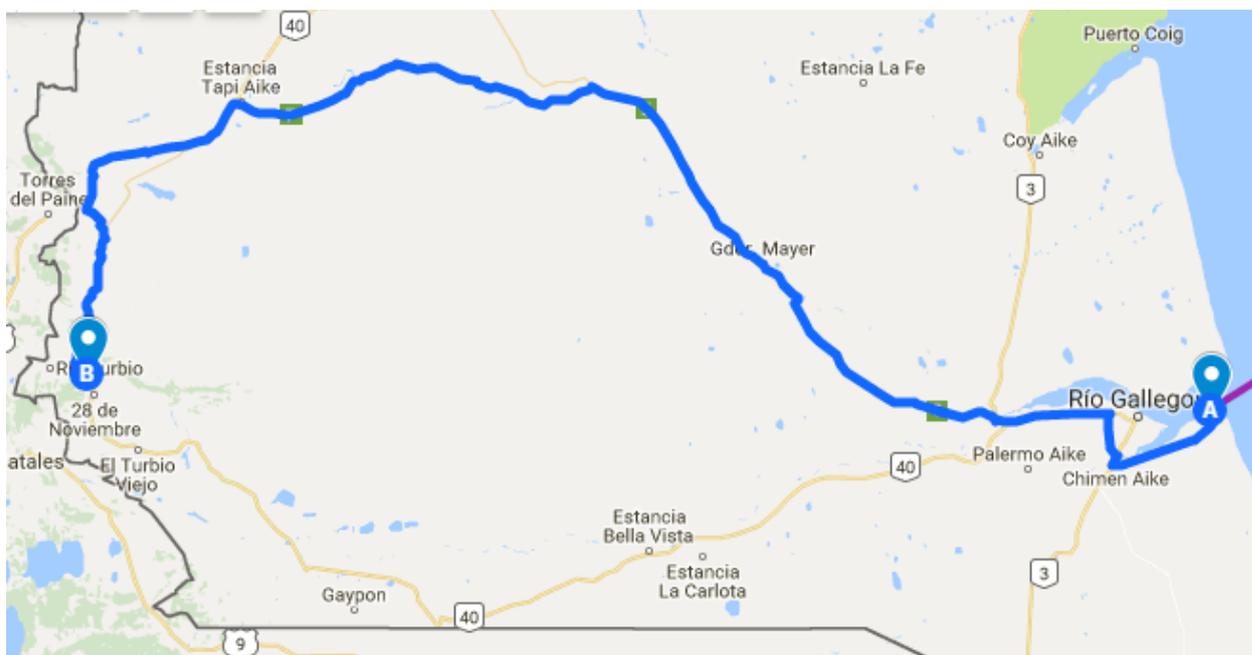


Figura 6. 16 Mapa con trayecto desde Punta Loyola a CTRT.

Es por ello que se sugiere como alternativa realizar el transporte de Punta Loyola a Río Turbio mediante camión, utilizando la Ruta Nacional 3, Rutas Provinciales 5 y 7, y un pequeño tramo de la Ruta Nacional 40.

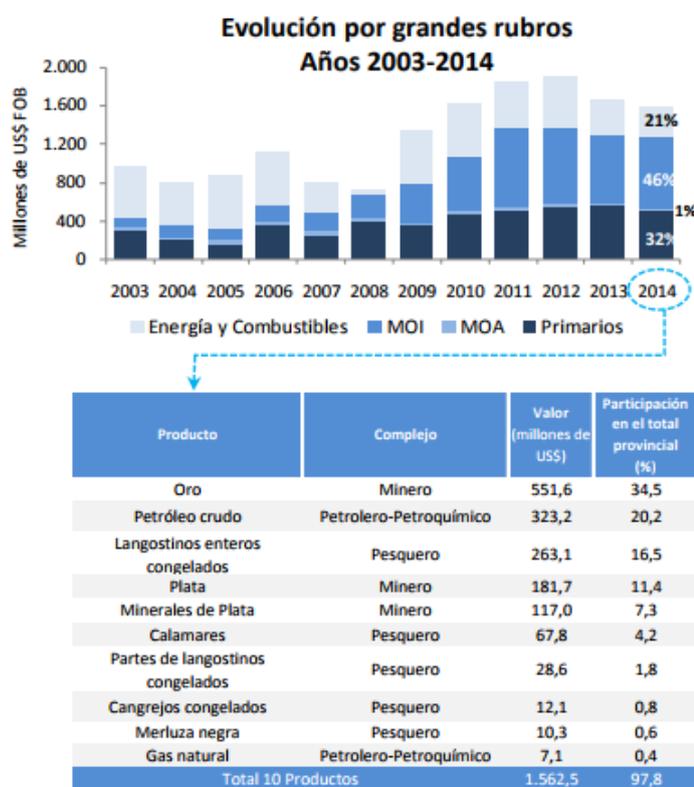
Costos asociados al transporte en camión:

<b>COSTO DE MOVIMIENTOS (CARGA/DESCARGA)</b>	56,2 USD/movimiento
<b>COSTO DE TRANSPORTE EN CAMIÓN</b>	0.13 USD/ <u>km.ton</u>

## Capítulo 7: Abastecimiento desde Pico Truncado

Luego de presentar aquellas alternativas de transporte de caliza desde yacimientos que se encuentran a una distancia mayor a los 2.000 kilómetros de la central térmica, surge la posibilidad de contar con proveedores localizados a una distancia menor. Para analizar estos mismos, se han considerado aquellos localizados en la provincia de Santa Cruz. Este capítulo se dedica a estudiar todas las alternativas de transporte de dichos proveedores de manera de contar con un yacimiento de caliza cercano a la Central Térmica de Río Turbio.

La provincia de Santa Cruz cuenta con una extensión de 243.943 km<sup>2</sup>, y sus principales actividades productivas son la ganadería (en especial el desarrollo de ganado ovino), la minería, la petroquímica, la pesca y el turismo. Es tal el desarrollo de estas actividades que las exportaciones de la provincia en el año 2014 representan el 2,3% de la participación total de exportaciones a nivel nacional. En la *Figura 7.1* se observa la evolución de las exportaciones en millones de dólares.



*Figura 7.1 Evolución de las exportaciones de Santa Cruz por rubro. Gobierno de Santa Cruz.*

Por otro lado, si se evalúa la evolución de estas actividades productivas desde el año 2003 hasta el 2014, se puede observar un claro crecimiento del sector minero (*Figura 7.2*).



*Figura 7.2 Evolución de los principales complejos productivos de Santa Cruz. Gobierno de Santa Cruz.*

El crecimiento de las exportaciones mineras de la provincia de Santa Cruz incrementó a la par de la explotación. Durante el año 2008 Santa Cruz fue la provincia que más cantidad de metros perforó a nivel nacional, con un total de 285.000 metros, lo que representó el 40% de las perforaciones a nivel país. Lo siguieron en ese año San Juan, Chubut, Jujuy, Neuquén y Río Negro.

Respecto de esta actividad minera, Santa Cruz cuenta principalmente con explotaciones de carbón, plata y oro. El carbón se extrae, como ya se ha mencionado previamente, del yacimiento presente en Río Turbio. Las minas de plata y oro representan un gran porcentaje de la explotación total de la provincia. Existen varios yacimientos en los cuales se desarrolla dicha actividad, aunque el principal es el Cerro Vanguardia donde, según el Servicio Geológico Minero Argentino, las reservas se aproximan a las 30 millones de toneladas. Además, hay extracciones de menor porte de otros minerales como los carbonatos, sulfatos, arcillas y caliza. Respecto de esta última, se analizará el proveedor durante el desarrollo de este capítulo.

A continuación, se muestra un mapa en el cual se pueden identificar aquellos emprendimientos mineros que se están llevando a cabo o que ya se han desarrollado.

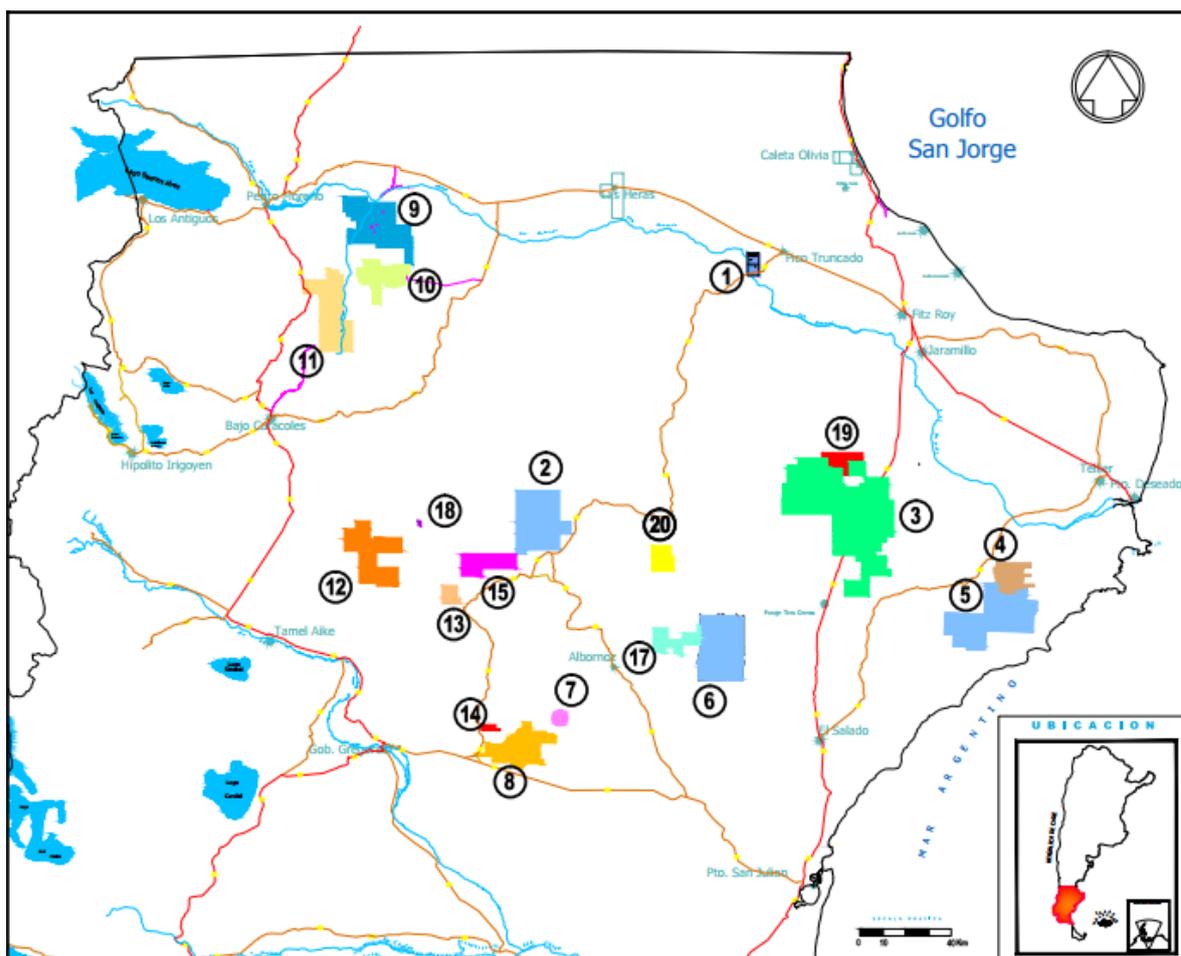


Figura 7. 3 Emprendimientos mineros de Santa Cruz. Secretaría de Estado de Minería de Santa Cruz. (ver Anexo VII con referencias)

Como se observa en dicho mapa, existe un único proveedor de piedra caliza en la región de Santa Cruz, detallado en el Anexo VII. El mismo se analizará en detalle en el inciso siguiente.

### 7.1 Proveedores de Piedra Caliza en Santa Cruz

El único yacimiento de piedra caliza en la provincia de Santa Cruz que se está explotando es aquel que se encuentra en Pico Truncado. La explotación del mismo se lleva a cabo por la Petroquímica Comodoro Rivadavia S.A. (PCR). La misma es una empresa privada relacionada con explotación y transporte de minerales desde sus comienzos. Fue fundada en el año 1921 en el cual se encargaba de proveer combustible a los ferrocarriles Roca y Sarmiento, en ese momento llamados Sud y Oeste. En esa instancia era una empresa privada, pero con la

nacionalización de los ferrocarriles, pasó a ser de administración pública hasta el año 1978 cuando se volvió a privatizar.

Durante la década de 1950 comenzó a desarrollar la actividad cementera, fundando una fábrica productora de cemento Portland en Comodoro Rivadavia. Cuenta además con producción y explotación de energía tanto en Argentina como en Ecuador; y brinda servicios logísticos de transporte de carga por la Patagonia.

Se presenta un mapa a continuación donde se muestran las actividades que desarrollan en el sur del país, como en Ecuador y en Chile.



Figura 7. 4 Actividades desarrolladas por PCR en Argentina y a nivel mundial. PCR.

Cuando se llevó a cabo una primera puesta en marcha de la central térmica en el año 2015, la caliza utilizada provenía de PCR la cual se transportó en Big Bags hacia la central. Sin embargo, debido a que PCR desarrolla actividades cementeras, la granulometría con la que se entregó dicha caliza no fue la deseada, sino que era menor. Al introducirse la caliza en

la caldera, los ventiladores primarios y secundarios generaron un efecto no deseado, volando las partículas de caliza en direcciones no deseadas. Como dicho proceso fue una prueba de puesta en marcha, y el volado de caliza no trae consecuencias graves, no ocurrió ningún incidente. El principal problema a considerar a futuro es que dicha granulometría no es adecuada para el trabajo regular de la caldera ya que disminuye su rendimiento y aumenta la generación de cenizas. Por lo tanto, este proveedor de piedra caliza debería modificar su proceso de producción para aquellas toneladas de piedra que se dirijan hacia la Central.

Otro punto a considerar para evaluar la factibilidad de dicho proveedor, recae en la actividad primordial que el mismo desarrolla. Debido a que PCR es principalmente un productor de cemento Portland, podría utilizar el yeso que es residual de la caldera de la Central. De este modo se reducirían los residuos de yeso y se reutilizarían en otro proceso destinado a la producción de cemento.

Dicho proveedor no ha compartido información sobre el costo por tonelada de piedra caliza ni especificaciones sobre la granulometría. Sin embargo, respecto a esta última, y como ya se ha mencionado previamente, se sabe que la misma no es la adecuada.

## **7.2 Alternativas logísticas para el abastecimiento**

Para el transporte de piedra caliza desde el yacimiento ubicado en Pico Truncado hasta las Central Térmica de Río Turbio, se evaluaron las siguientes alternativas que incluyen tanto transporte directo por ruta hasta transporte intermodal.

### **7.2.1 Alternativa 1: Transporte terrestre en camión a CTRT**

Para transportar piedra caliza mediante camión desde Pico Truncado hasta la central térmica, se debe recorrer en primera instancia la RP 43 por una distancia de 60 kilómetros hasta Fitz Roy. En esa instancia se realizará un empalme con la RN 3 por aproximadamente 596 kilómetros hasta el último trayecto que comprende parte de la RP 5 y la RN 40. La distancia total del trayecto es de 935 kilómetros (*Figura 7.5*).

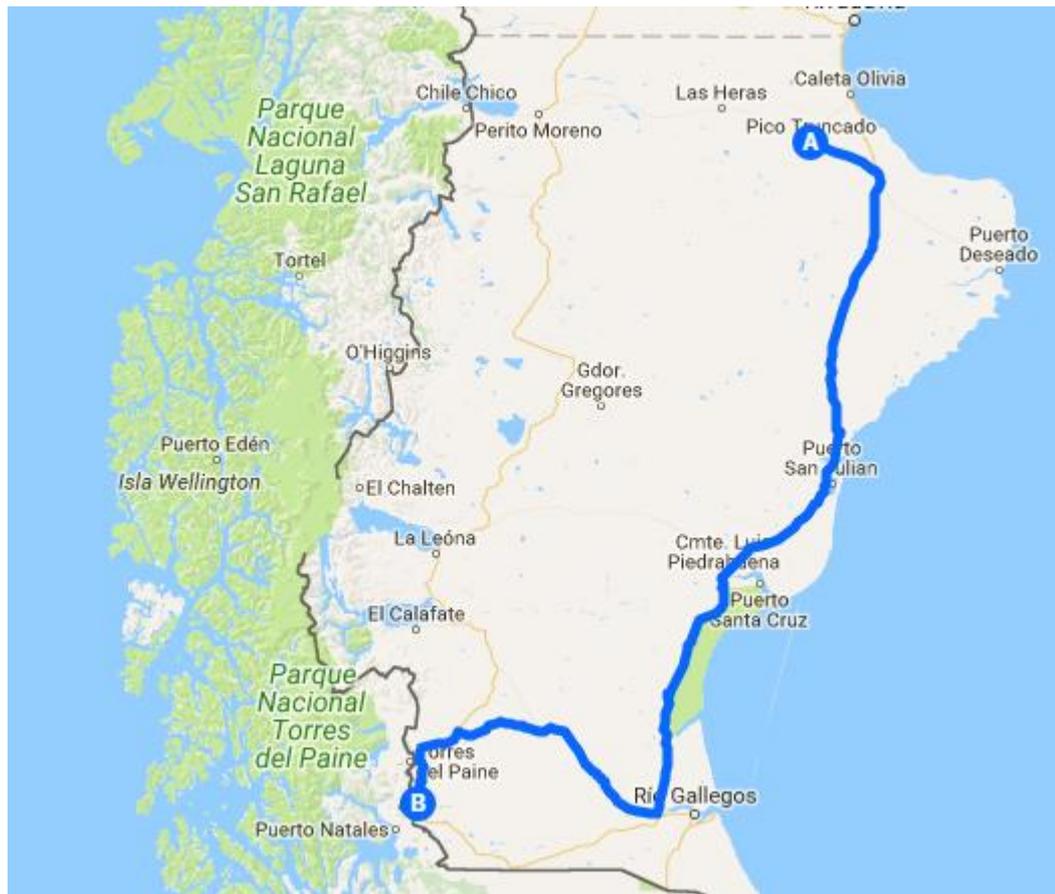


Figura 7. 5 Captura de Google Maps. En azul la ruta desde Pico Truncado hasta Río Turbio.

Cuando se analiza cada uno de los trayectos para verificar la fiabilidad de utilización de dichas rutas, se deben tener en cuenta varios aspectos. Entre ellos, uno de los principales, es el estado de la ruta en el cual se evalúa si se encuentra pavimentada o si es de ripio. Además, se debe evaluar la situación climática para considerar si las rutas se cortan debido al exceso de nieve o al riesgo debido al hielo. Como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, la Agencia de Seguridad Vial de Santa Cruz ha expresado que las rutas de la provincia se cortan frecuentemente por condiciones climáticas.

El primer trayecto a recorrer, el de la RP 43, no tiene inconvenientes respecto del estado de la misma. Esta se encuentra completamente asfaltada ya que se utiliza para el transporte petrolero.

La situación respecto del segundo trayecto, los 596 kilómetros de la RN 3, es similar al del trayecto anterior. El estado del trayecto es favorable, contando con una ruta asfaltada en la totalidad del tramo. Sin embargo, aplican los mismos conceptos planteados previamente respecto de la situación climática que podría impedir la circulación de cargas por dicha ruta.

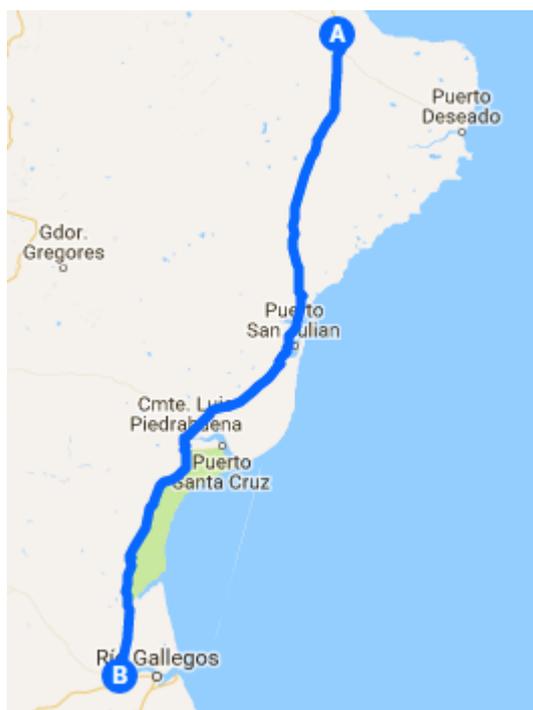


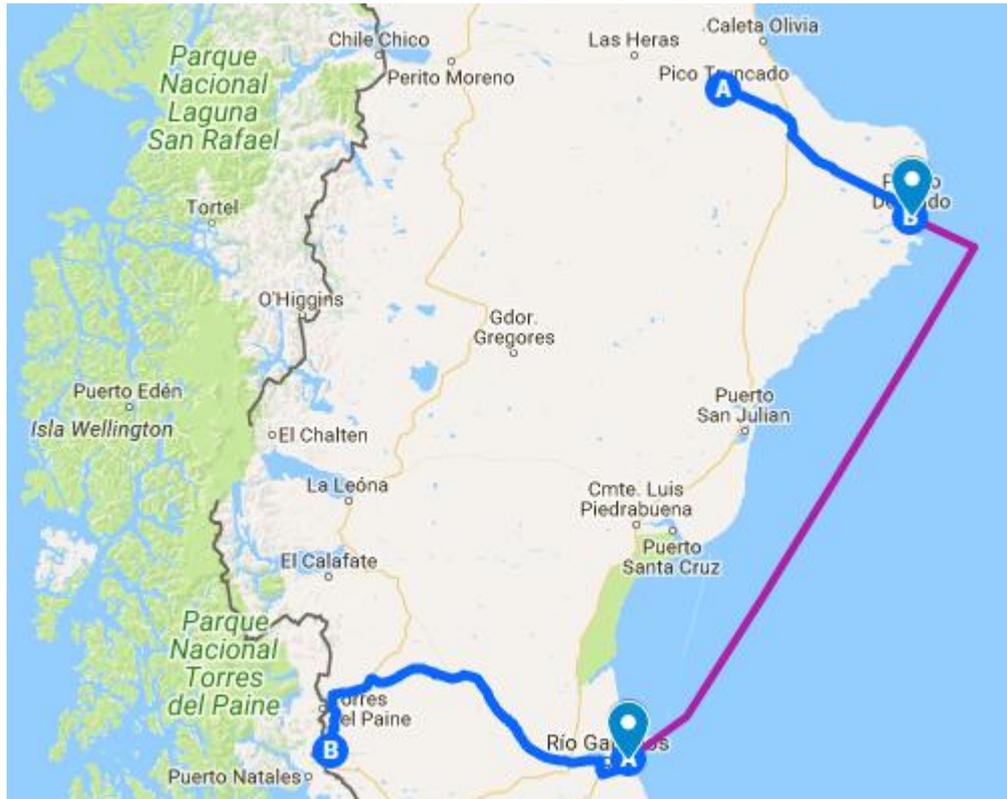
Figura 7. 6 Captura de Google Maps. En azul la ruta desde Fitz Roy hasta el empalme con la Ruta Provincial 5.

El último trayecto que comprende una sección de la Ruta Provincial 5 y otra de la Ruta Nacional 40, ha sido analizado previamente en el capítulo que refiere a la alternativa de transporte de piedra caliza desde Neuquén.

Todos los detalles respecto a transportistas que podrían realizar el trayecto y a los tipos de camiones que podrían utilizarse se encuentran analizados previamente en el inciso 5.2.1. Respecto del costo por kilómetro por tonelada también se encuentra especificado en el capítulo 5.

### **7.2.2 Alternativa 2: Transporte intermodal desde Pico Truncado (camión-buque-tren o camión-buque-camión)**

En esta alternativa se analizarán distintos trayectos con diferentes medios de transporte para llevar piedra caliza desde Pico Truncado hasta la Central Térmica de Río Turbio. (Figura 7.7 y 7.8)



*Figura 7. 7 Captura de Google Maps. En azul la ruta desde Pico Truncado hasta Puerto Deseado; y la ruta desde Punta Loyola hasta CTRT. En Violeta en trayecto en buque desde Puerto Deseado hasta Punta Loyola.*

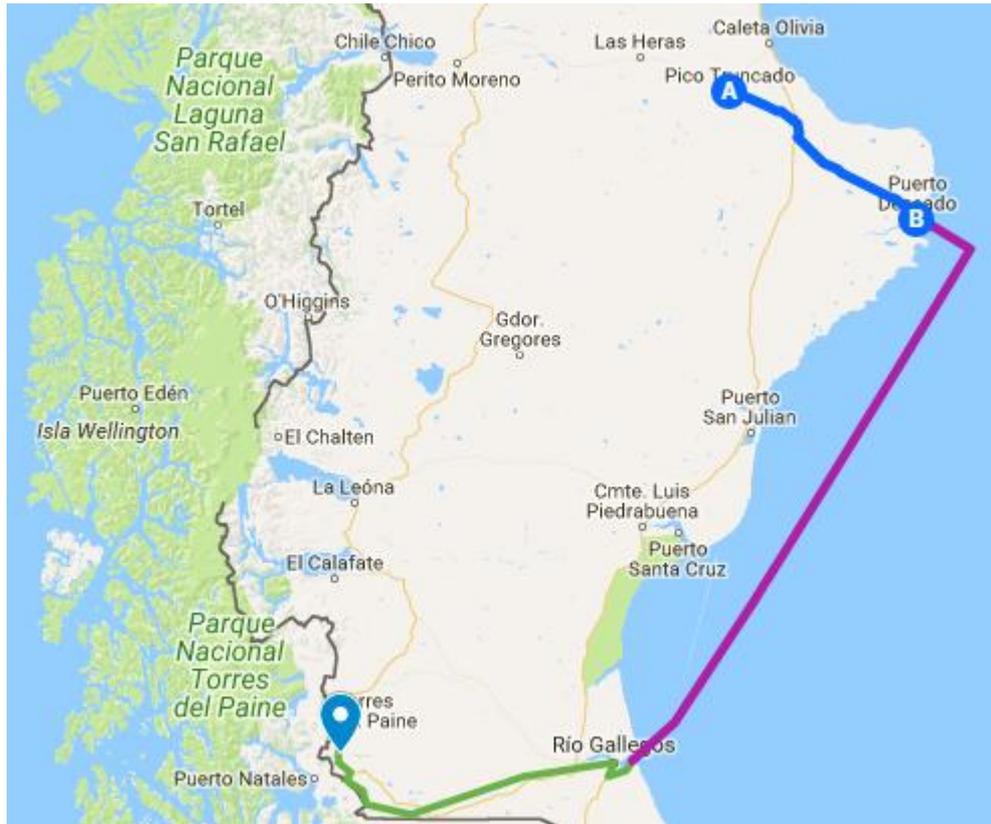


Figura 7. 8 Captura de Google Maps. En azul la ruta desde Pico Truncado hasta Puerto Deseado. En Violeta en trayecto en buque desde Puerto Deseado hasta Punta Loyola. En verde el trayecto del Ramal Ferro Industrial (Punta Loyola - Río Turbio).

### ***Transporte terrestre***

El primer trayecto de la alternativa 2 consta de un transporte por camión desde Pico Truncado hasta el puerto de Puerto Deseado. Dicho trayecto tiene una longitud total de 200 kilómetros, estando la mayor parte del mismo conformado por la RP 43 y la RN 281.

La RP 43 ya se ha analizado en la primera alternativa de este capítulo, tanto su estado como las condiciones climáticas que se pueden presentar. La RN 281 también se encuentra asfaltada en su totalidad por lo que, respecto del estado de la misma, la situación es favorable para el transporte de piedra caliza. Sin embargo, respecto de las condiciones climáticas en general, se advierte el transporte con precaución debido a la formación de escarcha.

Todos los detalles respecto a transportistas que podrían realizar el trayecto y a los tipos de camiones que podrían utilizarse se encuentran analizados previamente en el inciso 5.2.1. Respecto del costo por kilómetro por tonelada también se encuentra especificado en el capítulo 5.

Cabe mencionar que el transporte desde Pico Truncado a Puerto Deseado podría hacerse en un futuro por tren, ya que existe un tren llamado Ferrocarril Patagónico que se encuentra fuera de funcionamiento. Dicho tren comenzó a funcionar oficialmente en el año 1913 y su objetivo era el de impulsar el desarrollo de ciudades del sur de país. El trayecto que el mismo recorría consistía en unir Puerto Deseado con la localidad de Colonia Las Heras; permitiendo la carga y descarga tanto de pasajeros como de bienes en localidades intermedias. El trayecto total del Ferrocarril Patagónico se muestra en la *Figura 7.9*.



*Figura 7. 9 Ruta que realizaba el Ferrocarril Patagónico. 2015.*

Sin embargo, debido a la baja cantidad de carga de pasajeros y de mercadería durante la segunda mitad del siglo veinte, dicho tren dejó de funcionar en el año 1976. Desde entonces, tanto en el año 2008, como en el 2010 y el 2015, se ha manifestado por el gobierno de turno en esos años la rehabilitación del ramal. No obstante, no se ha desarrollado ninguna obra en la región y la situación actual de las vías y las estaciones continúa siendo la misma. A continuación, se pueden observar imágenes recientes de la situación actual en la que se encuentran las instalaciones del Ferrocarril Patagónico.



*Figura 7. 10 Estación de Puerto Deseado abandonada. Crónica Ferroviaria.*



*Figura 7. 11 Estado actual de las vías en distintos tramos del ferrocarril.*

Aun así, debido a la existencia de dicho tren, debe considerarse que, si en un futuro el mismo vuelve a encontrarse en estado operativo, la posibilidad del transporte de caliza se debería analizar. Esto no se considera actualmente en la extensión de este trabajo ya que no se tiene un panorama de la reactivación del ramal.

### ***Transporte Marítimo***

El puerto de Puerto Deseado se encuentra sobre el río Deseado en la provincia de Santa Cruz, tomando en mismo nombre que la ciudad que integra. Es un puerto

multipropósito y natural que logra recibir tanto embarcaciones de cabotaje como aquellas provenientes de ultramar. El mismo ha permitido una expansión y un desarrollo económico de la región, al ser una puerta de entrada de mercadería y, a su vez, una de salida para productos de exportación como aquellos relacionados con la actividad ganadera y minera. Muchos de los equipos utilizados por empresas mineras o petroleras ingresan por este puerto; y el mismo es base para reparaciones y aprovisionamiento de buques que abastecen las plataformas de exploración. Cuenta con una ventaja estratégica que muchos otros no tienen; el mismo no se encuentra ubicado a mar abierto, sino que sobre el río como ya se ha dicho. Esto es un gran beneficio a la hora de la carga y descarga de embarcaciones cuando las condiciones ambientales no son adecuadas; por ejemplo, vientos que superen los 40 nudos. Más aún, es el único habilitado en la provincia para descarga de sustancias como cianuro y nitrato de potasio que son consideradas como peligrosas; lo que genera otra ventaja para aquellas empresas mineras o petroquímicas que las utilicen.



*Figura 7. 12 Puerto de Puerto Deseado.*

El mismo lo administra y lo explota la Unidad Ejecutora Portuaria de Santa Cruz desde el año 1992, aunque este sigue siendo de uso público. Sin embargo, tanto el Servicio Nacional de Sanidad como la Prefectura Naval Argentina tienen responsabilidades sobre algunas actividades que se desarrollan en el puerto.

Actualmente el puerto permite la carga y descarga de contenedores al igual que de otros productos que se utilizarán en la industria petroquímica. En general, los buques de carga

que operan actualmente en el puerto alcanzan una eslora máxima de 180 metros. Los que operan con mayor mayor frecuencia son pesqueros debido a la gran actividad pesquera presente en el sur del país.

El puerto cuenta con tres accesos disponibles ubicados sobre las calles Mariano Moreno, Saenz Peña y España. Este último es el acceso oeste que es el adecuado para la alternativa planteada previamente ya que la calle España se vincula directamente con la RP 281. Además, aun operando a una capacidad portuaria del 100%, la circulación interna de camiones se encuentra disponible; por lo que se podría ingresar con los mismos en todo momento. La *Figura 7.13* muestra un mapa en el cual se detallan los límites a partir de los cuales comienza a regir la jurisdicción portuaria.



*Figura 7. 13 Límites del puerto de Puerto Deseado. UNESPOC.*

Existen cuatro muelles que se encuentran operativos y uno auxiliar que está fuera de servicio y puede ser utilizado en algún caso particular. Sin embargo, son los cuatro muelles los que se encargan de todas las operaciones portuarias. Estos se dividen en seis sitios, siendo el sitio siete el perteneciente al muelle auxiliar. La *Figura 7.14* presenta una tabla con la pertenencia de los sitios según muelle, la profundidad y la longitud de cada uno de ellos.

Muelle	Sitio	Longitud (metros)	Profundidad (metros)
Muelle 1	1	214,60	11
	2		
Muelle 2	3	128,60	9
Muelle 3	4	145,90	9
Muelle 4	5	250,00	10,5
	6		
Total		739,10	-

Figura 7. 14 Sitios por muelle con detalles de longitud y profundidad.

Respecto del almacenaje disponible, se cuenta con una playa pavimentada de 7.000 m<sup>2</sup> detrás de los silos 1 y 2, y con una no pavimentada de 17.000 m<sup>2</sup> detrás de los silos 5 y 6. Además de este espacio, se cuenta con 5.095 m<sup>2</sup> pavimentados y cercados disponibles para el almacenamiento de contenedores. Sumado a esto, existen 8.000 m<sup>2</sup> que componen una playa de estacionamiento para camiones, por lo que previa la carga en el buque los camiones se alojarán en este sector.

En cuanto a los equipos propios de carga y descarga de embarcaciones existen dos grúas operadas por la misma Unidad Ejecutora Portuaria de Santa Cruz; una de ellas de marca P&H de 45 toneladas y la otra Tadano-Nissan de 40 toneladas. Además, existen otros operadores que brindan servicio de carga y descarga portuarios. Los mismos son Murchison S.A., Logitec y Santa Cruz Estibajes. La *Tabla 7.1* presenta los equipos que cada uno de los operadores tiene en el puerto de Puerto Deseado.

Operador	Equipos
Murchison S.A.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 grúas BLH Lima de 35 toneladas</li> <li>- 10 motoestibadoras de 2,5 toneladas</li> <li>- 4 cintas transportadoras de 5 metros de longitud</li> <li>- 1 containera para contenedores llenos de hasta 40''</li> <li>- 1 containera para contenedores vacíos de hasta 40''</li> </ul>
Logitec	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 grúa de 32 toneladas</li> <li>- 1 grúa de 16 toneladas</li> <li>- 1 motoestibadora de 7 toneladas</li> <li>- 6 motoestibadoras de 2,5 toneladas</li> </ul>

	- 1 containera para contenedores vacíos
Santa Cruz Estibajes	- 1 grúa P&H Omega de 45 toneladas - 1 grúa P&H Omega de 20 toneladas - 5 motoestibadoras de 2,5 toneladas

*Tabla 7. 1 Equipos presentes por operador.*

Los costos asociados a dicha alternativa se presentan a continuación en la siguiente tabla:

Costos Asociados	
Costo de almacenaje de contenedor vacío	- 0,75 USD (exceso de 1 a 15 días) - 1,13 USD (exceso de 16 a 30 días) - 1,50 USD (exceso de 31 a 45 días) - 2,25 USD (exceso de 46 a 90 días) - 3,00 USD (más de 90 días)
Costo de almacenaje de mercadería a granel o en bulto	- 0,10 USD/ton (exceso de 1 a 15 días) - 0,12 USD/ton (exceso de 16 a 30 días) - 0,14 USD/ton (exceso de 31 a 60 días) - 0,15 USD/ton (exceso de 61 a 120 días)
Costo de carga de mercadería	- 0,35 USD/ton (en bulto) - 0,28 USD/ton (a granel)
Costo alquiler de grúas (Anexo VII con turnos disponibles)	- 90 USD/turno (en turno ordinario) - 290 USD/turno (en turno extraordinario)

Respecto del servicio de transporte marítimo desde Puerto Deseado hasta Punta Loyola, el mismo se ha detallado en el capítulo 6, inciso 6.2.2. Por lo tanto, los proveedores de dicho servicio como los costos estimados se toman de dicho inciso.

Por último, todos los aspectos y características relevantes respecto del puerto de Punta Loyola han sido analizados en el capítulo 6.



## Capítulo 8: Investigación de Operaciones

La Investigación de Operaciones utiliza modelos matemáticos, estadísticos y algoritmos para la “conducción y la coordinación de actividades en una organización”<sup>30</sup>. Esta rama de administración, intenta encontrar la mejor solución posible dados los limitados recursos de una organización. En este capítulo, se indaga en las posibles herramientas para la modelización de la logística de abastecimiento.

### 8.1 Herramientas de Investigación de Operaciones

Para la modelización del abastecimiento de una planta se pueden utilizar modelos deterministas como los de programación lineal o teoría de inventarios.

La programación lineal utiliza un procedimiento de solución denominado *método simplex* que considera todas las alternativas y obtiene el resultado que mejor alcanza las metas establecidas, dados ciertos recursos limitados. Elige el nivel de cada actividad que compite por esos recursos. En este caso, se podría aplicar para determinar la cantidad de toneladas a transportar por cada trayecto propuesto, utilizando los modelos de distribución de programación lineal. Si bien la programación lineal involucra un análisis post-óptimo, que permite evaluar qué pasa si se modifica alguna variable, el procedimiento es lento ya que se debería realizar el análisis *ceteris paribus* con una variable a la vez.

La teoría de inventarios se considera una buena aproximación para la determinación del lote óptimo para la gestión de inventarios. Existen varios esquemas que por medio de distintos supuestos acerca de la demanda, el almacén y los costos, permiten la modelización para distintas situaciones.

Sin embargo, los modelos deterministas no son capaces de representar los riesgos asociados y la variabilidad en los datos de una cadena de suministro (*Tabla 8.1*). Como se desea capturar la variabilidad en los tiempos de reaprovisionamiento debido a retrasos o disrupciones, no se podrían utilizar estos modelos deterministas.

---

<sup>30</sup> Hillier, F. y Lieberman G. (2010) *Introducción a la investigación de operaciones*. Novena edición. McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A. de C.V., México.

<i>Categoría</i>	<i>Directrices del riesgo</i>
Interrupciones	Desastre natural, guerra, terrorismo Disputas laborales Quiebra del proveedor
Retrasos	Alta utilización de la capacidad de la fuente de suministro Inflexibilidad de la fuente de suministro Mala calidad o rendimiento en la fuente de suministro
Riesgo de los sistemas	Descompostura de la infraestructura de información Integración de sistemas o grado hasta el cual los sistemas están conectados en red
Riesgo de pronóstico	Pronósticos imprecisos debido a largos tiempos de espera, estacionalidad, variedad de productos, ciclos de vida cortos, base pequeña de clientes Efecto látigo o distorsión de la información
Riesgo de propiedad intelectual	Integración vertical de la cadena de suministro Outsourcing y mercados globales
Riesgo de adquisición	Riesgo del tipo de cambio Fracción adquirida de una sola fuente Utilización de la capacidad de la industria
Riesgo de cuentas por cobrar	Número de clientes Solidez financiera de los clientes
Riesgo de inventario	Tasa de obsolescencia del producto Costo de mantener el inventario Valor del producto Incertidumbre de la oferta y la demanda
Riesgo de capacidad	Costo de la capacidad Flexibilidad de la capacidad

*Tabla 8. 1 Riesgos a considerar en la cadena de suministro durante el diseño de la red. Chopra.*

Para incorporar la variabilidad en los datos, se pueden utilizar las herramientas de programación lineal estocástica, teoría de inventarios estocástica, Montecarlo con Crystal Ball o Simulación.

De las ramas de programación lineal estocástica se podría utilizar el modelo “Equivalente Determinista”, también conocido como “aquí y ahora”, que en contraposición del modelo “Problemas de distribución”, no asume que se puede esperar a que se realicen las variables estocásticas antes de la toma de decisiones. En los modelos “Equivalente Determinista”, se puede aceptar que las restricciones del modelo no se satisfagan totalmente, sino que es suficiente que se verifiquen con cierta probabilidad. Otra rama de estos modelos, impone penalizaciones a los desvíos en las restricciones, es decir, supone ciertos costos para corregir las desviaciones en las restricciones.

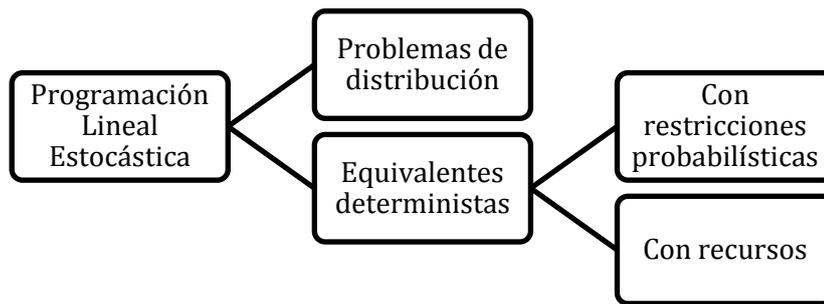


Figura 8. 1 Programación Lineal Estocástica.

Asimismo, existen modelos de la teoría de inventarios que admiten distribuciones normales para los tiempos de reaprovisionamiento y de la demanda. Estos proponen que se mantenga un stock de seguridad que permita a la empresa cubrirse ante las variaciones de demanda o de tiempos de reaprovisionamiento (Figura 8.3).

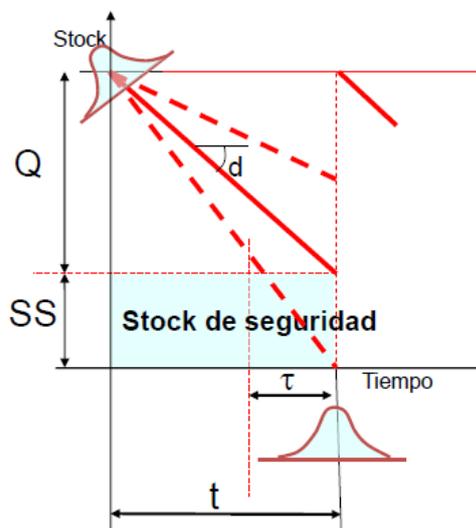


Figura 8. 2 Modelo de inventarios con variabilidad.

Por último, se consideran los modelos de simulación de Monte Carlo con Crystal Ball o la utilización del software Anylogic que incluye todos los métodos más comunes de simulación como sistemas de eventos discretos, dinámica de sistemas, modelado de agentes, optimización, variación de parámetros, análisis de sensibilidad, experimentación y Monte Carlo entre otros.

La simulación de Monte Carlo con Crystall Ball permite superar la limitación de los análisis tradicionales de estimaciones puntuales que sólo dan información de un escenario posible. Permite iterar con todos los posibles valores que toma la variable y da como resultado todo el rango de soluciones posibles.

La solución propuesta para encontrar la mejor alternativa posible para el abastecimiento de piedra caliza es la simulación de la operación con el software AnyLogic. Se seleccionó esta herramienta ya que el sistema estocástico en cuestión tiene un grado de complejidad alto que es más fácil de diseñar y solucionar con el software. En particular, el Instituto Universitario de Matemática Pura y Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia justifica el uso de Anylogic para el modelado y simulación de una cadena de suministro (CS) de la siguiente manera:

“Siendo la CS un sistema complejo, los modelos analíticos utilizados para representarla, son también muy complejos. Por lo que, las fórmulas matemáticas derivadas de los modelos que tratan de representar la CS no resultan sencillos, dificultando llegar a soluciones óptimas y requiriendo tiempos de resolución largos”<sup>31</sup>.

Los procesos de una cadena de suministro son complejos y los objetivos son frecuentemente contradictorios entre las entidades que conforman la cadena. Por ejemplo, algunos desean incrementar el uso de inventarios para producir sin sobresaltos y brindar un buen servicio al cliente, sin considerar que otras partes de la empresa buscan disminuir el capital de trabajo, ya que un inventario alto se traduce por ejemplo en deudas y pagos de intereses.

Se realizará una simulación discreta, en la cual un número de agentes (la piedra caliza), atraviesan una serie de operaciones (su traslado, manipulación, almacenamiento y consumo). Se utilizará el algoritmo de optimización del software para determinar cuál es la cantidad y la frecuencia de los pedidos de piedra caliza.

Asimismo, como hay datos que no fueron compartidos por parte de los proveedores de la materia prima y de los servicios de transporte, la simulación permite el ingreso de datos por un usuario que ya conozca estos datos en un futuro. Otro uso potencial de la herramienta es el estudio de la factibilidad y el impacto de cambios en el sistema antes de realizar la inversión. Es una excelente herramienta para que un usuario pueda demostrar la necesidad de realizar

---

<sup>31</sup> Andres, B., Sanchis, R. y Poler R. (2016) *Modelado y Simulación de la Cadena de Suministro con AnyLogic*. Universidad Politécnica de Valencia (Campus d'Alcoi), España.

cambios en un sistema. Además, dispone de funciones que “permiten generar modelos con un entorno de simulación interactivo y muy visual”<sup>32</sup>.

## 8.2 Simulación con AnyLogic

Una vez elegida la simulación como herramienta de investigación de operaciones, se revisaron los distintos pasos para realizar un estudio de simulación. A continuación, se recorrerá la mayoría de ellos, detallando lo que corresponda en cada caso.

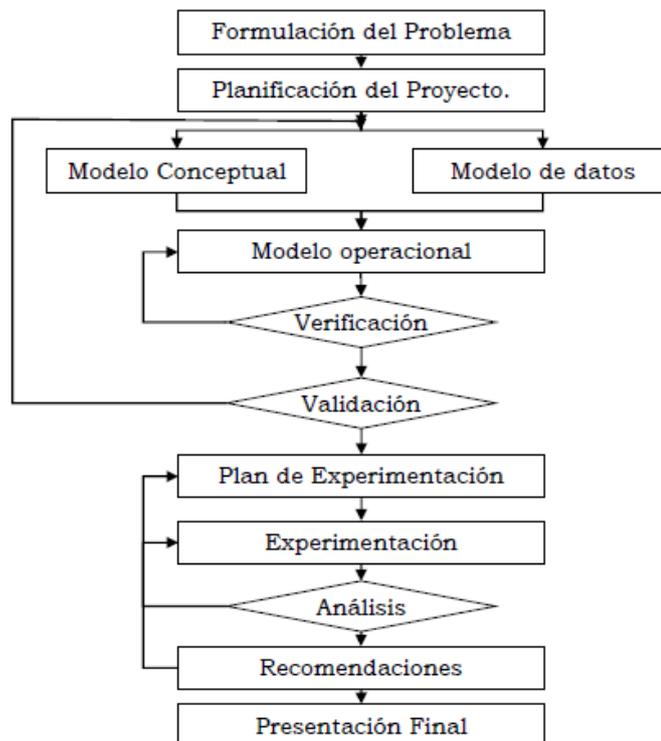


Figura 8. 3 Pasos en un estudio de Simulación. cátedra de Simulación, ITBA.

### 8.2.1 Formulación del problema

La Central Térmica de Río Turbio, que aún no se encuentra en funcionamiento, tiene un requerimiento de 11,14 toneladas de piedra caliza por hora, alrededor de 8.000 toneladas por mes, que puede ser abastecido de diversas maneras. En el presente trabajo se analizaron varias alternativas para su transporte, cada una con sus limitaciones y costos asociados. A su vez, dicha operación posee variabilidad en varias cuestiones: el lead time de entrega de cada

---

<sup>32</sup> Idem.

camino, la demora de carga y descarga en los nodos, la frecuencia y duración de imprevistos, entre otros.

Dado que la Central Térmica aún no se encuentra en funcionamiento, la simulación fue planteada como una herramienta para facilitar la toma de decisiones a la hora de elegir un proveedor y cadena logística de abastecimiento. No cuenta con un modelo de datos exhaustivo dado que una parte de la de información necesaria no se encuentra aún disponible, o no fue compartida por los correspondientes proveedores. Por lo tanto, el objetivo es plantear un modelo que permita optimizar dicha cadena a partir de la variación de ciertos parámetros, y experimentar con las variables de control del modelo, para obtener la distribución del costo total estimado de la operación de caliza en distintos escenarios.

### 8.2.2 Modelo Conceptual:

En primer lugar, se definió una función objetivo, que será aquella a optimizar. La función corresponde al costo total incurrido para la operación completa de abastecimiento de piedra caliza durante los 10 meses de plena carga, desagregado en diversas componentes.

Para determinar la cantidad óptima a pedir a cada zona a través de las distintas cadenas logísticas, se planteó un modelo con los siguientes supuestos:

#### SUPUESTOS DEL MODELO

<b>DEMANDA</b>	Se asume constante.
<b>PRECIO</b>	Se supone precio constante e independiente de la cantidad a comprar.
<b>REAPROVISIONAMIENTO</b>	El tiempo de entrega para el reaprovisionamiento es variable.
<b>CICLOS</b>	Los ciclos de pedidos son repetitivos e idénticos
<b>CAPACIDAD</b>	La capacidad de almacenamiento se asume limitada.
<b>CANTIDAD DE ÍTEMS</b>	Un único insumo: la piedra caliza.
<b>RUPTURA</b>	Se acepta la ruptura (falta del material).
<b>STOCK DE SEGURIDAD</b>	Se posee un stock de seguridad en la Central.
<b>COSTO UNITARIO DE ALMACENAMIENTO</b>	Se asume constante.
<b>COSTO UNITARIO DE REAPROVISIONAMIENTO</b>	Se asume constante.

A partir de los supuestos mencionados, se construyó la siguiente función objetivo:

$$C = \text{Cadq} + \text{Cord} + \text{Calm} + \text{Crup}$$

Donde,

- Cadq = Costo de adquisición de la piedra caliza
- Cord = Costo de ordenar
- Calm = Costo de almacenar
- Crup = Costo de ruptura, definido como el costo incurrido al no poder operar la Central por falta de piedra caliza

A continuación, se desarrollará el modelo conceptual, detallando qué contempla cada uno de los costos mencionados anteriormente.

#### ***Costo de adquisición***

Este contempla el costo de la materia prima por tonelada (Cmp), que varía según proveedor, y el costo de transporte por tonelada (Ctr) que depende de la cantidad pedida y varía según alternativa. También contempla los costos de carga y descarga de mercadería, que depende de la cantidad pedida, pero de forma escalonada. Este valor se calcula con el costo de movimiento de la unidad de carga (Cuc – ejemplo: USD/contenedor) y la capacidad de dicha unidad de carga (Kuc – ejemplo: t/contenedor).

$$\text{Cad} = \text{Cmp} * Q + \text{Ctr} * Q + \text{Cuc} / \text{Kuc} * Q$$

#### ***Costo de ordenar***

En este problema se denomina costo de ordenar a aquel incurrido cada vez que se coloca una orden. Incluye desde costos internos por descarga de mercadería, hasta costos de transporte que son invariantes con la cantidad pedida, como por ejemplo los peajes.

$$\text{Co} = \text{Kop} * D / Q + \text{Kadm} * D / Q$$

Donde,

Kop considera: costo de transporte fijos

Kadm considera: x hs/ped \* Cadm USD/hr

#### ***Costo de almacenar***

El almacenaje de mercadería normalmente considera el operativo y el financiero. El costo operativo en este caso se adjudica al mantenimiento de la materia prima en depósitos intermedios, como el puerto. Muchas veces el costo operativo también contempla el costo de obsolescencia, que en este caso podría relacionarse con la materia prima perdida durante el transporte o en los puntos de transferencia. Sin embargo, se lo considera despreciable en comparación con los demás costos. En Punta Loyola y en la Central misma actualmente no

debe pagar por el almacén. Por otra parte, el costo financiero se atribuye al capital inmovilizado en materia prima.

$$C_{alm} = (C_{op} + C_{fin}) * T_1 * (Q/2+SS)$$

Donde,

$C_{op}$ : costo operativo de almacenamiento en puertos

$C_{fin}$ : costo financiero

$T_1$ : período analizado en el que no hubo ruptura.

### ***Costo de ruptura***

Se define como costo de ruptura al costo incurrido por no poder operar la Central, debido a la falta de piedra caliza. Este se estima en 100 USD/MWh.

$$C_r = p_{MWh} * P_i / q_{caliza} * fc * T_2 * R$$

Donde,

$p_{MWh}$ : precio del MWh

$P_i$ : Potencia instalada

$q_{caliza}$ : consumo de caliza por hora

$fc$ : factor de carga de la Central

$T_2$ : período analizado en el que hubo ruptura

$R$ : faltante de caliza en dicho período

Las variables de control elegidas en este problema fueron: la cantidad de piedra caliza a pedir a través de cada cadena de suministro, la frecuencia de pedido, y el método de almacenamiento para el transporte (granel, Big Bag, etc).

El plan de cuadros para la simulación, consistió en dos etapas. En primer lugar, el plan era realizar un experimento de optimización, donde los parámetros fueran: la cantidad pedida a través de cada cadena logística, la frecuencia de pedido y, para dos alternativas en las que era pertinente, el método de empaquetado. Como resultado, se esperaba obtener la combinación de parámetros que Anylogic considerara como óptima para minimizar la función de costo planteada anteriormente. En segundo lugar, el plan era experimentar con dichos parámetros para obtener la distribución de la función de costo.

A su vez, otras variables relevantes para el análisis fueron:

- El lead time de cada alternativa (considerando tráfico)
- El tiempo de carga y descarga en los nodos (puertos, almacenes)
- Frecuencia de imprevistos (descarrilamientos, demoras, piquetes, factores meteorológicos)
- Duración de imprevistos (descarrilamientos, demoras, piquetes, factores meteorológicos)

Algunas de las restricciones de capacidad del modelo planteado fueron:

- Almacenaje en distintas etapas de la cadena
- Capacidad de transporte (trenes, buques, camiones)
- Frecuencia de transporte

A su vez, los agentes planteados fueron los distintos pedidos. Por ejemplo, un agente podía ser una flota de camiones o un conjunto de contenedores en un tren, independientemente de cuál fuera su modo de carga o transporte. La lógica de asignación de rutas se construyó a partir del optimizador, que arrojaría la frecuencia y el tamaño del pedido que cada *Source* iría a generar.

### **8.2.3 Modelo de Datos**

Para construir el modelo de datos del simulador, se tomaron algunos datos de referencia compartidos por proveedores, y se estimaron sus distribuciones. En el Anexo VIII se puede encontrar la planilla de datos que se construyó para alimentar el Anylogic, donde se identificaron las distintas variables involucradas y sus respectivas distribuciones.

Sin embargo, cabe aclarar que algunos de los números incluidos en el modelo de datos son tan sólo estimaciones, que deberían ser ajustadas por el usuario al utilizar la herramienta de toma de decisiones que sería la simulación.

### **8.2.4 Modelo Operacional**

El modelo operacional se construyó en Anylogic 8.2.2 Personal Edition. En la Figura 8.4 se puede visualizar una corrida del programa con los elementos que constituyen la simulación de las distintas alternativas de abastecimiento. Esta corrida se hizo otorgando valores aleatorios a las cantidades y frecuencias, tan solo para verificar el correcto funcionamiento del modelo construido.

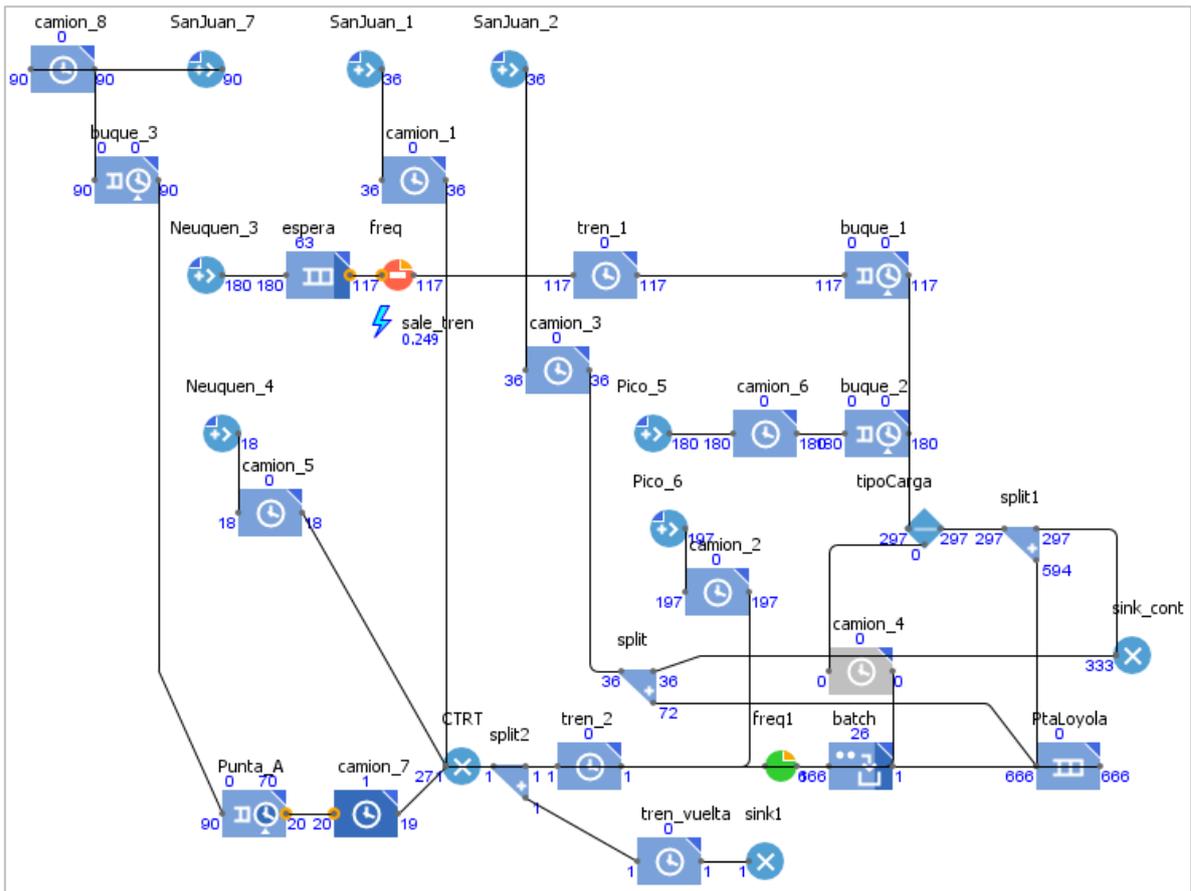


Figura 8. 4 Captura de pantalla del modelo operativo construido en Anylogic para simular las diversas alternativas para el transporte de piedra caliza.

### 8.2.5 Verificación y validación

Dado que la Central no se encuentra aún funcionando no es posible realizar aún una validación exhaustiva del mismo, dado que no se poseen datos reales para corroborar que el comportamiento del modelo sea acorde a la realidad.

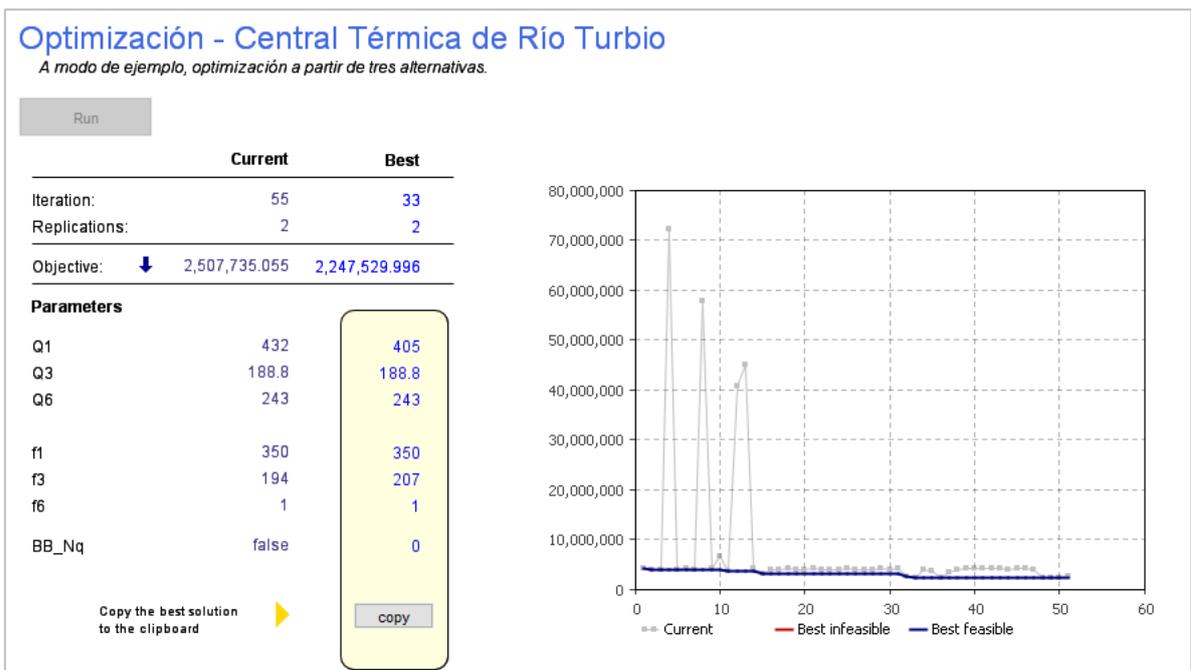
En cuanto a la verificación, esta se realizó a lo largo de la simulación, utilizando comandos como el *traceln* que escriben en la tabla de comando del software un parámetro o variable elegido, para corroborar que tenga el valor adecuado.

### 8.2.6 Plan de experimentación

Tal como se mencionó anteriormente, el principal objetivo de la herramienta es optimizar las distintas variables de control para encontrar el mix óptimo de proveedores, tomando otros parámetros como fijos.

Para ello, se definieron dieciséis parámetros a optimizar: siete parámetros de cantidad pedida a lo largo de los siete caminos (Q1 a Q7), siete parámetros de frecuencia de pedido (f1

a f7) y dos parámetros que indican si las alternativas multimodales poseían BigBags o no. Como la versión de Anylogic utilizada no soportaba semejante cantidad de parámetros de optimización, se seleccionaron tres caminos posibles para reducir la cantidad de variables de control a siete. El objetivo de esta pre-selección es únicamente el de poder explicar cualitativamente el uso de la herramienta; no deben ser tomados como determinantes los valores arrojados por la optimización. En la Figura 8.5 se puede visualizar la optimización, que a la izquierda arroja la mejor opción encontrada, y a la izquierda grafica todas las opciones planteadas hasta el momento.



*Figura 8. 5 Captura de pantalla de la Optimización de Anylogic, a partir de tres alternativas seleccionadas a modo ejemplo.*

Por último, una vez encontrados los valores óptimos arrojados por OpQuest, se realizó una experimentación de Parameter Variation, para encontrar la distribución de costo del mix de proveedores seleccionado. El objetivo principal de la construcción de dicha función es el dimensionamiento del riesgo económico que conlleva el mix de proveedores y la política de abastecimiento seleccionada.

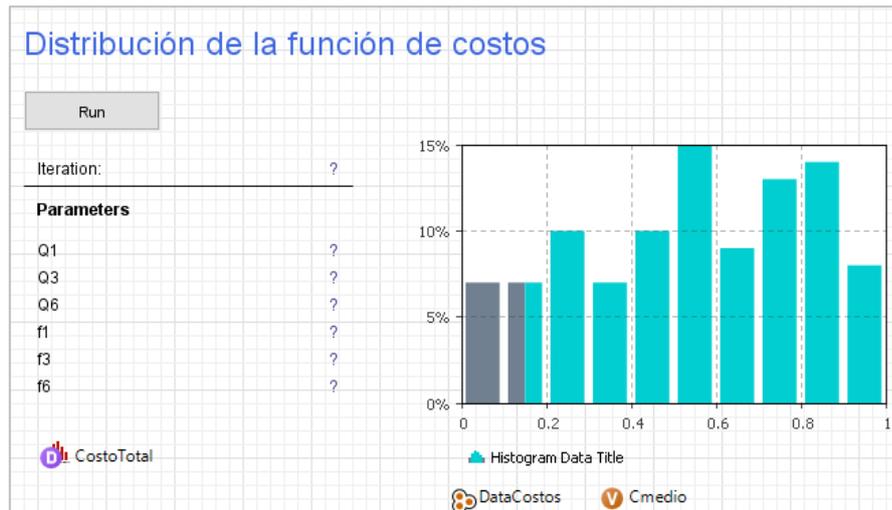


Figura 8. 6 Captura de pantalla de la experimentación con la herramienta Parameter Variation de Anylogic

Tanto el Análisis de Resultados como la Recomendación quedan sujetas a su realización una vez completado el modelo de datos con mayor precisión. Si bien la herramienta actualmente no arroja números lo suficientemente fiables, el presente capítulo detalló el uso de dicha Simulación como herramienta para quien deba tomar la decisión de abastecimiento de la Central.

## Capítulo 9: Propuestas alternativas

### 9.1 Utilización de cal como sustituto de la caliza para la desulfuración

Una alternativa que también se debería considerar es utilizar directamente la caliza pre-tratada para que ya se encuentre en forma de cal al ingresar la caldera. Si bien esta opción está en fase experimental, y Foster-Wheeler todavía no aprobó su utilización, se analiza brevemente sus ventajas y desventajas por si en un futuro se puede empezar a reemplazar la caliza por cal.

Actualmente, la cal que se podría utilizar con este fin, es una obtenida por un pre tratamiento lento de calcinación, un método patentado por Calcidrata SpA en Italia. En el Anexo X se puede encontrar la ficha técnica de este producto. No se recomienda utilizar otras cales comercialmente disponibles que no tengan las características del producto de Calcidrata SpA por varios motivos. En primer lugar, las otras cales son frágiles, por lo que implicaría por un lado un mayor requerimiento en volumen ya que las partículas se escaparían como cenizas volantes antes de su reacción y por el otro probablemente se requiera de arena para lograr la composición correcta del lecho fluido dentro de la caldera. También se generarían finos en los silos y en su transporte.

El óxido de calcio provisto por Calcidrata SpA presenta tres beneficios principales. En primer lugar, la cal tiene una mayor capacidad de captura de dióxido de azufre por gramo de sorbente que la caliza. En la *Figura 9.1* se puede observar que en las mismas condiciones de operación (850°C y 1800 ppm SO<sub>2</sub>) la cal es capaz de retener 2 a 4 veces más dióxido de azufre.

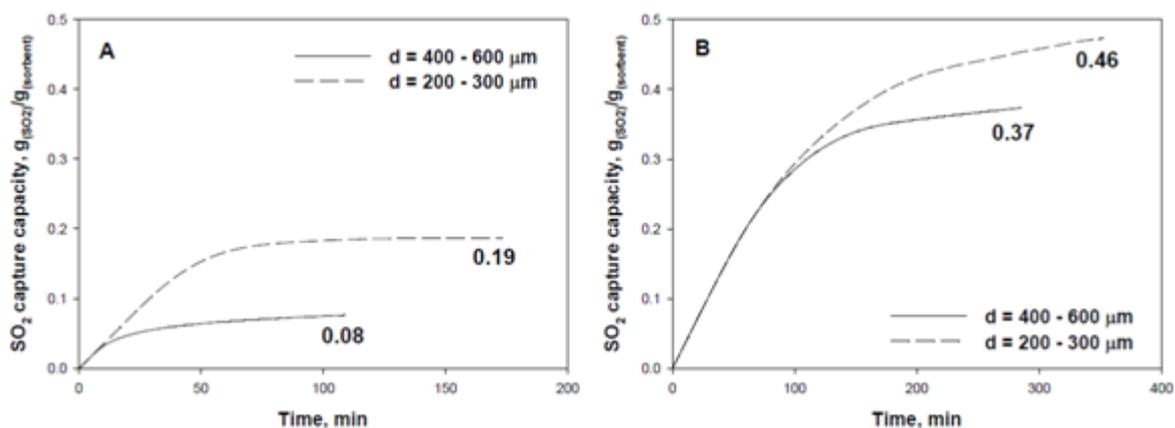
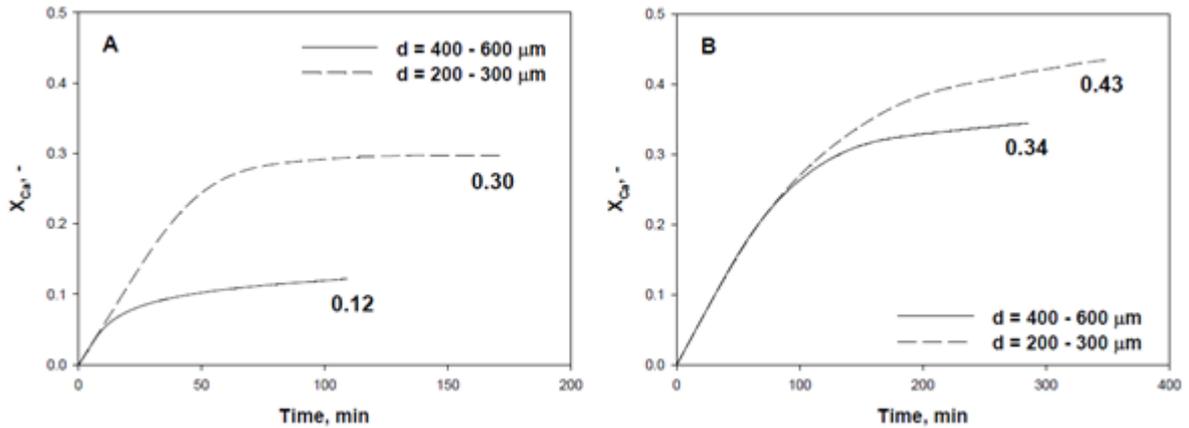


Figura 9. 1 la capacidad de captura de SO<sub>2</sub> por partículas de distintos tamaños de A) caliza y B) cal.

Como se explicó anteriormente, para el tratamiento exitoso del dióxido de azufre, se debe realizar en un exceso de caliza, al tratarse de un fenómeno superficial, no toda la caliza reacciona. Esto se traduce en una mayor producción de cenizas. El segundo beneficio que presenta la cal, es que, como se observa en la *Figura 9.2*, la conversión de óxido de calcio en sulfato es 1,5 a 3 veces mayor para la cal que la caliza.



*Figura 9. 2 Conversión de óxido de calcio en sulfato para partículas de distintos tamaños de A) caliza y B) cal.*

Otra ventaja de esta alternativa es que el desgaste y la fragmentación de la cal es menor que el de la caliza. La cal tiene una mayor resistencia mecánica y genera menos partículas finas. El tamaño de las partículas es algo crítico para la captura del dióxido de azufre. Por ejemplo, si son muy finas, incrementa la cantidad de óxido y carbonato de calcio sin reaccionar en las cenizas ya que se escapan más rápidamente como cenizas volantes.

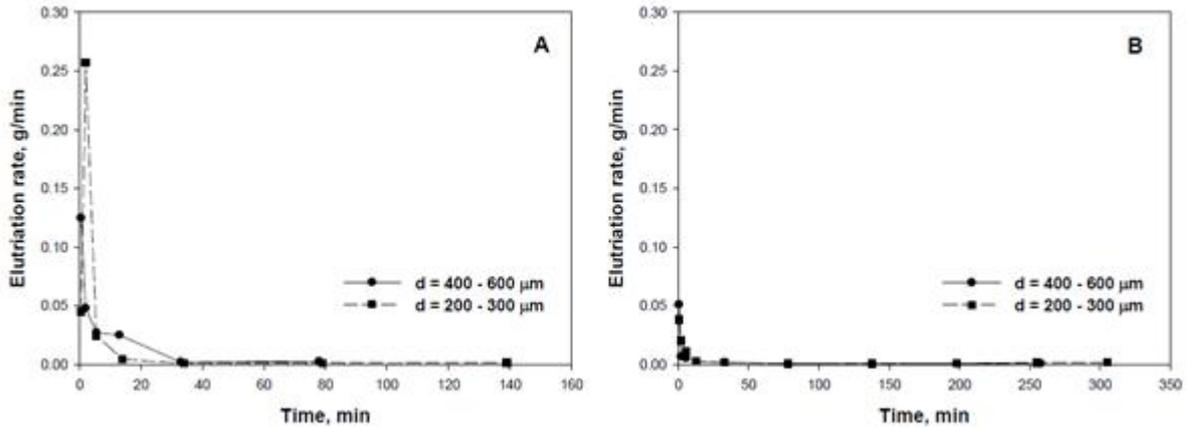


Figura 9. 3 Ritmos de elutriación de partículas finas generadas utilizando A) caliza y B) cal.

Todos estos beneficios comentados se pueden traducir en un potencial beneficio económico. La cantidad de cenizas anuales generadas es de 648.000 toneladas. Por lo general, un 7% y un 30% son de caliza y óxido de calcio respectivamente sin reaccionar. Sin embargo, el carbón de Río Turbio contiene tantas impurezas de aluminio y de sílice que estos porcentajes son significativamente menores. En la Figura 9.4, se visualiza que estos números se reducen en un orden de magnitud resultando en 0,7% y 3% respectivamente. Ergo, la ceniza contiene 4.536 toneladas anuales de piedra caliza y 19.440 toneladas anuales de óxido de calcio sin reaccionar.

Como Óxidos		
Na <sub>2</sub> O	%	0,6
K <sub>2</sub> O	%	1,2
CaO	%	3,1
MgO	%	1,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	26,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	4,5
SiO <sub>2</sub>	%	57,9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,0
TiO <sub>2</sub>	%	1,4
SO <sub>3</sub>	%	3,8

Figura 9. 4 Componentes en la ceniza de la CTRT como óxidos.

Potencial beneficio económico:

- Costo de la caliza no aprovechada: 45.360 USD (se consideró un precio de 10 USD/t)

- Costo de la cal no aprovechada: 1.944.000 USD (se consideró un precio de 100 USD/t)
- Costo asociado al consumo de carbón quemado para generar el calor necesario para la calcinación de la caliza: 919.155 USD (90 USD/t de carbón con un poder calorífico de 5.900 kcal/kg)
- Costo asociado a la operación del relleno sanitario del CaCO<sub>3</sub> y CaO no aprovechado y de las cenizas generadas por su calcinación: 959.000 (40 USD/t de costos de operación de un relleno sanitario)

Esto se traduce en un potencial beneficio económico de 3.867.860 USD anuales.

La cal se suele comercializar a 100 USD/tn, 10 veces más que la caliza. Sin embargo, dado que la conversión de óxido de calcio en sulfato puede ser hasta 3 veces mayor para la cal que la caliza, se necesitarían 3,7 toneladas por hora de cal en vez de 11,14 toneladas por hora de caliza. Por lo tanto, el costo adicional por la materia prima sería de 1.878.538 USD anuales dejando un beneficio neto de 1.989.322 USD anuales.

Por supuesto también se debe considerar que la logística de esta alternativa puede ser menos costosa por el menor volumen requerido y la mayor diversidad y cercanía de proveedores. Sin embargo, habría un costo adicional debido a las condiciones especiales requeridas para su transporte. La cal es un material higroscópico e irritante por lo que se debe tener cuidado e invertir en su transporte y almacenaje de manera tal que el material no entre en contacto ni con humedad ni con un operario.

## **9.2 Importación de piedra caliza**

Si bien se mencionó anteriormente que debido al valor de la piedra caliza el comercio internacional es muy chico y poco conveniente; en países con costos logísticos elevados la situación puede ser distinta. En el caso de un país como Argentina, cuya logística es compleja y costosa, sumado a las limitaciones en su infraestructura, puede ser igualmente competitivo importar dicho material.

Algo similar sucede con YPF que opta por la importación de *Frac sand* a través del puerto de Bahía Blanca para la explotación en Vaca Muerta, Neuquén. Dicho material es traído en contenedores desde Shanghái directo al puerto de Bahía Blanca donde realizan la descarga de este tipo de arena.

### **9.2.1 Panorama actual de exportación de piedra caliza**

Para comprender quiénes podrían ser los posibles vendedores de piedra caliza para importar a Argentina, se investigó acerca del volumen y el precio promedio de venta

internacional de la piedra caliza (EXW) de los primeros 10 exportadores de caliza de los últimos años.

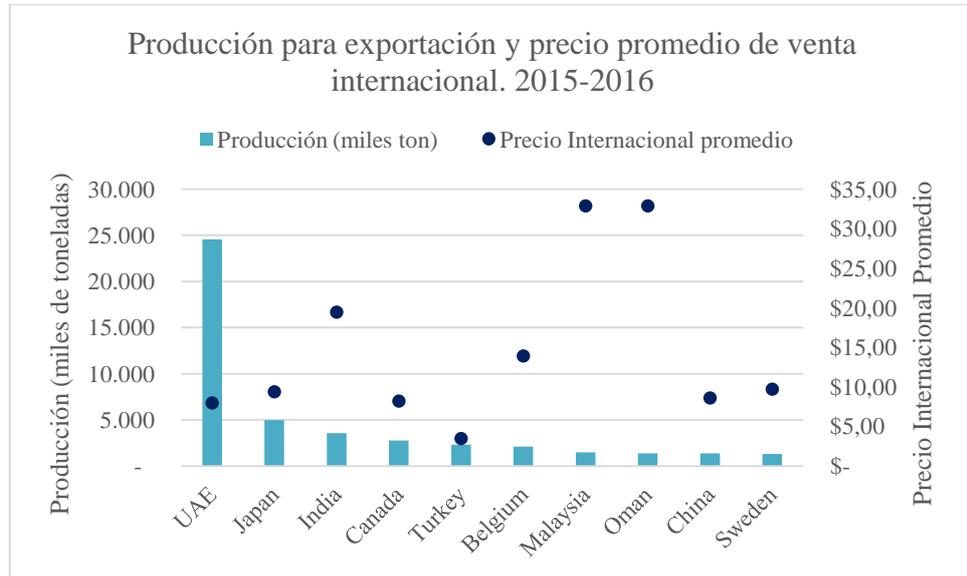


Figura 9. 5 Producción de caliza para la exportación, y precio internacional promedio para los primeros 10 países exportadores de caliza. elaboración propia a partir de información de UN Comtrade (trade code: 2521 Limestone flux)

A partir de esta información, se podría decir que Emiratos Árabes Unidos (UAE) podría ser proveedor de dicha piedra, al igual que Japón, Canadá, Turquía, China o Suecia. En el caso de India, Bélgica, Malasia y Omán, el precio del material pareciera ser mayor que en los demás casos, por lo que, sumando los costos logísticos, no serían una opción viable.

Para comprender los costos internacionales de este tipo de operaciones, se tomó como referencia información proporcionada por YPF, que, como se mencionó previamente importa *Frac sand* desde Shanghái. Considerando que en un contenedor entran 23,6 toneladas de piedra caliza y que el requerimiento ronda las 8.000 toneladas por mes, se necesitarían en total 339 contenedores por mes. Los costos mensuales de referencia se presentan a continuación:

Tipo de Costo	USD/contenedor	USD Totales
Traslado contenedor	3.000	1.017.000
Gastos de origen	600	203.400

Impuestos importación	100	33.900
Terminal Portuaria	1000	339.000
<b>TOTAL</b>	<b>4700</b>	<b>1.593.300</b>

### 9.2.3 Importación desde Chile

Otra opción de importación, aún más atractiva, es Chile. Si bien no se hallaron registros de que hubiera habido exportaciones de piedra caliza en los últimos dos años, y sólo se realizaron exportaciones de cal por 500 toneladas anuales, se encontró un yacimiento de caliza cercano a la Central que podría ser de buen uso.

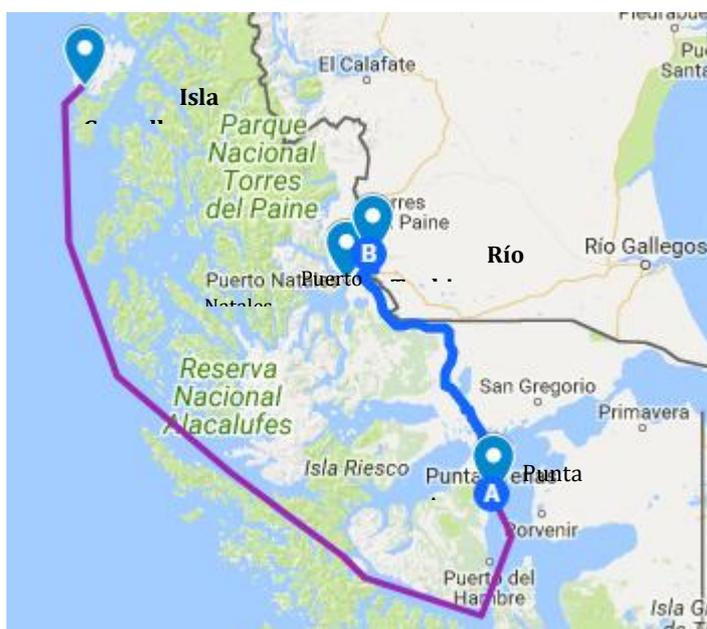


Figura 9. 6 Posible recorrido para transportar la piedra caliza desde Isla Guarello hacia Río Turbio. Elaboración propia.

La cantera se encuentra ubicada en la Isla Guarello, en el sur de Chile, a aproximadamente 380 kilómetros de Puerto Natales. Esta es una pequeña isla, de 17 kilómetros de extensión, que forma parte del Archipiélago Madre de Dios.

En esta isla, la piedra caliza se encuentra con un 99% de pureza, y es principalmente utilizada como insumo para la elaboración de acero, dadas sus características. Es por ello que sus principales usuarias son CAP (Compañía de Aceros del Pacífico), y CSH (Compañía Siderúrgica Huachipato S.A.). Desde enero de 2002, las canteras son explotadas por la empresa Imopac, que posee un contrato a largo plazo para operar allí. Actualmente se posee

capacidad para extraer 700.000 toneladas de piedra caliza anuales, de las cuales 300 mil se destinan al consumo de las empresas metalúrgicas mencionadas, y 400 mil se destinan a la venta. El principal comprador es Cementos Bío Bío, quien consume alrededor de 300 mil toneladas anuales, mientras que las 100 mil toneladas restantes se dividen entre Empresas Iansa y otras.

En un artículo de 2008 se especificaba que el precio estimado de la caliza sería de 40 USD la tonelada. Si bien se contactó a la empresa en cuestión para consultar por el precio de venta actual de dicha piedra, no se recibió respuesta alguna para incluir en el presente trabajo.

En cuanto a su transporte, actualmente la caliza se carga de forma automatizada en la bodega de un buque que transporta 33 mil toneladas, desde el Puerto Guarellos (que posee 10m de calado y 185m de eslora) hacia el puerto de Talcahuano, en la región Central de Chile. En caso de que la cantera tuviese capacidad para proveer a la Central Térmica de Río Turbio, lo ideal sería transportarlo por barco hacia el Puerto Natales, ubicado a no más de 30 kilómetros de la Central. Sin embargo, como se especificó anteriormente en el Capítulo 5, acerca de San Juan, dicho puerto no podría tolerar la operación de caliza necesaria.



*Figura 9. 7 Terminal Isla Guarello, Chile. Ultramar.*

Por ello, se sugiere como segunda alternativa el transporte hacia Punta Arenas, para luego llevar la caliza por ruta hacia Río Turbio, transitando una ruta de alrededor de 260 kilómetros. Sin embargo, habría que considerar que en dicho caso el impacto sobre las rutas sería en gran medida sobre rutas chilenas, lo que podría generar conflictos para la operación.

### **9.3 Desarrollo de proveedores**

A lo largo de las distintas alternativas seleccionadas para el análisis, se identificaron varias limitaciones, tanto en los proveedores de caliza como en las cadenas logísticas y su

infraestructura. Con las capacidades instaladas actualmente, es difícil lograr el abastecimiento de la Central sin incurrir en costos desmesurados.

Si bien la importación se planteó como una posible alternativa, esto no fue por cuestiones de falta de recursos naturales. En realidad, Argentina posee suficientes canteras de caliza para poder abastecer la demanda de la Central Térmica de Río Turbio. Sin embargo, muchos de los proveedores identificados son en realidad cementeras o caleras que poseen canteras de caliza para consumo propio. Por lo tanto, la mayoría no cuenta con excedentes suficientes como para vender la caliza que no utilizan a Río Turbio, o pueden considerarlo como un negocio poco prioritario, dado el menor margen que deja a la empresa en comparación con productos de mayor valor agregado.

Por lo tanto, sería pertinente para análisis posteriores, entender si existen canteras de caliza sin explotar en las proximidades de Río Turbio. En dicho caso, se podrían desarrollar potenciales proveedores de esta piedra, ofreciendo a los mismos un margen entre su costo de explotación y el costo actual por tonelada de la caliza puesta en la Central.

A su vez, en cuanto a los proveedores de transporte, varios de ellos necesitarían esfuerzos conjuntos de desarrollo para poder contar con las instalaciones necesarias para la operación. Por ejemplo, en el caso del tren Ferrosur Roca, en el presente no se cuenta con la cantidad de vagones ni frecuencias necesarias para realizar dicho trayecto con semejante volumen de piedra. Es por ello que, en caso que se quisiera transportar la caliza desde Zapala hacia Bahía Blanca, se requeriría de una importante inversión en material rodante y vías.

De la misma manera, para realizar cualquier trayecto en buque por la costa este de Argentina, ya sea desde Bahía Blanca, Puerto Deseado o algún otro puerto, se necesitaría desarrollar algún proveedor que se comprometa a transportar el material hacia Punta Loyola. También se podría trabajar en conjunto con Maruba o Patagonia Shipping Lines para que incrementen su capacidad en pos de dar servicio a la Central.

El tercer caso en el que sería adecuado un desarrollo conjunto, es el tren carbonero de YCRT, en el que se podría invertir para que sea posible transportar contenedores graneleros. Al día de hoy esto no es posible, dada la trocha angosta que posee y los vagones de carbón que transporta. Aun así, podría evaluarse como una inversión a futuro para reducir los costos en el último tramo desde Punta Loyola hacia Río Turbio.

## Conclusiones

La logística de abastecimiento para la Central Térmica de Río Turbio, presenta numerosas complejidades. En primer lugar, se detectó que la combinación entre la ubicación de la central termoeléctrica, lejana a las fuentes de oferta de piedra caliza, y la existencia de una infraestructura que sufrió desinversión y el deterioro, implican un desafío intrincado para su resolución. De haberse construido en otra locación, quizás en el puerto de Punta Loyola, o de haberse realizado un estudio de factibilidad técnica y de impacto ambiental del proyecto, la historia tal vez sería diferente. Sin embargo, actualmente la Central cuenta con una ubicación remota, y con accesos averiados que probablemente sólo se agraven una vez puesta en marcha la operación de abastecimiento de 8.000 toneladas mensuales de piedra caliza.

Tal es así, que al analizar los posibles proveedores nacionales, varios se descartaron desde el inicio por una falta de infraestructura que permita una logística eficiente. Se detectó una falta de capacidad para transportar la piedra caliza con el ferrocarril. La Línea San Martín, sufrió un gran detrimento en los últimos años, impidiendo el abastecimiento de piedra caliza a su mayor cliente Ternium Siderar en San Nicolás, Buenos Aires desde San Juan. El Ferrocarril Roca se encuentra en mejor estado y provee un servicio superior pero tampoco cuenta con el parque rodante como para suministrar la piedra caliza.

Otra dificultad presentada, es la falta de inversión para mejorar los accesos a los puertos. La vía marítima ofrece grandes ventajas para el transporte de largas distancias, ofreciendo costos más bajos y un menor impacto ambiental. Sin embargo, las grandes demoras tanto en los pasos fronterizos para acceder desde el oeste del país al Atlántico, como en los puertos nacionales, dificultan la posibilidad de diseñar una logística multi o intermodal.

En último lugar, el estado de las rutas en el sur del país y los frecuentes cortes por condiciones climatológicas y por diversos factores, ubican al transporte carretero como una alternativa no fidedigna y riesgosa. Asimismo, el transporte carretero es el mayor contribuyente a las emisiones de dióxido de carbono dentro de las alternativas consideradas, y la operación de caliza a través de este medio perjudicaría en gran medida las condiciones de las rutas atravesadas.

A continuación, se exhibe un cuadro comparativo de las alternativas nacionales en su operación a lo largo de los 10 meses en los que la Central Térmica trabajará a plena carga. Dicho cuadro considera tres factores:

1. Costo estimado de operación en millones de dólares: considera el costo de adquisición desde cada punto de origen y los costos incurridos en el transporte. No considera el costo de ordenar ni costos relacionados con el almacenamiento.

2. Impacto vial: se calcula asumiendo un impacto en las rutas adjudicable a la operación de caliza de entre 1 y 20%.
3. Emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el transporte para cada alternativa.

Trayecto	Modo	Costo estimado de operación (M USD)	Impacto Vial (M USD)	Emisiones de CO <sub>2</sub> (miles de toneladas)
1. San Juan – Río Turbio	Camión	30,01	1,25 - 25	25,9
2. San Juan – Punta Loyola – Río Turbio	Camión – tren	31,34	1,2 - 24	26,8
3. San Juan – San Antonio – Punta Arenas – Río Turbio	Camión – Buque – Camión	39,00	0,37 - 7,6	13,9
4. Neuquén – Río Turbio	Camión	20,96	0,8 - 16,5	17,1
5. Neuquén – Bahía Blanca – Punta Loyola – Río Turbio	Tren – Buque – Camión / Tren	9,03 / 7,89	0,13 - 2,7 / 0	10,6 / 9,6
6. Pico Truncado – Río Turbio	Camión	10,54	0,39 - 7,8	8,1
7. Pico Truncado – Puerto Deseado – Punta Loyola – Río Turbio	Camión – Buque – Camión / Tren	8,42 / 7,28	0,21 - 4,4 / 0,08 - 1,7	6,1 / 5,2

A primera vista, se puede observar que, dados los supuestos tomados, las alternativas más competitivas serían aquellas de Neuquén y Pico Truncado, que pasan por Punta Loyola. En ambos casos, su impacto tanto vial como ambiental es moderado, lo que se puede adjudicar a la utilización de transporte inter o multimodal.

Las alternativas con origen en San Juan aparentan ser las más costosas y con mayor impacto potencial, tanto en rutas como en cuestión de emisiones de carbono. El supuesto inicial para plantear a San Juan como proveedor fue la calidad superior de su caliza; sin embargo, durante el desarrollo del presente trabajo se encontró que la pureza de la caliza no necesariamente es un factor determinante para determinar la cantidad de caliza necesaria, dado que la reacción ocurrida en la caldera no es estequiométrica, y ocurre en la superficie de las partículas. Dicho esto, no se recomienda realizar el abastecimiento desde San Juan.

Si bien estas cifras alcanzadas permiten comprender los “grandes números” de la problemática en cuestión, el objetivo del presente trabajo no era obtener un número final preciso para su solución, sino explorar el problema para comprender las alternativas posibles y de esta manera poder generar una herramienta para la toma de decisiones. A su vez, se sabe que la gran mayoría de los proveedores identificados son productores de cemento o cal que se encuentran integrados verticalmente, con lo cual es difícil lograr que uno sólo de ellos pueda

abastecer la totalidad de la demanda de caliza. Es por ello que se creó una herramienta de Investigación de Operaciones en Anylogic, que permita, luego de ingresados los parámetros, identificar el mix óptimo de proveedores para el abastecimiento. Dicha herramienta también permite al usuario experimentar con diversos valores para comprender la sensibilidad de la solución hallada, y poder construir la función de distribución del costo de operación, dando una idea también del riesgo de la alternativa seleccionada.

Si bien el análisis se realizó bajo los supuestos de que el método de desulfuración en caldera se realizaría con piedra caliza, y que la misma sería comprada a proveedores establecidos en el mercado interno, se plantearon algunas propuestas alternativas para abarcar la problemática. En primer lugar, se halló que la misma reacción podría ser realizada con cal, reduciéndose el volumen a transportar en aproximadamente un tercio, sin perjudicar los niveles de emisiones de SOx de la central. De la misma manera, se exploró la posibilidad de importar piedra caliza desde grandes mercados como el de Emiratos Árabes Unidos y China, como también la posibilidad de traer dicha piedra de una cantera cercana ubicada en el sur de Chile. Por último, se planteó la necesidad de desarrollar proveedores en dos frentes: fomentando el desarrollo de nuevos proveedores de caliza en canteras no explotadas actualmente, e invirtiendo en infraestructura para hacer más competitivas las redes logísticas posibles.



## Bibliografía

Alberto Palomar, “El transporte por agua en la Argentina”. [En línea] [consulta: 15 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.vocesenelfenix.com/content/el-transporte-por-agua-en-la-argentina>

Alcox. “Limestone storage – A space frame application.” [En línea] [consulta: 3 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://www.alcox.in/blog/limestone-storage/>

Alejo González Prandi, “El panorama de la logística en la Argentina”. [En línea] Argentina, 28 de julio del 2015 [consulta: 28 de agosto del 2017]. Disponible en: <http://www.lanacion.com.ar/1813998-un-panorama-de-la-logistica-en-la-argentina>

Ambar Compañía Minera S.A., “Home” [En línea] [consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.ambar-minera.com.ar/>

Andres, B., Sanchis, R. y Poler R. (2016) Modelado y Simulación de la Cadena de Suministro con AnyLogic. Universidad Politécnica de Valencia (Campus d’Alcoi), España.

Aprocam, “Dimensiones, Peso Máximo y Tolerancia”. [En línea] [consulta: 5 de noviembre del 2017]. Disponible en: [http://www.aprocam.org.ar/archivos/legislacion/1257958073\\_pesos-y-dimensiones.pdf](http://www.aprocam.org.ar/archivos/legislacion/1257958073_pesos-y-dimensiones.pdf)

Aridos Parada, “Servicios” [En línea] [consulta: 20 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.aridosparada.com.ar/>

Asociación de Fabricantes de Cemento Portland. Consumo por provincias según envase. [En línea]. Diciembre, 2016. [consulta: 15 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.actualizarmiweb.com/sites/afcp-com/publico/201612/estadistica05.html>

Asun Cardona, “Ventajas y desventajas del transporte ferroviario de mercancías”. [En línea] España, 11 de julio del 2016 [consulta: 28 de agosto del 2017]. Disponible en: <http://www.sertrans.es/trasporte-terrestre/ventajas-desventajas-transporte-ferroviario-mercancias/>

Babcock & Wilcox. “Manejo de cenizas y materiales: Sistemas ideados para varias aplicaciones” [En línea] [consulta: 3 de diciembre del 2017]. Disponible en: <https://www.babcock.com/es-xl/technology/ash-material-handling>

Ballou, R. (2004) Logística - Administración de la Cadena de Suministro. Quinta edición Pearson/Prentice Hall, México

Banco Internacional de Desarrollo e IIRSA “Estudio Binacional de Conectividad Argentina- Chile”. [En línea] [consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en:

[http://www.dirplan.cl/centrodedocumentacion/Documents/Estudios/Desarrollados/2012/conect\\_chile\\_arg/Conectividad\\_Argentina\\_Chile\\_informe\\_final\\_agosto\\_2012.pdf](http://www.dirplan.cl/centrodedocumentacion/Documents/Estudios/Desarrollados/2012/conect_chile_arg/Conectividad_Argentina_Chile_informe_final_agosto_2012.pdf)

Banco Mundial. “Producción de electricidad a partir de carbón (% del total)”. [En línea] [consulta: 28 de julio del 2017]. Disponible en: [https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.COAL.ZS?End=2015&name\\_desc=true&start=1960&view=chart&year=2009](https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.COAL.ZS?End=2015&name_desc=true&start=1960&view=chart&year=2009)

BAS Trucks B.V., “IVECO Tracker AD380T41 6x4”. [En línea] [consulta: 17 de septiembre del 2017]. Disponible en: [https://www.bastrucks.com/vehicles/used/truck-iveco-trakker\\_ad380t41-2014-6x4-4-82099](https://www.bastrucks.com/vehicles/used/truck-iveco-trakker_ad380t41-2014-6x4-4-82099)

Basavilbaso, M. (2011). Ingreso al mercado de cal dolomítica para la siderurgia. Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

Batísimo. “Seguro Que Conoces Las Cintas Transportadoras, Pero ¿Sabías Que Las Hay De Varios Kilómetros De Largo?” [En línea] [consulta: 3 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://www.batissimo.com/cintas-transportadoras-mas-largas/>

Belgrano Cargas y Logística S.A., “Mapas”. [En línea] [consulta: 2 de noviembre del 2017]. Disponible en: <https://www.bcycl.com.ar/images/mapas/MapaBasesLogisticas.jpg>

CAEM, Cámara Argentina de Empresarios Mineros [en línea]. Minería Argentina, todas las respuestas. [consulta 10 de agosto de 2017] Disponible en: <http://www.caem.com.ar/wp-content/uploads/2013/10/Minería-Argentina-Todas-las-Respuestas-Minería-de-Superficie.pdf>

CAEM, Cámara Argentina de Empresarios Mineros [en línea]. Proyectos mineros [consulta 13 de agosto de 2017]. Disponible en <http://www.caem.com.ar/proyectos/>

Caleras San Juan, “Servicio”. [En línea] [consulta: 17 de septiembre del 2017]. Disponible en: <http://www.calerassanjuan.com/servicio.html>

Cámara Argentina de Comercio y Servicios, “Informe CAC: Costo Argentino”. [En línea] Argentina, agosto del 2017 [consulta: 8 de noviembre del 2017]. Disponible en: [http://www.cac.com.ar/data/documentos/37\\_Resumen%20ejecutivo%20Costo%20Argentino%20CAC.pdf](http://www.cac.com.ar/data/documentos/37_Resumen%20ejecutivo%20Costo%20Argentino%20CAC.pdf)

Cámara Argentina de Empresarios Mineros. “Minería Argentina. Todas las respuestas. Aspectos Económicos” [En línea] [consulta: 29 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.senado.gov.ar/upload/15935.pdf>

Campra, G. (noviembre de 2017). “Políticas de Transporte Automotor de Cargas con impacto en la competitividad”. Sistema de transporte de cargas y costo logístico argentino – Panorama 2018. Centro Argentino de Ingenieros, Buenos Aires, Argentina.

CAP S.A., “Líneas de Negocio”. [En línea] Chile [consulta: 21 de septiembre del 2017]. Disponible en: <http://www.cap.cl/negocios/cap-mineria/>

Carlos Alberto Salgado, “Denuncian a ex presidenta y otras autoridades del anterior gobierno por obras no cumplidas en el ramal Puerto Deseado - Colonia Las Heras” [En línea]. Argentina, 6 de noviembre del 2017 [consulta: 19 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.cronicaferroviaria.blogspot.com.ar/2017/11/denuncian-ex-presidenta-y-otras.html>

Carlos Velasco Hurtado. “Tecnología de Desulfuración de Gases”. Bolivia. [En línea] [consulta: 29 de julio del 2017]. Disponible en: [http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2078-55932005000100005&script=sci\\_arttext#f1](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2078-55932005000100005&script=sci_arttext#f1)

Casa Rosada. “Construirán una central termoeléctrica en Río Turbio”. [En línea] [consulta: 15 de agosto del 2017]. Disponible en: <http://www.casarosada.gob.ar/informacion/archivo/16487>

CECHA, “Evolución de los precios en combustibles”. [En línea] [consulta: 15 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.cecha.org.ar/Contenido/noticia.asp?idNoticia=1878>

CEDOL “Índices Logísticos - Operadores Logísticos”. [En línea] Argentina, 2017 [consulta: 1 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://www.cedol.org.ar/indices-logisticos.html>

CEDOL. “Los costos ocultos y contingentes de la actividad logística”. Buenos Aires: Cámara Empresaria de Operadores Logísticos, 2016. <http://www.cedol.org.ar/down/Los-Costos-Ocultos-y-Contingentes-de-la-Actividad-Logistica.pdf>

Chopra, S. y Meindl, P. (2008) Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación. Tercera edición PEARSON EDUCACIÓN, México.

Chopra, S. y Sodhi, M. (2004) Managing Risk to Avoid Supply Chain Breakdown, Sloan Management Review. [En línea] [consulta: 2 de diciembre del 2017]. Disponible en: <https://sloanreview.mit.edu/article/managing-risk-to-avoid-supplychain-breakdown/>

Christine Fox, “Río Turbio Railway” [En línea] [consulta: 10 de octubre del 2017]. Disponible en: <https://www.advanced-steam.org/5at/modern-steam/modern-steam-miscellany/rio-turbio-railway/>

Clarín. “Tocando el viento: la saga de YCF”. [En línea] [consulta: 28 de julio del 2017]. Disponible en: [https://www.clarin.com/economia/tocando-viento-saga-ycf\\_0\\_SyflcuVIAtx.html](https://www.clarin.com/economia/tocando-viento-saga-ycf_0_SyflcuVIAtx.html)

Consejo Federal de Inversiones (CFI). Caracterización de la actividad minera. [en línea]. Argentina, 2014. [consulta 14 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://cfi.org.ar/wp-content/uploads/2014/11/cfi-sector-mineria-17-7.pdf>

Consejo Vial Federal, “Longitud de Red Nacional”. [En línea] Argentina, 2014 [consulta: 28 de octubre del 2017]. Disponible en: [http://www.cvf.gov.ar/red\\_vial\\_nacional.php](http://www.cvf.gov.ar/red_vial_nacional.php)

Consejo Vial Federal, “Longitud de Red Provincial”. [En línea] Argentina, 2016 [consulta: 28 de octubre del 2017]. Disponible en: [http://www.cvf.gov.ar/red\\_vial\\_provincial.php](http://www.cvf.gov.ar/red_vial_provincial.php)

Cristina Linares Gil y Julio Díaz Jiménez. Revista Ecologista. “¿Qué son las PM 2,5 y cómo afectan a nuestra salud?”. [En línea] [consulta: 29 de julio del 2017]. Disponible en: <http://www.ecologistasenaccion.org/article17842.html>

Cruz del Sur, “Servicios”. [En línea] [consulta: 2 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.cruzdelsur.com.ar/servicios-division-mineria.php>

DANÚS VÁSQUEZ, Hernán y VERA ITURRA, Susana. “Carbón: protagonista del pasado, presente y futuro”. Santiago: RIL editores, 2010. P. 19 – 24.

Department of Economic and Social Affairs, United Nations. “Trade Statistics” [En línea] [consulta: 17 de noviembre del 2017]. Disponible en: <https://comtrade.un.org/data>

Diario de Cuyo. “Caleros: continúa el problema con el transporte del ferrocarril.” [En línea] [consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en: <https://www.diariodecuyo.com.ar/suplementos/Caleros-continua-el-problema-con-el-transporte-del-ferrocarril-20170419-0016.html>

Diario De Cuyo. “Quieren hacer un centro de acopio para asegurar la venta de cal a Chile” [En línea] [consulta: 27 de noviembre del 2017]. Disponible en: <https://www.diariodecuyo.com.ar/economia/Quieren-hacer-un-centro-de-acopiopara-asegurar-la-venta-de-cal-a-Chile-20170526-0118.html>

Diario de Cuyo. “Se espera un buen segundo semestre para la cal sanjuanina” [En línea] [consulta: 2 de diciembre del 2017]. Disponible en: <https://www.diariodecuyo.com.ar/suplementos/Se-espera-un-buen-segundosemestre-para-la-cal-sanjuanina-20170822-0144.html>

Diego Cabot. La Nación. “El Gobierno decidió completar la central térmica de Río Turbio”. [En línea] [consulta: 28 de julio del 2017]. Disponible en: <http://www.lanacion.com.ar/1962294-el-gobierno-decidio-completar-la-central-termica-de-rio-turbio>

Dirección General de Desarrollo Minero. Perfil de Mercado de la Caliza. [en línea] [consulta 14 de agosto de 2017]. Disponible en: [http://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/minero/pm\\_caliza\\_1013.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_caliza_1013.pdf)

Dirección Nacional de Relaciones Económicas con las Provincias. “San Juan”. [En línea] [consulta: 20 de octubre del 2017]. Disponible en: [http://www2.mecon.gov.ar/hacienda/dinrep/Informes/archivos/san\\_juan.pdf](http://www2.mecon.gov.ar/hacienda/dinrep/Informes/archivos/san_juan.pdf)

Directemar, Boletín estadístico marítimo (2017). [En línea]. Chile. [consulta: 10 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://web.directemar.cl/estadisticas/maritimo/2017/cuadros/041.pdf>

El Patagónico, “Conocé el estado de las rutas en Santa Cruz” [En línea]. Argentina, 19 de julio del 2017 [consulta: 19 de noviembre del 2017]. Disponible en: <https://www.elpatagonico.com/conoce-el-estado-las-rutas-santa-cruz-n1557322>

Elizabeth Perez Diario de Cuyo. “El 12% de firmas producen un 53 % de la cal sanjuanina”. [en línea]. 25 de agosto de 2016. [consulta 15 de agosto de 2017]. Disponible en: <https://www.diariodecuyo.com.ar/economia/El-12-de-firmas-producen-un-53--de-la-cal-sanjuanina-20160825-0117.html>

Empresa Portuaria San Antonio. “Sistema portuario: Puertos”. [En línea] [consulta: 2 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://www.sanantonioport.cc.cl/index1.html>

Empresa Portuaria Valparaíso (EPV). “Estadísticas” [En línea] [consulta: 29 de octubre del 2017]. Disponible en: <https://www.puertovalparaiso.cl/puerto/estadisticas>

Empresa Portuaria Valparaíso (EPV). “Infraestructura” [En línea] [consulta: 29 de octubre del 2017]. Disponible en: [https://www.puertovalparaiso.cl/puerto/infraestructura#tab\\_1](https://www.puertovalparaiso.cl/puerto/infraestructura#tab_1)

EPAUSTRAL. “Memoria 2016”. [En línea] [consulta: 27 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.epaustral.cl/wp-content/uploads/2017/08/MEMORIA-2016-1.pdf>

EPAUSTRAL. “Terminal Puerto Natales”. [En línea] [consulta: 27 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.epaustral.cl/empresa-portuaria/terminales/terminal-puerto-natales/>

Estrucplan. “Compuestos de azufre: Dióxido de azufre”. [En línea] [consulta: 29 de julio del 2017]. Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=2413>

Estrucplan. “La eliminación de SO<sub>2</sub> en gases de combustión”. [En línea] [consulta: 29 de julio del 2017]. Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=713>

F. Scala, R. Chirone, P. Meloni, G. Carcangiu, M. Manca, G. Mulas y A. Mulas, “Enhanced fluidized bed desulfurization by pre-treated limestone particles” . Recuperado de: [http://www.marcomanca.com/chi-siamo/seventh\\_mediterranean\\_combustion\\_symposium.pdf](http://www.marcomanca.com/chi-siamo/seventh_mediterranean_combustion_symposium.pdf)

Federico A. J. Bergmann. “Bituminización y propiedades coquizantes del carbón, con referencia al de la cuenca en Río Turbio”. [En línea] [consulta: 14 de agosto del 2017]. Disponible en: [http://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/1412/11746\\_1412.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/1412/11746_1412.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ferrosur Roca, “Home”. [En línea] [consulta: 14 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.ferrosur.com.ar/>

Ferrosur Roca, “Parque Vagones”. [En línea] [consulta: 14 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.ferrosur.com.ar/parque-vagones.html>

Fundación Nuestro Mar. “Puerto de Río Gallegos” [En línea] [consulta: 14 de noviembre del 2017]. Disponible en: [http://www.nuestromar.org/servicios/puertos/puertos\\_maritimos/pto\\_rio\\_gallegos](http://www.nuestromar.org/servicios/puertos/puertos_maritimos/pto_rio_gallegos)

Fundación Nuestro Mar. “Puerto Deseado” [En línea] [consulta: 14 de noviembre del 2017]. Disponible en: [http://www.nuestromar.org/servicios/puertos/puertos\\_maritimos/pto\\_deseado](http://www.nuestromar.org/servicios/puertos/puertos_maritimos/pto_deseado)

Fundación para el Desarrollo de la Minería Argentina. “En Chubut existe uno de los yacimientos más grandes del mundo”. [En línea] [consulta: 30 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.fundamin.com.ar/index.php/comunidad/29-desarrollo-y-progreso/44-en-chubut-existe-uno-de-los-yacimientos-mas-grandes-del-mundo>

Fundación para la salud geoambiental. “El dióxido de azufre SO<sub>2</sub>”. [En línea] [consulta: 29 de julio del 2017]. Disponible en: <http://www.saludgeoambiental.org/dioxido-azufre-so2>

García Aguado, A.M. (1998) Programación Estocástica por Meta. Universidad Complutense de Madrid, España. [En línea] [consulta: 2 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://biblioteca.ucm.es/tesis/19972000/S/2/S2024301.pdf>

Gastón Cossetini, “El transporte terrestre de cargas. El caso del ferrocarril”. [En línea] Argentina, 2014 [consulta: 8 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.vocesenelfenix.com/content/el-transporte-terrestre-de-cargas-el-caso-del-ferrocarril>

Gendarmería Nacional Argentina. “Pasos fronterizos.” [En línea] [consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://gendarmeria.gob.ar/pasos-fronterizos/>

Geometrica. “Limestone Storage Domes”. [En línea] [consulta: 3 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://geometrica.com/en/Limestone-storage-domes>

Geography of Transport Systems. [En línea] USA [consulta: 22 de octubre del 2017]. Disponible en: <https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/conc3en/containerships.html>

Global Industry Analysts, Inc. “Limestone Markets Trends” [En línea]. Abril, 2016. [consulta: 7 de noviembre del 2017]. Disponible en: [http://www.strategyr.com/MarketResearch/Limestone\\_Lime\\_Market\\_Trends.asp](http://www.strategyr.com/MarketResearch/Limestone_Lime_Market_Trends.asp)

Global Petrol Prices, “Precios de la gasolina”. [En línea] 4 de diciembre del 2017 [consulta: 5 de diciembre del 2017]. Disponible en: [http://es.globalpetrolprices.com/diesel\\_prices/](http://es.globalpetrolprices.com/diesel_prices/)

Global Petrol Prices, “Precios del Diesel”. [En línea] 4 de diciembre del 2017 [consulta: 5 de diciembre del 2017]. Disponible en: [http://es.globalpetrolprices.com/gasoline\\_prices/](http://es.globalpetrolprices.com/gasoline_prices/)

Greenpeace. “Carbón: combustible para el cambio climático”. [En línea] [consulta: 30 de julio del 2017]. Disponible en: [http://www.greEnpeace.org/argEntina/Global/argEntina/report/2010/cambio\\_climatico/octubre\\_2010/informe\\_base\\_carbon\\_rio\\_turbio.pdf](http://www.greEnpeace.org/argEntina/Global/argEntina/report/2010/cambio_climatico/octubre_2010/informe_base_carbon_rio_turbio.pdf)

Hernán Acevedo y Roció Guerra. Universidad de Chile. “Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana”. [en línea]. Chile, 2005. [consulta 14 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111195/tesis%20caliza.pdf?sequence=1>

Hillier, F. y Lieberman G. (2010) Introducción a la investigación de operaciones. Novena edición. McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A. de C.V., México.

Hughes, G. (2015) Reducción de costos de transporte carretero [material de clase]. Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

IMOPAC, “Actividades Imopac Año 2016” [En línea]. Chile. [consulta: 10 de octubre del 2017]. Disponible en: [http://www.imopac.cl/imopac.cl/presentacion\\_2016.html](http://www.imopac.cl/imopac.cl/presentacion_2016.html)

INDEC. Producción minera. Resultados de la Encuesta Nacional Minera. [en línea]. Argentina, 2009. [consulta 14 de agosto de 2017]. Disponible en: [http://www.indec.gob.ar/nivel4\\_default.asp?id\\_tema\\_1=3&id\\_tema\\_2=7&id\\_tema\\_3=105](http://www.indec.gob.ar/nivel4_default.asp?id_tema_1=3&id_tema_2=7&id_tema_3=105)

Infocampo, “El 93% del transporte de carga de la Argentina se hace en camiones”. [En línea] Argentina, 20 de septiembre del 2016 [consulta: 28 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.infocampo.com.ar/el-93-del-transporte-de-carga-de-la-argentina-se-hace-en-camiones/>

Infoleg. “Contratos: Decreto 1034/2002”. [En línea] [consulta: 14 de agosto del 2017]. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/75132/norma.htm>

Infoleg. “Contratos: Decreto 1034/2002”. [En línea] [consulta: 14 de agosto del 2017]. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/77853/norma.htm>

Instituto Nacional de Vitivinicultura. “Superficie de viñedos año 2016.” [En línea] [consulta: 23 de noviembre del 2017]. Disponible en: [http://www.inv.gov.ar/inv\\_contenidos/pdf/estadisticas/anuarios/2016/CAP%C3%8DTULO\\_I\\_-\\_VI%C3%91EDOS\\_Y\\_SUPERFICIE.pdf](http://www.inv.gov.ar/inv_contenidos/pdf/estadisticas/anuarios/2016/CAP%C3%8DTULO_I_-_VI%C3%91EDOS_Y_SUPERFICIE.pdf)

International Business Publications. “Mineral, Mining sector investment and business guide”. Estados Unidos: Ibpus Com editores, 2007. P. 178 – 217.

Ismael Prieto. “Sistemas de combustión en lecho fluido”. [En línea] [consulta: 9 de octubre del 2017]. Disponible en: [http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/1011/mod\\_resource/content/1/1C\\_C12757\\_0910/04\\_GT13\\_Centrales\\_termicas\\_de\\_lecho\\_fluido.pdf](http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/1011/mod_resource/content/1/1C_C12757_0910/04_GT13_Centrales_termicas_de_lecho_fluido.pdf)

James Conca. “The Largest Clean Coal Power Plant in America Turns to Natural Gas” [En línea] [consulta: 15 de noviembre del 2017]. Disponible en: <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2017/07/11/the-largest-clean-coal-power-plant-in-america-turns-to-natural-gas/#4e7766b27d26>

James Conca. Forbes. “The Largest Clean Coal Power Plant In America Turns To Natural Gas”. [En línea] [consulta: 14 de agosto del 2017]. Disponible en: <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2017/07/11/the-largest-clean-coal-power-plant-in-america-turns-to-natural-gas/#4e7766b27d26>

Jean Paul Duhart Ballesteros. “Combustión del petcoke con adición de caliza en un hogar de lecho fluidizado circulante”. Chile. [En línea] [consulta: 29 de julio del 2017]. Disponible en: [http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2008/duhart\\_j/doc/duhart\\_j.pdf](http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2008/duhart_j/doc/duhart_j.pdf)

Jean-Paul Rodrigue, Claude Comtois, Brian Slack. “The Geography of Transport Systems.” [En línea] [consulta: 3 de diciembre del 2017]. Disponible en: <https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/conc3en/transcost.html>

Joaquín Prieto, World Press. “Cómo funcionan las centrales térmicas”. [En línea] [consulta: 14 de agosto del 2017]. Disponible en: <https://energiaeficiente.wordpress.com/2009/10/23/como-funcionan-las-centrales-termicas/>

Jorge Negre, “El transporte de cargas en la Argentina”. [En línea] Argentina, 11 de octubre del 2016 [consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://jorgenegre.com.ar/web/index.php/2016/10/11/el-transporte-de-cargas-en-la-argentina/>

Juan Manuel Cánovas, “Panorama de Mercado de la minería no metálica. Carbonato de Calcio”. [En línea] [consulta: 14 de noviembre del 2017]. Disponible en: [https://kupdf.com/download/segemar-caliza-2000pdf\\_59dcd16908bbc57167e65b4c\\_pdf](https://kupdf.com/download/segemar-caliza-2000pdf_59dcd16908bbc57167e65b4c_pdf)

Latinominería. Cal en Argentina: Apostando por el crecimiento de la demanda. [en línea]. 11 de marzo de 2013. [consulta 15 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://www.latinomineria.com/2013/03/cal-en-argentina-apostando-por-el-crecimiento-en-la-demanda-minera/#>

Loma Negra, “Home” [En línea] [consulta: 18 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.lomanegra.com/>

Lucía Salinas. Clarín. “Usina de carbón de Río Turbio: obra parada y pelea multimillonaria”. [En línea] [consulta: 28 de julio del 2017]. Disponible en: [https://www.clarin.com/politica/usina-carbon-rio-turbio-obra-parada-pelea-multimillonaria\\_0\\_ry5OtoAU1.h](https://www.clarin.com/politica/usina-carbon-rio-turbio-obra-parada-pelea-multimillonaria_0_ry5OtoAU1.h)

Mariana Carbajal, Página 12. “Llegó la hora de investigar la tragedia”. [En línea] [consulta: 27 de julio del 2017]. Disponible en: <https://www.pagina12.com.ar/diario/sociedad/3-36822-2004-06-17.html>

Marina Aizen. Clarín. “Central a carbón: a contramano del mundo”. [En línea] [consulta: 28 de julio del 2017]. Disponible en: [https://www.clarin.com/cambio-climatico/cambio\\_climatico-cumbre\\_de\\_paris-co2-carbon-energia\\_0\\_SJX9PQYwQl.html](https://www.clarin.com/cambio-climatico/cambio_climatico-cumbre_de_paris-co2-carbon-energia_0_SJX9PQYwQl.html)

Maruba. [En línea] [consulta: 14 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.maruba.com.ar/>

McKinsey & Company, 2013. “Perspective on global lime and limestone markets”.

McKinsey & Company, 2016 . “Lime global market is actually local. What controls the price?”.

Minera Alumbreira. “Proceso de Producción”. [En línea] [consulta: 3 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://www.alumbreira.com.ar/quienes-somos/proceso-de-produccion/>

Minería Chilena, Artículo “Mercado de Piedra caliza crece de la mano del acero”. [En línea]. Chile, 2 de junio de 2008 [consulta: 10 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.mch.cl/2008/06/02/mercado-de-la-piedra-caliza-crece-de-la-mano-del-acero/>

Minería Chilena. “Transporte de fluidos: la confiabilidad es clave” [En línea] [consulta: 3 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://www.mch.cl/informes-tecnicos/transporte-de-fluidos-la-confiabilidad-es-clave/>

Mining Press. “Caleras San Juan: crece presencia extranjera y concentración” [En línea] [consulta: 10 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.miningpress.com/nota/300580/caleras-san-juan-crece-presencia-extranjera-y-concentracion-hensel-cambiar-de-politicas-las-inversiones>

Ministerio de Alimentación y Medio Ambiente. “Dióxido de Azufre”. España. [En línea] [consulta: 29 de julio del 2017]. Disponible en: <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/dioxido-azufre.aspx>

Ministerio de Energía y Minería. “Tabla de conversiones energéticas”. [En línea] [consulta: 14 de agosto del 2017]. Disponible en: <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3622>

Ministerio de Energía, Servicios Públicos y Recursos Naturales de Neuquén. Estadística Minera de Neuquén 2016. [En línea] [consulta: 2 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://hidrocarburos.energianeiquen.gov.ar/cms/files/contenido/32/ESTADISTICA%20MINERA%202016.pdf>

Ministerio de Energía, Servicios Públicos y Recursos Naturales de Neuquén. Recursos Minerales de Neuquén 2016. [En línea] [consulta: 2 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://hidrocarburos.energianeiquen.gov.ar/cms/files/contenido/32/mineralesnqn.pdf>

Ministerio de Hacienda y Finanzas públicas. Informe de cadenas de valor: Minería Metalífera y Rocas de Aplicación. [en línea] Argentina, mayo 2016. [consulta 14 de agosto de 2017]. Disponible en: [http://www.economia.gov.ar/peconomica/docs/SSPE\\_mineria\\_metalifera\\_rocas.pdf](http://www.economia.gov.ar/peconomica/docs/SSPE_mineria_metalifera_rocas.pdf)

Ministerio de la Producción, Gobierno de Santa Cruz. “Mapa Emprendimientos Mineros”. [En línea] [consulta: 30 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://minpro.gob.ar/legislacion/mineria/emprendimientos-mineros-santa-cruz-apaisado.pdf>

Ministerio de la Producción, Gobierno de Santa Cruz. “Proyectos Junio 2017”. [En línea] [consulta: 30 de octubre del 2017]. Disponible en: [http://minpro.gob.ar/cartografia\\_catastro/PROYECTOS\\_JUNIO\\_2017-REFERENCIA\\_PROYECTOS.pdf](http://minpro.gob.ar/cartografia_catastro/PROYECTOS_JUNIO_2017-REFERENCIA_PROYECTOS.pdf)

Ministerio de Minería, Gobierno de San Juan. “Calizas” [En línea] [consulta: 17 de noviembre del 2017]. Disponible en: [http://serviciosmineria.sanjuan.gov.ar/recursos/min\\_extract\\_pdf/Calizas.PDF](http://serviciosmineria.sanjuan.gov.ar/recursos/min_extract_pdf/Calizas.PDF)

Ministerio de Minería, Gobierno de San Juan. “Estadísticas” [En línea] [consulta: 17 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://serviciosmineria.sanjuan.gov.ar/estadisticas/estadistica.php>

Ministerio de Minería, Gobierno de San Juan. “SIG Geológico Minero” [En línea] [consulta: 17 de noviembre del 2017]. Disponible en: [http://serviciosmineria.sanjuan.gov.ar/catastro\\_minero/sig/Recursos\\_Minerales.kmz](http://serviciosmineria.sanjuan.gov.ar/catastro_minero/sig/Recursos_Minerales.kmz)

Nicolás V. Gallo, “El costo logístico argentino”. [En línea] Argentina, 14 de marzo del 2017 [consulta: 28 de julio del 2017]. Disponible en: [https://www.clarin.com/opinion/costo-logistico-argentino\\_0\\_r1qyYLHox.html](https://www.clarin.com/opinion/costo-logistico-argentino_0_r1qyYLHox.html)

OPI Santa Cruz, “La Gran Estafa IV: Cristina Fernández, Florencio Randazzo y Alicia Kirchner: el ferrocarril inaugurado que no existe y 92 millones que se licuaron por efecto de la magia K” [En línea]. Argentina, 26 de mayo del 2017 [consulta: 19 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://test.opisantacruz.com.ar/home/2017/05/26/cristina-fernandez-florencio-randazzo-y-alicia-kirchner-el-ferrocarril-inaugurado-que-no-existe-y-92-millones-que-se-licuaron-por-efecto-de-la-magia-k/43990>

Patagonia Nexo, “Puerto Deseado: Buscan a un marinero que habría caído al agua”. [En línea]. Argentina, 20 de febrero del 2017. [consulta: 5 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.patagonianexo.com.ar/v2/puerto-deseado-buscan-a-un-marinero-que-habria-caido-al-agua/>

Patagonia Norte, “Puerto Bahía Blanca”. [En línea] [consulta: 14 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.patagonia-norte.com.ar/index.php/bahia-blanca>

Patagonia Shipping Lines. [En línea] [consulta: 14 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.patagonialines.com/esp/home/>

Patricio Eleisegui, “Argentina insólita: tras el último aumento, el litro de nafta cuesta el doble que en países en guerra”. [En línea] Argentina, 5 de julio del 2017 [consulta: 9 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.iprofesional.com/notas/252314-combustibles-inflacion-precios-campo-Argentina-insolita-tras-el-ultimo-aumento-el-litro-de-nafta-cuesta-el-doble-que-en-paises-en-guerra>

Patricio Giusto, “En 2016 se registraron 6491 piquetes en todo el país”. [En línea] [consulta: 5 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://diagnosticopolitico.com.ar/wp-content/uploads/2017/01/En-2016-se-registraron-6.491-piquetes-en-todo-el-pa%C3%ADs.pdf>

Pedro Fernández Díez. “Control y Eliminación de los SOx”. España. [En línea] [consulta: 29 de julio del 2017]. Disponible en: [http://manager.redsauce.net/AppController/commands\\_RSM/api/api\\_getFile.php?itemID=203&propertyID=20&RStoken=59e8ac1045d03e2ff6564c0638315f38](http://manager.redsauce.net/AppController/commands_RSM/api/api_getFile.php?itemID=203&propertyID=20&RStoken=59e8ac1045d03e2ff6564c0638315f38)

Petroquímica Comodoro S.A. “Inicio” [En línea] [consulta: 19 de septiembre del 2017]. Disponible en: <http://www.pcr.com.ar/>

Puerto Bahía Blanca, “Puerto de Ingeniero White”. [En línea] [consulta: 14 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://puertobahia blanca.com/puerto-white.html>

QÜEIRO, Federico. “Inteligencia estratégica en economías turbulentas”. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A. de C.V.. Pág. 256.

Rebecca Macken. “Métodos de eliminación de dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno”. [En línea] [consulta: 29 de julio del 2017]. Disponible en: [http://www.ehowenespanol.com/metodos-eliminacion-dioxido-azufre-sulfuro-hidrogeno-info\\_194314/](http://www.ehowenespanol.com/metodos-eliminacion-dioxido-azufre-sulfuro-hidrogeno-info_194314/)

Reforma Minera, “Santa Cruz la provincia más perforada por la actividad minera en 2008” [En línea]. Argentina, 21 de febrero 2009 [consulta: 27 de octubre del 2017]. Disponible en: <https://reformaminera.wordpress.com/2009/02/21/101-las-provincias-mas-perforadas-por-la-actividad-minera-en-2008/>

Registro de Emisiones y Transferencias Contaminantes. “¿Qué daño causa el dióxido de azufre al ser humano y al medio ambiente?”. Chile. [En línea] [consulta: 29 de julio del 2017]. Disponible en: <http://www.mma.gob.cl/retc/1279/article-43789.html>

Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. “Óxidos de Azufre”. España. [En línea] [consulta: 29 de julio del 2017]. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/SOx-oxidos-de-azufre,15598,11,2007.html>

Rubén Mario Lurbé., “Minería metalífera en Santa Cruz: Empleo y matriz productiva” [En línea]. Argentina, 2012 [consulta: 15 de noviembre del 2017]. Disponible en: [http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art\\_revistas/pr.5586/pr.5586.pdf](http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.5586/pr.5586.pdf)

Second IMO GHG Study 2009, International Maritime Organization (IMO) London, UK, April 2009; Buhaug, Ø., Corbett, J.J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D.S., Lee, D., Lindstad, H., Markowska, A.Z., Mjelde, A., Nelissen, D., Nilsen, J., Pålsson, C., Winebrake, J.J., Wu, W., Yoshida, K. [En línea] [consulta: 25 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf>

Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo, Ministerio de Economía y Finanzas Públicas. “Ficha Provincial Santa Cruz” [En línea]. Argentina, octubre 2015 [consulta: 27 de octubre del 2017]. Disponible en: [https://www.economia.gob.ar/peconomica/dnper/fichas\\_provinciales/Santa\\_Cruz.pdf](https://www.economia.gob.ar/peconomica/dnper/fichas_provinciales/Santa_Cruz.pdf)

Servicio Meteorológico de la Armada de Chile. “Estado de Puertos”. [En línea] [consulta: 27 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://meteoarmada.directemar.cl/site/estadopuertos/estadopuertos.html#zona>

Servicios Mineros Lozano, “Quiénes Somos” [En línea] [consulta: 3 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.smlozano.com.ar/index.html>

SIPMA S.A., “Carrocerías tipo bañera”. [En línea] [consulta: 17 de septiembre del 2017]. Disponible en: <http://www.sipma.pl/es/page,854.html>

Steel 360 India. Slurry Pipeline: A Cost Effective Mode to Move Iron Ore. [en línea]. 18 de mayo de 2017. [consulta 15 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://news.steel-360.com/iron-ore/slurry-pipeline-cost-effective-mode-move-iron-ore/>

Subsecretaría de Planificación Económica. “Informes productivos provinciales: San Juan” [En línea] [consulta: 10 de noviembre del 2017]. Disponible en: [https://www.economia.gob.ar/peconomica/dnper/fichas\\_provinciales/San\\_Juan.pdf](https://www.economia.gob.ar/peconomica/dnper/fichas_provinciales/San_Juan.pdf)

Tennessee Valley Authority. “How a Coal Plant Works”. [En línea] [consulta: 14 de agosto del 2017]. Disponible en: <https://www.tva.gov/Energy/Our-Power-System/Coal/How-a-Coal-Plant-Works>

Tiempos de San Juan. “Caleros, para su bien y para su mal”. [En línea] [consulta: 27 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.tiempodesanjuan.com/departamentales/2014/11/27/caleros-para-bien-para-71086.html>

Tiemposur, “El tren de Punta Loyola y el desafío de las toneladas de caliza para la usina” [En línea]. Argentina, 19 de abril del 2017 [consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en: <https://www.tiemposur.com.ar/nota/129245-el-tren-de-punta-loyola-y-el-desafio-de-las-toneladas-de-caliza-para-la-usina>

Tilve, M.I. (2015) Logística: Logística de Aprovisionamiento [material de clase]. Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

Todo Argentina, “Provincia de Santa Cruz” [En línea] [consulta: 27 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.todo-argentina.net/Geografia/provincias/santacruz/economia.html>

Transporte Don Pedro, “Servicios”. [En línea] [consulta: 2 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.logisticadonpedro.com.ar/>

Transporte Vesprini S.A., “Inicio”. [En línea] [consulta: 2 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.transportevesprini.com.ar/>

Transportes Morrison, “Principal”. [En línea] [consulta: 2 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.transportemorrison.com.ar/>

Turismo Ruta 40. “Ruta 40: Ripio y Pavimento en Santa Cruz”. [En línea] [consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en: [http://www.turismoruta40.com.ar/asfalto-ruta\\_40-sur.html](http://www.turismoruta40.com.ar/asfalto-ruta_40-sur.html)

U.S. Energy Information Administration. “Carbon dioxide emissions from electricity generation in 2015 were lowest since 1993”. [En línea] [consulta: 14 de agosto del 2017]. Disponible en: <https://www.eia.gov/todayinEnergy/detail.php?id=26232>

U.S. Geological Survey. “Historical Global Statistics for Mineral and Material Commodities” [En línea] [consulta: 17 de noviembre del 2017]. Disponible en: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics/global/index.html>

U.S. Geological Survey. “Lime” [En línea]. Enero 2016. [consulta: 17 de noviembre del 2017]. Disponible en: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lime/mcs-2016-lime.pdf>

Ultramar (2017). “Ruta Asia – Río Grande (vía Punta Arenas) [presentación PowerPoint]

Ultramar Agencia Maritima, “Puerto Isla Guarello” [En línea]. Chile [consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.ultramar.cl/puertos-isla-guarello.html>

Ultramar. “Puerto Punta Arenas”. [En línea] [consulta: 2 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://www.ultramar.cl/puertos-punta-arenas.html>

UNEPOSC, Gobierno de Santa Cruz. “Puerto Deseado”. [En línea] [consulta: 30 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.uneposc.com.ar/web/ptodeseado.php>

UNEPOSC, Gobierno de Santa Cruz. “Tarifario Vigente”. [En línea] [consulta: 30 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.uneposc.com.ar/descargas/Tarifario.pdf>

UNEPOSC. “Puerto de Río Gallegos”. [En línea] [consulta: 30 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.uneposc.com.ar/web/ptorgallegos.php>

Unidad Ejecutora Portuaria de Santa Cruz, Gobierno de Santa Cruz. “Inicio”. [En línea] [consulta: 30 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.e-puerto.com/>

Universidad de San Juan. “Atlas Socioeconómico de San Juan: Infraestructura de Vías de Comunicación”. [En línea] [consulta: 26 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.atlas.unsj.edu.ar/mapas/infraestructuradeviasdecomunicacion/>

Universidad de San Juan. “Atlas Socioeconómico de San Juan: Minería”. [En línea] [consulta: 26 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.atlas.unsj.edu.ar/mapas/mineria/>

UTE, EIA y Serman y Asociados S.A.. “Estudio de Impacto Ambiental Central Termoeléctrica a Carbón Río Turbio, Santa Cruz”. Informe Final, Capítulo 2: Resumen Ejecutivo. Pág. 20. [En línea] [consulta: 25 de julio del 2017]. Disponible en: [http://www.santacruz.gov.ar/ambiente/audiencia/CD%20EIA%20CTRT/Cap%2002%20-%20Resumen%20Ejecutivo/EIA%20CTRT-Cap02%20Resumen%20Ejecutivo\\_Rev2.pdf](http://www.santacruz.gov.ar/ambiente/audiencia/CD%20EIA%20CTRT/Cap%2002%20-%20Resumen%20Ejecutivo/EIA%20CTRT-Cap02%20Resumen%20Ejecutivo_Rev2.pdf)

UTE, EIA y Serman y Asociados S.A.. “Estudio de Impacto Ambiental Central Termoeléctrica a Carbón Río Turbio, Santa Cruz”. Informe Final, Capítulo 4: Descripción del Proyecto. [En línea] [consulta: 25 de julio del 2017]. Disponible en: [http://medioambiente.santacruz.gov.ar/estudios/ctr/eia/Cap%2004%20-%20Descripcion%20del%20Proyecto/EIA%20CTRT-Cap04%20Descripcion%20del%20Proyecto\\_Rev2.pdf](http://medioambiente.santacruz.gov.ar/estudios/ctr/eia/Cap%2004%20-%20Descripcion%20del%20Proyecto/EIA%20CTRT-Cap04%20Descripcion%20del%20Proyecto_Rev2.pdf)

UTE, EIA y Serman y Asociados S.A.. “Estudio de Impacto Ambiental Central Termoeléctrica a Carbón Río Turbio, Santa Cruz”. Informe Final, Capítulo 5: Línea de Base Ambiental [En línea] [consulta: 25 de julio del 2017]. Disponible en: [http://www.santacruz.gov.ar/ambiente/audiencia/CD%20EIA%20CTRT/Cap%2005%20-%20LBA/EIA%20CTRT-Cap05%20LBA-4.%20Medio%20Antropico\\_Rev2.pdf](http://www.santacruz.gov.ar/ambiente/audiencia/CD%20EIA%20CTRT/Cap%2005%20-%20LBA/EIA%20CTRT-Cap05%20LBA-4.%20Medio%20Antropico_Rev2.pdf)

Vilaboa, I. (2016) Investigación de Operaciones I: Inventarios [material de clase]. Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

World Coal Association. “Coal in Key Economies”. [En línea] [consulta: 14 de agosto del 2017]. Disponible en: <https://www.worldcoal.org/sustainable-societies/coal-key-economies>

Xavier Elías. “Emisiones a la atmósfera y correcciones. Tipos de hornos”. Capítulo 4: Tipos de hornos. Emisiones a la atmósfera y correcciones [En línea] [consulta: 29 de julio del 2017]. Disponible en: [http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_reas/e/fulltext/Ponencias-ID55.pdf](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_reas/e/fulltext/Ponencias-ID55.pdf)

YCRT, Sitio oficial del Yacimiento Carbonífero de Río Turbio, “Revistas Empresariales”. [En línea]. Argentina, 2017 [consulta: 14 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.ycrt.gob.ar/revista/>

YCRT, Sitio oficial del Yacimiento Carbonífero de Río Turbio. “Historia”. [En línea] [consulta: 28 de julio del 2017]. Disponible en: <http://www.ycrt.gob.ar/linea-de-tiempo/>

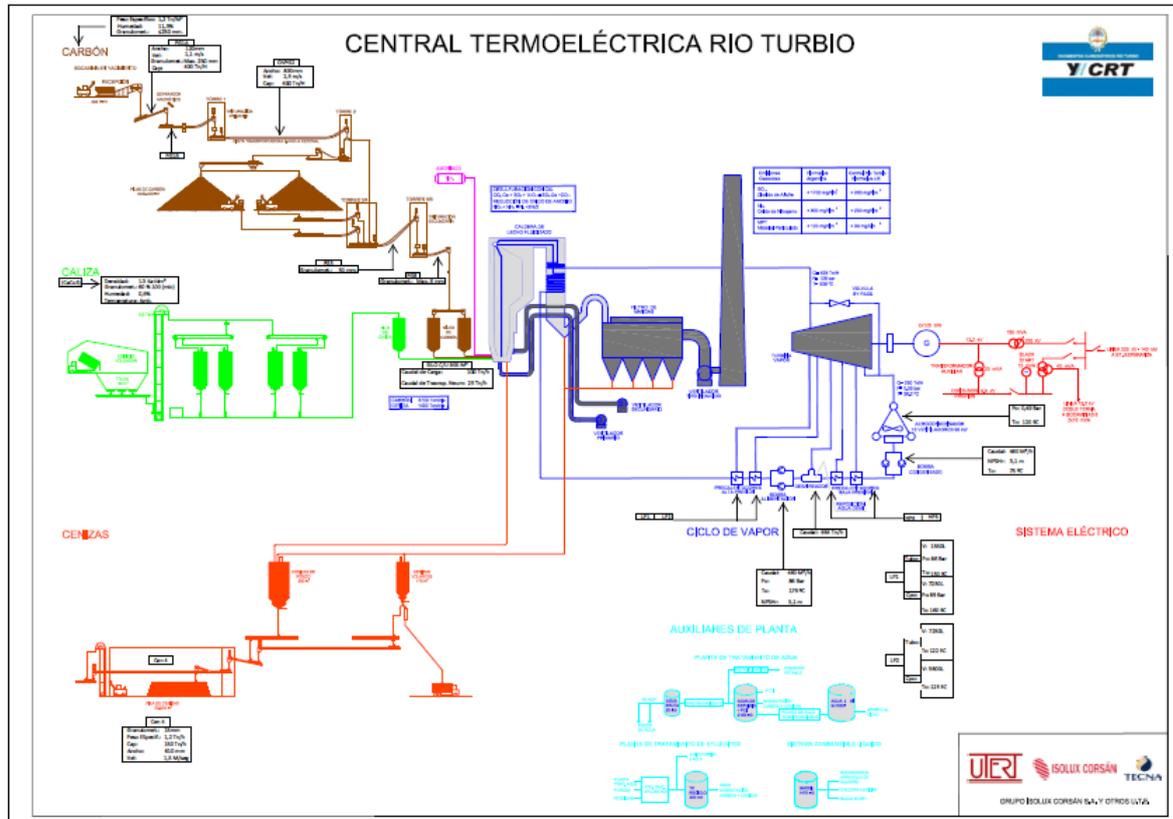
YCRT, Sitio oficial del Yacimiento Carbonífero de Río Turbio. Revista Empresarial, “Inauguración del módulo Punta Loyola” [En línea]. Argentina, 2009 [consulta: 14 de noviembre del 2017]. Disponible en: [http://www.ycrt.gob.ar/wp-content/uploads/2016/08/revistas/revista\\_n8.pdf](http://www.ycrt.gob.ar/wp-content/uploads/2016/08/revistas/revista_n8.pdf)

YCRT, Sitio oficial del Yacimiento Carbonífero de Río Turbio. Revista Empresarial, “Una Empresa con energía” [En línea]. Argentina, 1 de diciembre de 2016 [consulta: 10 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.ycrt.gob.ar/wp-content/uploads/2016/12/extraccion-n-1.pdf>

## Anexos

A continuación, se pueden encontrar los anexos referidos a lo largo del trabajo.

### Anexo I: Diagrama de proceso de la Central Térmica de Río Turbio.



## Anexo II: Hoja de datos de la Central Térmica de Río Turbio.

### CENTRAL TERMOELÉCTRICA RÍO TURBIO

**Cliente: Yacimiento Carbonífero Río Turbio**

**Contratista: Grupo Isolux Corsán S.A. y Otros - UTE**

Ubicada en la Cuenca Carbonífera de la Provincia de Santa Cruz, la Central Termoeléctrica Río Turbio, de ciclo de vapor, está concebida para utilizar como combustible el carbón de la zona, el cual se aportará a la planta mediante modernos sistemas de transporte y molienda. Consta de dos Unidades formadas por Calderas generadoras de vapor de tipo lecho fluido de última generación y baja emisión de NOX, Sistemas de Enfriamiento por aire evitando el uso de agua para esta función y Turbinas de Vapor con Generadores Eléctricos acoplados, los que aportarán al Sistema Interconectado Nacional 240 MW en su punto más austral, constituyéndose en la Central de su tipo más austral del mundo.

#### Datos Principales:

**Ubicación:** Cuenca Carbonífera, Santa Cruz, Argentina.

**Capacidad de Generación:** 240 MW (2 Unidades)

**Tensión de Salida:** 220 Kv

**Ciclo Térmico:** Rankine Regenerativo

**Combustión:** Lecho fluido circulante

**Fluido:** Circuito cerrado de Agua Desmineralizada

**Combustible principal:** Carbón

**Combustible auxiliar y arranque:** Gas Oil

**Refrigeración Principal:** Condensación por aire

**Refrigeración Secundaria:** Circuitos cerrados de agua refrigerados por aire



#### Principales Características Técnicas:

##### Consumos:

Carbón: 154,88 tn/h (77,44 tn/h por unidad)

Para arranque: 5.530 m<sup>3</sup>/h gas o 5.022 kg/h gasoil p/ud.

Caliza: 11,14 tn/h (5,57 tn/h por unidad)

Arena: 1.814 kg/h (907 kg/h por unidad)

Amoniaco: 312 kg/h (156 kg/h por unidad)

##### Suministro de Carbón:

Alimentación: Bocamina 5 YCRT

Molienda primaria: en Bocamina 5

Transporte a la Central: por Cinta de 2,5 Km

Acopio: Playa para 100.000 m<sup>3</sup> de carbón

Molienda secundaria: Previo al envío a calderas

Transporte a Calderas: por cintas transportadoras

Acopio en caldera: silos de X tn de capacidad

##### Calderas generadoras de vapor:

Proveedor: Foster Wheeler

Tipo: Lecho fluido circulante

Temperatura de Combustión: 800/ 900 °C

Características: Emisiones controladas según la Normativa Europea, con bajo NOx y retención de azufre en cenizas

Diseño: Alto rendimiento con recuperadores de calor de agua de alimentación, aire primario y aire secundario y sobre-calentador

Agua de alimentación: 145 bar(a), 230 °C

Vapor de Salida: 118 kg/s a 128 bar(a) y 538 °C

Agua de renovación: 2,5 a 5 % del caudal total

Salida de gases: filtros de manga y chimenea altura 110 mts

Generación de Cenizas: 1.400 tn/día

##### Sistemas auxiliares de calderas:

Planta de calizas y transporte a calderas

Alimentación de arena a silos de calderas

Transporte y silo para almacenaje de 20.000 m<sup>3</sup> de ceniza

Sistema de combustible secundario líquido

##### Turbinas de Vapor:

Proveedor: Siemens

Potencia: 120 Mw/h

Ciclo: Rankine regenerativo con 5 extracciones intermedias

Vapor de entrada: 425 tn/h a 128 bar(a) y 538 °C

##### Aero-Condensadores:

Proveedor: SPX

Presión de operación: 0,06 bar(a) a 36,2 °C

Tipo: Paneles en "A" con circulación forzada de aire

Extracción de condensado: Bombas centrífugas verticales

##### Bombas de Agua de Alimentación:

Proveedor: Flowserve

Tipo: Centrífuga Horizontal 2 x 100% de capacidad

Operación: 425 tn/h a 145 bar(a) y 163 °C

Tensión de alimentación: 6.3 kV

##### Planta de Tratamiento de Agua:

Proveedor: IPA (Argentina)

Tipo: Ósmosis inversa con pre-filtrado y pulidores

Producción: Agua desmineralizada a partir de agua de pozo

Capacidad: 14 tn/h de agua desmineralizada

##### Salida eléctrica

Transformadores principales 15 Kv a 220 Kv

Subestación encapsulada (GIS) marca Alstom

##### Sistemas auxiliares:

Aire comprimido

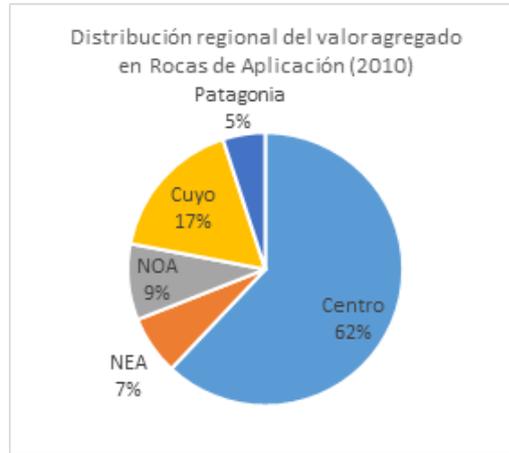
Grupo generador de emergencia

Central eléctrica de arranque en negro de 25 Mw/h

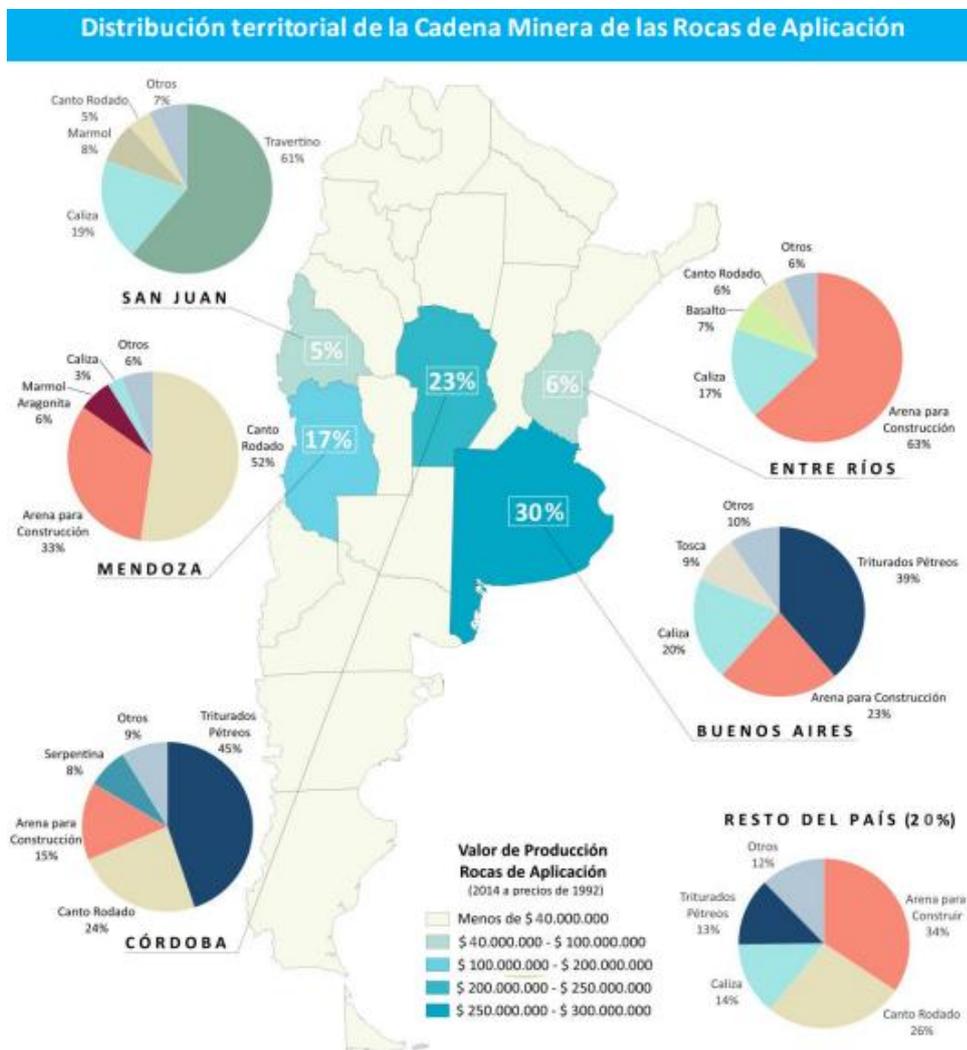
Estación meteorológica

Planta de tratamiento de efluentes industriales

**Anexo III:** Distribución regional del valor agregado en Rocas de Aplicación para el año 2010. Consejo Federal de Inversiones. Caracterización de la actividad minera (2014).



**Anexo IV:** Distribución Territorial de la Cadena Minera de las Rocas de Aplicación.



**Anexo V:** Producción minera en Neuquén en 2016, por tipo de mineral y por región.

Departamento	Mineral	Toneladas
<b>Aluminé</b>	Piedra Laja	100 Tn.
<b>Añelo</b>	Áridos	798.362 Tn.
	Arcilla	5.400 Tn.
<b>Confluencia</b>	Áridos	232.144 Tn.
<b>Lacar</b>	Áridos	10.187 Tn.
<b>Loncopué</b>	Baritina	3.915 Tn.
	Piedra Laja	34 Tn.
<b>Minas</b>	Áridos	6.096 Tn.
	Pirofilita	2.027 Tn.
<b>Ñorquin</b>	Halita	94 Tn.
	Baritina	8.474 Tn.
	Áridos	502 Tn.
	Piedra Laja	2 Tn.
<b>Pehuenches</b>	Áridos	189.845 Tn.
	Asfaltita	5.254 Tn.
	Travertino	114 Tn.
<b>Picunches</b>	Áridos	1.527 Tn.
	Caliza	69.147 Tn.
	Dolomita	49.566 Tn.
	Yeso	32.547 Tn.
<b>Picún Leufú</b>	Áridos	4.413 Tn.
<b>Zapala</b>	Áridos	15.095 Tn.
	Arcilla	117.105 Tn.
	Bentonita	13.808 Tn.
	Caliza	364.432 Tn.
	Piedra Laja	3.406 Tn.
	Toba	11.712 Tn.

**Anexo VI:** Cálculo estimado de capacidad de almacenamiento de piedra caliza en Punta Loyola

Parámetros:

Propiedades del almacén			Propiedades del Big Bag (BB)		
<b>Largo</b>	250	m	Medida BB	0.8	m
<b>Ancho</b>	60	m	Capacidad BB	0.85	ton
<b>Acopios</b>	4				
<b>Pasillos</b>	2.7	m			
<b>Área libre</b>	10	m			

Capacidad a lo largo			Capacidad a lo ancho			Capacidad TOTAL		
<b>Largo</b>	240	m disponibles	<b>Ancho</b>	46.5	m disponibles	<b>BBs</b>	16800	unidades
<b>BBs</b>	300	unidades	<b>Por acopio</b>	11.6	m	<b>Caliza total</b>	14280	ton
			<b>BBs</b>	14	unidades x acopio	<b>Autonomía</b>	53	días

**Anexo VII:** Referencias de la Figura 7.3, mapa de Santa Cruz.



- 1) Cementera Pico Truncado: Caliza
- 2) La Josefina: Oro y Plata
- 3) Don Nicolás: Oro y Plata
- 4) Cerro Moro: Oro y Plata
- 5) Bahía Laura: Oro y Plata
- 6) Cerro Vanguardia: Oro y Plata
- 7) Arcilla y Caolines: Arcilla y Caolines
- 8) Manantial Espejo: Oro y Plata
- 9) San Jose: Oro y Plata
- 10) Cerro Negro: Oro y Plata
- 11) La paloma – Lomada de Leiva:
- 12) Proyecto tranquilo: Oro y Plata
- 13) La Manchuria: Oro y Plata
- 14) Martha: cierre de mina
- 15) Joaquín: Oro y Plata
- 16) Yacimiento Carbonífero Río Turbio: carbón
- 17) El Dorado Monserrat: Oro y Plata
- 18) Las Lajas: pórfidos
- 19) Las Calandrias: Oro y Plata
- 20) Pingüino: Oro y Plata

**Anexo VII:** Distribución de turnos en Puerto Deseado.

**ANEXO B**  
**DISTRIBUCION DE TURNOS**

**DÍAS LABORABLES**

	TURNO	SERVICIO	TARIFA	
1	00 a 02	Habilitación de Personal	Turnos Extraordinarios	
2	02 a 04			
3	04 a 06	Alquiler de Elementos Mecánicos		
4	06 a 08			
5	08 a 09	Alquiler de Elementos Mecánicos		Turnos Ordinarios
6	09 a 10			
7	10 a 11			
8	11 a 12			
9	12 a 13			
10	13 a 14	Habilitación de Personal	Turnos Extraordinarios	
11	14 a 15			
12	15 a 18	Alquiler de Elementos Mecánicos		
13	18 a 21			
14	21 a 24			

**SÁBADOS, DOMINGOS, FERIADOS Y OTROS DÍAS NO LABORABLES**

	TURNO	SERVICIO	TARIFA
1	00 a 02	Habilitación de Personal Alquiler de Elementos Mecánicos	Turnos Extraordinarios
2	02 a 04		
3	04 a 06		
4	06 a 08		
5	08 a 10		
6	10 a 12		
7	12 a 14		
8	14 a 16		
9	16 a 18		
10	18 a 20		
11	20 a 22		
12	22 a 24		

**Anexo VIII:** Tabla confeccionada para el Modelo de Datos, vinculada con Anylogic para una modificación más amigable para el usuario.

Categoría	Datos	Abreviación	Unidad	Distribución	Alts									
					Alt.1	Alt.2			Alt.3-CoT				Alt.4	
					SJ-CTRT	SJ-PL	PL-CTRT	N-Pw	Pw-PL	PL-CTRT (C)	PL-CTRT (T)	N-CTRT		
Carga	Tipo de embalaje	e			Granel	Big bag	Big bag	Container	Container	Container	Big bag	Granel		
	Capacidad de embalaje	t/e	t/e		27	0,85	0,85	23,65	23,65	23,65	0,85	27		
Transporte	Unidad de transporte	tr			Camión	Camión	Tren	Ferrocarril	Buque	Camión	Tren	Camión		
	Capacidad de transporte	e/tr			20	27	640	10	100	1	640	20		
Costos	Precio de adquisición	Cu	USD/t	Determinístico	12	12	-	20	-	-	-	20		
	Densidad	p	t/m3		1,3	1,3	-	1,4	-	-	-	1,4		
	Costo de transporte en camión	Ctr	USD/t.km		0,12	0,12	-	-	-	0,12	-	-	0,12	
	Costo de transporte en buque	Ctr	USD/t.km		-	-	-	-	0,0012	-	-	-	-	
	Costo de transporte en ferrocarril	Ctr	USD/t.km		-	-	0,068	0,035	-	-	0,068	-	-	
	Costo de manipulación	Kop	USD/e		112,4	168,6	168,6	112,4	406,2	112,4	168,6	112,4	168,6	
	Costo administrativo de pedir	Kadm	USD/pedidc		24	24	-	24	-	-	-	-	24	
	Costo de almacenamiento	Calm	USD/e.día		-	-	-	-	5,76	-	-	-	-	
Tiempos	Tiempo en tránsito (min)	TT	día	Triangular	5,00	4,80	0,75	0,20	2,00	0,53	0,75	3,30		
	Tiempo en tránsito (med)	TT	día		6,00	5,76	0,83	0,22	2,20	0,64	0,83	3,95		
	Tiempo en tránsito (max)	TT	día		7,50	7,20	1,13	0,30	2,40	0,80	1,13	4,94		
	Tiempo de manipulación (min)	TM	horas/e	Triangular	0,30	0,80	0,80	0,30	0,30	0,30	0,80	0,30		
	Tiempo de manipulación (med)	TM	horas/e		0,40	1,00	1,00	0,40	0,40	0,40	1,00	0,40		
	Tiempo de manipulación (max)	TM	horas/e		0,50	1,50	1,50	0,50	0,50	0,50	1,50	0,50		
	Demoras climatológicas	Dcl	día		Uniforme	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Demoras cortes	Dco	día			-	-	-	-	-	-	-	-	
Distancia	Distancias recorridas	Dist	km	Determinístico	3000	2880	320	730	1650	320	320	1977		

Categoría	Datos	Abreviación	Unidad	Distribución	Alt.5-CoT				Alt.6	Alt.7		
					PT-PD	PD-PL	PL-CTRT (C)	PL-CTRT (T)	PT-CTRT	SJ-SA	SA-PA	PA-CTRT
Carga	Tipo de embalaje	e			Container	Container	Container	Big bag	Granel	Container	Container	Container
	Capacidad de embalaje	t/e	t/e		23,65	23,65	23,65	0,85	27	23,65	23,65	23,65
Transporte	Unidad de transporte	tr			Camión	Buque	Camión	Tren	Camión	Camión	Buque	Camión
	Capacidad de transporte	e/tr			1	100	1	640	20	1	100	1
Costos	Precio de adquisición	Cu	USD/t	Determinístico	15	-	-	-	15	12	-	-
	Densidad	p	t/m3		1,3	-	-	-	1,3	1,3	-	-
	Costo de transporte en camión	Ctr	USD/t.km		0,12	-	0,12	-	-	0,12	-	-
	Costo de transporte en buque	Ctr	USD/t.km		-	0,0012	-	-	-	-	-	-
	Costo de transporte en ferrocarril	Ctr	USD/t.km		-	-	-	0,068	-	-	-	-
	Costo de manipulación	Kop	USD/e		112,4	406,2	112,4	168,6	112,4	6000	3000	2500
	Costo administrativo de pedir	Kadm	USD/pedidc		24	-	-	-	24	24	-	-
	Costo de almacenamiento	Calm	USD/e.día		-	0,75	-	-	-	-	-	8,76
Tiempos	Tiempo en tránsito (min)	TT	día	Triangular	0,33	1,50	0,53	0,75	1,56	1,08	5,00	0,43
	Tiempo en tránsito (med)	TT	día		0,40	1,65	0,64	0,83	1,87	1,30	5,50	0,52
	Tiempo en tránsito (max)	TT	día		0,50	1,80	0,80	1,13	2,34	1,63	6,00	0,85
	Tiempo de manipulación (min)	TM	horas/e	Triangular	0,30	0,30	0,30	0,80	0,30	0,30	0,30	0,30
	Tiempo de manipulación (med)	TM	horas/e		0,40	0,40	0,40	1,00	0,40	0,40	0,40	0,40
	Tiempo de manipulación (max)	TM	horas/e		0,50	0,50	0,50	1,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	Demoras climatológicas	Dcl	día		Uniforme	-	-	-	-	-	-	-
	Demoras cortes	Dco	día			-	-	-	-	-	-	-
Distancia	Distancias recorridas	Dist	km	Determinístico	200	750	320	320	935	650	2800	260

		Unidad	Todas las alternativas
Datos asociados a los BB	Costo BB	USD/BB	150
	Tamaño de BB	t	0,85
	Capacidad de alm. en Loyola (BBs)	BB	16800
	BBs por vagón	BB	16
Ruptura	Precio MWh	USD/MWh	100
	Factor de carga		0,9
	Potencia útil	MW	90
Datos de contenedor	Costo compra contenedor	USD/cont	10000
	Costo alquiler contenedor	USD/día	5
Datos de almacenamiento	Capacidad de alm. en CTRT	t	5040
	Capacidad de alm. en PW	cont	100
	WACC		0,08

## Anexo IX: Especificaciones técnicas de “Active Oxide”



**“ACTIVE OXIDE”**  
CL 90 UNI EN 459-1

### **INFORMATION ON BASIC PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES**

Appearance: white or off white (beige) solid material of varying sizes: Lump, granular or fine powder

Odour: odourless

pH: 12.3 (saturated solution at 20 °C)

Relative density: 3.31 (study result, EU A.3 method)

Solubility in water: 1337.6 mg/L (study results, EU A.6 method)

Reaction to fire: is not combustible

Packaging: bulk

Lump: 0-0,8 mm

### **ACTIVE OXIDE CHARACTERIZATION**

<b>CaO + MgO (% ≥ 90)</b>	<b>94,0 %</b>	<b>EN 459-2</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>2,5 %</b>	<b>EN 459-2</b>
<b>MgO</b>	<b>1,7 %</b>	<b>EN 12485</b>
<b>SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>1,8 %</b>	<b>EN 12485</b>
<b>Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	<b>&lt; 0,005 %</b>	<b>EN 12485</b>
<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>&lt; 0,05 %</b>	<b>EN 459-2</b>

### **IDENTIFICATION SUBSTANCE**

CAS: 1305-78-8

EINECS: 215-138-9

Molecular Weight: 56.08 g/mol

REACH Registration number: YP900883-07

### **CONDITIONS FOR SAFE STORAGE, INCLUDING ANY INCOMPATIBILITIES**

The substance should be stored under dry conditions. Any contact with air and moisture should be avoided.

### **Disclaimer**

Data are based on our latest knowledge but do not constitute a guarantee for any specific product features and do not establish a legally valid contractual relationship.