

INFORME FINAL

REVISIÓN 4

**“Estudio de demanda de
infraestructura de
telecomunicaciones en el
área geográfica de la Gran
Minería del Norte y la
Astronomía”.**

**Subsecretaría de
Telecomunicaciones**

ADDERE Ltda.

Abril 2017

CONTENIDO RESUMIDO

1	RESUMEN EJECUTIVO.....	1
2	DEMANDA ACTUAL DE SERVICIOS DE TRANSPORTES DE DATOS DE ALTA VELOCIDAD DE LA GRAN MINERÍA.....	6
3	METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA PROSPECTIVA DE CONSUMO DE DATOS DE LA MINERÍA	43
4	ESTIMACIÓN DE DEMANDA PROSPECTIVA DE CONSUMO DE DATOS A 5, 10 Y 20 AÑOS...	49
5	ANTECEDENTES DE LAS ACTUALES REDES INALÁMBRICAS, Y DE SU EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA ESPERADA Y PROPUESTA DE SOLUCIONES IOT	64
6	DEMANDA ACTUAL DE SERVICIOS DE TRANSPORTES DE DATOS DE ALTA VELOCIDAD EN LA INVESTIGACIÓN ASTRONÓMICA EN CHILE	89
7	MODELO DE DEMANDA PROSPECTIVA DE TRANSPORTE DE DATOS DE LOS PRINCIPALES OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS DEL NORTE DE CHILE.....	137
8	ESTIMACIÓN DE DEMANDA DE TRÁFICO DE DATOS EN ASTRONOMÍA A 5, 10 Y 20 AÑOS	150
9	INTERNET DE LAS COSAS (IOT) EN ASTRONOMÍA.....	164
10	ELEMENTOS PARA DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES DE MINERÍA Y OBSERVATORIOS.	167
11	Bibliografía.....	169
12	EQUIPO DE TRABAJO.....	176
13	ANEXO: LA GRAN MINERÍA EN CHILE	177

CONTENIDO DETALLADO

1	RESUMEN EJECUTIVO	1
1.1	Actividad de la minería y de la astronomía en el Norte de Chile.....	1
1.2	Requerimientos de transporte de datos de alta velocidad.	1
1.3	Factores críticos	2
1.4	Proyecciones a 5, 10 y 20 años	3
1.5	Exportación de servicios.....	4
1.6	Elementos para el diseño de la infraestructura futura	5
2	DEMANDA ACTUAL DE SERVICIOS DE TRANSPORTES DE DATOS DE ALTA VELOCIDAD DE LA GRAN MINERÍA	6
2.1	Análisis de la industria de la gran minería actual en Chile	6
2.1.1	Estructura de la industria	7
2.1.2	Las empresas de la Gran minería en Chile	10
2.1.3	Las empresas de la mediana minería en Chile.....	12
2.1.4	Ventajas competitivas frente a competidores internacionales.....	15
2.1.5	Una hoja de ruta (ROADMAP) para la etapa III	18
2.1.6	Tendencias históricas de productividad.....	19
2.1.7	Proyectos de inversión de la minería en Chile	24
2.1.8	Requerimientos de tecnologías de la información y comunicaciones para la minería en Chile	24
2.2	Incorporación de tecnologías de comunicaciones en la industria minera	26
2.3	Generación y Transporte de Datos en la Gran Minería	28
2.4	Ubicación de los yacimientos y/o operaciones correspondientes a la gran minería; por tipo (superficie y/o subterráneo), por propietario (holding minero).	33
2.5	Categorías de tipos de datos que se trafican por la red	33
2.5.1	Sistemas administrativos.....	35
2.5.2	Sistemas de control.....	36
2.5.3	Comunicaciones de videoconferencia o streaming de alta calidad.....	36
2.5.4	ERP.	36
2.5.5	Sistemas de respaldo entre nodos.....	36
2.5.6	Conectividad con casa matriz (internacional)	37
2.6	Capacidades, en [Mbps], actualmente disponibles por cada yacimiento.	38

2.6.1	Quién provee estos servicios, vale decir si son propios y/o de terceros.	40
2.6.2	Tipología de fallas técnicas más recurrentes y de problemas operativos con proveedores de servicios de transporte de datos.	40
2.6.3	Origen y destino de Matriz de tráfico de datos por yacimiento.....	40
2.7.3.3	<i>Nodo que centraliza y/o controla estas comunicaciones.....</i>	41
2.7	Existencia de centros de control y comando remoto (comando y control realizado desde el exterior del yacimiento) de procesos mineros automatizados.	41
2.8	Existencia de centros de monitoreo remoto (monitoreo realizado desde el exterior del yacimiento) de procesos mineros automatizados.	41
2.9	Existencia de otros tipos de sistemas de control, comando y monitoreo que requieran de capacidad de transporte al exterior de algún yacimiento y/o operación.	42
3	<i>METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA PROSPECTIVA DE CONSUMO DE DATOS DE LA MINERÍA.....</i>	43
3.1	Introducción	43
3.2	Modelo de demanda.....	44
3.3	Minería Inteligente	45
3.4	Minería Inteligente e Internet de las cosas (IoT)	46
3.5	Estimación de demanda prospectiva	47
4	<i>ESTIMACIÓN DE DEMANDA PROSPECTIVA DE CONSUMO DE DATOS A 5, 10 Y 20 AÑOS</i>	49
4.1	Levantamiento de proyectos para futuros yacimientos u operaciones de la gran minería: Ubicación y producción estimada	49
4.2	Estimación de la demanda esperada de servicios de transporte de datos de alta velocidad.	51
4.3	Escenarios probables	53
4.4	Modelo de Estimación de la Demanda	54
4.5	Análisis prospectivo de los avances de las tecnologías.....	58
4.6	Modelo de Demanda Prospectiva.....	59
4.7	Metodología para la estimación de demanda de tráfico de datos en Minería para 5, 10 y 20 años.	60
4.8	Análisis de los Escenarios Probables a 5, 10 y 20 años.	60
4.9	Tendencias.....	63
5	<i>ANTECEDENTES DE LAS ACTUALES REDES INALÁMBRICAS, Y DE SU EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA ESPERADA Y PROPUESTA DE SOLUCIONES IOT</i>	64
5.1	Terminología.....	64
5.2	Ventajas Diferenciales.....	65

5.3	Actuales Tipos de Redes Inalámbricas	68
5.3.1	WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)	68
5.3.2	AP/Mesh.....	69
5.4	Internet of Things (IoT).....	70
5.5	Robótica y El Internet de Todo (OIE).....	71
5.6	Tecnologías para Soluciones IoT	72
5.6.1	LTE: Long Term Evolution (evolución a largo plazo)	72
5.6.2	eMTC, NB-IoT y 5G/IoT.....	72
5.6.3	eMTC, o LTE-M.....	74
5.7	Protocolo de comunicación Actual IPv4 y el próximo IPv6.	75
5.8	Aplicaciones.....	76
5.9	CPwE, Tecnología detrás de la Solución en la planta Eleonor de Goldcorp.	77
5.10	La productividad factor clave en la optimización del negocio.....	81
5.11	El Punto de inflexión en la industria minera.....	85
6	<i>DEMANDA ACTUAL DE SERVICIOS DE TRANSPORTES DE DATOS DE ALTA VELOCIDAD EN LA INVESTIGACIÓN ASTRONÓMICA EN CHILE</i>	89
6.1	Análisis general	89
6.1.1	Los observatorios astronómicos en Chile.....	89
6.1.2	Capacidad actualmente disponible.....	94
6.1.3	Topología de la red troncal.....	97
6.1.4	Requerimientos de captura, transmisión y almacenamiento de datos en astronomía en Chile	98
6.2	ALMA.....	99
6.2.1	Capacidad de los enlaces de comunicación	100
6.2.2	Tipología de fallas técnicas más recurrentes:.....	106
6.2.3	Generación de Datos.....	107
6.2.4	Transferencia real y proyectada	108
6.3	Association of Universities for Research in Astronomy (AURA)	111
6.3.1	Capacidad de los enlaces de comunicación	112
6.3.2	Cumbres (Tololo+Pachón) - Base (La Serena).....	112
6.3.3	Cumbres (Pachón y Tololo)– Gatehouse	113
6.3.4	Gatehouse – La Serena.....	114
6.3.5	La Serena – Santiago	115
6.3.6	Santiago -Proveedores de internet internacionales (RENS) en EEUU	117

6.3.7	Generación de datos:	119
6.3.8	Capacidad disponible y proyectada	121
6.4	Cherenkov Telescope Array (CTA)	122
6.4.1	Tasa de eventos y volumen de datos	125
6.4.2	Volúmenes de datos	127
6.5	LSST (Large Synoptic Survey Telescope) el Survey de esta década.....	131
6.6	Modelo de financiamiento de la infraestructura.....	134
6.7	Modelo futuro	136
6.7.1	Red troncal	136
6.7.2	Posible evolución del modelo actual	136
7	MODELO DE DEMANDA PROSPECTIVA DE TRANSPORTE DE DATOS DE LOS PRINCIPALES OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS DEL NORTE DE CHILE.....	137
7.1	Introducción	137
7.2	Escenarios Probables	137
7.3	Modelo de estimación de la demanda.....	137
7.3.1	Financiamiento de la Ciencia	138
7.3.2	Proyectos en etapas finales de diseño o en construcción	139
7.3.3	Proyectos en etapas de diseño conceptual y proyectos aun no conceptualizados	140
7.3.4	Ciencia impulsada por datos y ciencia de oportunidad	140
7.4	Productividad científica de los principales observatorios astronómicos en Chile.....	142
7.4.1	VLT/VLTI (Paranal), La Silla, VISTA, VST y APEX	142
7.4.2	ALMA	146
7.4.3	Telescopios Gemini	146
7.4.4	Telescopios Magallanes (Observatorio Cerro Las Campanas).....	147
7.5	Modelo de demanda prospectiva.....	148
8	ESTIMACIÓN DE DEMANDA DE TRÁFICO DE DATOS EN ASTRONOMÍA A 5, 10 Y 20 AÑOS	150
8.1	Variables que impactan en la demanda de tráfico	150
8.2	Espectrógrafos, Imagers y Unidades de Campo Integral	152
8.3	Arreglos interferométricos	153
8.4	Interferometría de Base Muy Larga (Very Long Baseline Interferometry: VLBI).....	154
8.5	Evolución de Capacidad de Almacenamiento, Transmisión y Procesamiento de Datos Astronómicos.....	156
8.5.1	Generación de datos:	156

8.5.2	Almacenamiento de datos:	157
8.5.3	Transmisión de datos:	157
8.5.4	Procesamiento de datos:.....	158
8.6	Proyección a 5, 10 y 20 años	161
9	<i>INTERNET DE LAS COSAS (IOT) EN ASTRONOMÍA.</i>	164
9.1	Datos de monitoreo y control en los observatorios	164
9.2	Seguridad y desempeño de las redes IP.....	165
9.3	El futuro de IoT en los observatorios:	165
9.3.1	En los telescopios e instrumentos astronómicos	165
9.3.2	En la infraestructura de soporte a las actividades de los observatorios.....	165
10	<i>ELEMENTOS PARA DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES DE MINERÍA Y OBSERVATORIOS.</i>	167
11	<i>Bibliografía</i>	169
12	<i>EQUIPO DE TRABAJO</i>	176
12.1	Director del Estudio.....	176
12.2	Expertos:	176
13	<i>ANEXO: LA GRAN MINERÍA EN CHILE.....</i>	177

Tabla 1-1 Proyección de la demanda de ancho de banda en minería	3
Tabla 1-2 Proyección de la demanda de ancho de banda para la astronomía en Chile	4
Tabla 2-1 Desglose OPEX Mina Cielo Abierto (%)	8
Tabla 2-2 Desglose OPEX Mina Subterránea (%)	8
Tabla 2-3 Principales Insumos CAPEX Infraestructura y Equipos Mina (Mina Subterránea)	9
Tabla 2-4 CAPEX Mina Cielo Abierto	9
Tabla 2-5 Definición de sectores de la minería	13
Tabla 2-6 Distribución de la inversión del sector minero	24
Tabla 2-7: Aporte anual acumulado de las diversas empresas mineras de cobre	28
Tabla 2-8 Anchos de banda disponible de transporte de alta velocidad por Yacimiento Minero ...	29
Tabla 2-9 Anchos de banda disponible por yacimiento.	30
Tabla 2-10 Consumo de transporte de datos de alta velocidad por equipos de control y monitoreo	32
Tabla 2-11 Consumo de transporte de datos de alta velocidad por equipos mineros.	32
Tabla 2-12 Tipos de Datos que se trafican en la red de CODELCO	38
Tabla 3-1 Matriz de análisis	45
Tabla 4-1 Recopilación de datos de producción de cobre en base al año 2014	49
Tabla 4-2 Proyectos/Operaciones mineras futuras	50
Tabla 4-3 Hipótesis para la estimación de la demanda de transporte de datos	54
Tabla 4-4 Consumo de transporte de datos de alta velocidad por equipos de control y supervisión.	55
Tabla 4-5 Consumo de transporte de datos de alta velocidad por equipos mineros	55
Tabla 4-6 Equipos mineros en los diferentes yacimientos	56
Tabla 4-7 Matriz de incremento de la demanda de tráfico de datos	60
Tabla 4-8 Prospección de demanda para faenas mineras en Chile	61
Tabla 4-9 Proyección de la demanda de ancho de banda en minería	63
Tabla 5-1 Comparación principales características PON	67
Tabla 5-2 Capacidades de redes inalámbricas	70
Tabla 5-3 Tecnologías para transmisión de datos	75
Tabla 5-4 Utilización de activos de capital (Horas al día de uso del capital instalado)	81
Tabla 5-5 Brechas a cubrir en el proceso de digitalización de la industria minera	88
Tabla 6-1 Costos de Construcción de los Grandes Observatorios en Chile	91

Tabla 6-2 Enlaces de centros astronómicos	95
Tabla 6-3 Capacidades de centros astronómicos por tramos	96
Tabla 6-4 Necesidades de transmisión y de almacenamiento de datos de observatorios:.....	98
Tabla 6-5 Requerimientos del CTA-Sur en Chile.	123
Tabla 6-6 Resultados de simulación para una instalación típica del sur y del norte	126
Tabla 6-7 Proyectos de cámara – volúmenes de datos (a)	127
Tabla 6-8 Cámaras – volúmenes de datos (b)	128
Tabla 6-9 Tasas de datos esperadas para CTA.....	129
Tabla 7-1 Artículos publicados con datos de los telescopios administrados por la entre los años 1996 y 2005	144
Tabla 7-2 Artículos publicados con datos de los telescopios administrados por la entre los años 2006 y 2015	145
Tabla 7-3 Publicaciones basadas en datos de telescopio Magallanes	147
Tabla 8-1 Resumen de evolución tecnológica (y en astronomía).....	159
Tabla 8-2 Demanda de tráfico más probable de datos astronómicos.....	163
Tabla 8-3 Hipótesis de Demanda de tráfico de datos astronómicos.....	163
Tabla 9-1 Posibles soluciones basadas en IoT en la infraestructura de soporte a las actividades de los observatorios	166

Figura 2-1 Estructura de producción de la minería del cobre en Chile.....	7
Figura 2-2: Operaciones mineras junto a su ubicación y producción anual de Cu fino.	12
Figura 2-3 Participación porcentual por sector productivo (promedio 2011 – 2013).....	14
Figura 2-4 Producción de cobre de pequeña y mediana minería (TMF).....	15
Figura 2-5 Evolución de Las Ventajas Competitivas de la Minería en Chile	17
Figura 2-6 Evolución de costos operacionales y ventas unitarias de la minería del cobre en Chile, 2005-2015.	20
Figura 2-7 Evolución de costo operacional según tipo de procesamiento, 2005-2015.	21
Figura 2-8 Evolución de percentiles de costos operacionales (25, 50, 75, 90) de la minería chilena del cobre, 2005-2015.	22
Figura 2-9 Evolución de márgenes operacionales de empresas productoras de cobre en Chile, 2005-2015.	23
Figura 2-10 Composición del costo operacional 2014-2015.	23
Figura 2-11 Relación producción de cobre y ancho de banda requerido.	31
Figura 2-12 Ubicación de los yacimientos y/o operaciones correspondientes a la gran minería.	34
Figura 2-13 Infraestructura TICA de CODELCO.....	35
Figura 2-14 Plataforma de comunicaciones de CODELCO:	37
Figura 2-15 Diagrama de Estructura Nacional Red WAN CODELCO:	40
Figura 3-1 Sala de control de la mina Ministro Hales en Kairos Mining en Santiago.	43
Figura 3-2 Diagrama de un análisis tipo Top-Down aplicado a la proyección de ancho de banda ..	44
Figura 3-3 Áreas estratégicas que aborda Minería Inteligente.....	46
Figura 3-4 Arquitectura del sistema <i>Komatsu machine management system</i>	47
Figura 3-5 Modelo de estimación de demanda.....	48
Figura 4-1 Proyectos de 10 a 20 años	51
Figura 4-2 Proyectos de 20 años a más.....	51
Figura 4-3 Evolución de la industria.....	52
Figura 4-4 Modelo de estimación de demanda prospectiva.....	59
Figura 5-1 Sistema GPON.	65
Figura 5-2 Evolución de redes cableadas e inalámbricas.....	69
Figura 5-3 Requerimientos acorde a aplicaciones en tiempo real.	70
Figura 5-4 Estandarización del IoT de 3GPP en la evolución hacia 5G.....	73
Figura 5-5 Comunicaciones de tipo máquina LTE/LTE-A/LTE-A Pro.	74
Figura 5-6 Arquitectura CPwE.....	78

Figura 5-7 Arquitectura CPwE.....	79
Figura 5-8 Método de Planificación Minera Robusta propuesto por REDCO	82
Figura 5-9 Ejemplo de cola de camiones recomendada como filosofía de operación variable en función de los materiales y el estado de las plantas de molienda	84
Figura 5-10 Esquema de Infraestructura Tecnológica que facilita la eficiencia en el proceso de toma de decisiones y planificación minera.	85
Figura 5-11 Áreas de mejoras producto de la digitalización.	87
Figura 6-1 Comparación de estabilidad atmosférica (astronomical seeing)	89
Figura 6-2 Transmisión atmosférica en el Llano de Chajnantor	90
Figura 6-3 Principales centros astronómicos del norte de Chile	92
Figura 6-4 Mapa de la red operada por REUNA	97
Figura 6-5 Datos generados por telescopios ESO	99
Figura 6-6 ALMA: flujo de los datos desde el AOS hacia el OSF	100
Figura 6-7 Fibra AOS - Calama	101
Figura 6-8 Fibra Calama – Antofagasta	102
Figura 6-9 Nodo EVALSO	103
Figura 6-10 Fibra Antofagasta – SCO	104
Figura 6-11 Fibra AOS - Santiago	105
Figura 6-12 Retardos entre OSF y SCO	106
Figura 6-13 Estadísticas de disponibilidad (REUNA)	107
Figura 6-14 Transferencia de datos científicos entre los meses de febrero de 2015 y marzo de 2016.	109
Figura 6-15 Tráfico de IP (ALMA)	110
Figura 6-16 Tasa de transmisión de datos	111
Figura 6-17 Enlace La Serena - Cumbres	113
Figura 6-18 Enlace Cumbres (Pachón y Tololo)– Gatehouse.....	114
Figura 6-19 Enlace Gatehouse – La Serena	114
Figura 6-20 Enlace la Serena - Santiago	116
Figura 6-21 Enlace Santiago -Proveedores de internet internacionales (a).....	117
Figura 6-22 Santiago -Proveedores de internet internacionales (b).....	117
Figura 6-23 Capacidades disponibles y proyectadas para la operación del LSST.....	118
Figura 6-24 Flujo nocturno	119
Figura 6-25 Flujo diario	120
Figura 6-26 Enlaces asignados para la transferencia de datos.....	121

Figura 6-27 Capacidad disponible y proyectada.....	122
Figura 6-28 Hardware ACTL.....	124
Figura 6-29 Acceso de hardware en el sistema ACTL	125
Figura 6-30 Flujo global de datos del sistema ACTL.....	130
Figura 6-31 Resumen CTA.	131
Figura 6-32 Enlaces definidos por el proyecto LSST	133
Figura 6-33 Evolución de los enlaces para el LSST.....	134
Figura 6-34 Ingresos y gastos operacionales de la Red Universitaria Nacional (REUNA)	135
Figura 6-35 Superávit anual y Patrimonio de la Red Universitaria Nacional (REUNA)	135
Figura 7-1 Ciclo de vida de las propuestas para nuevas instalaciones científicas	138
Figura 7-2 OECD: Porcentaje del PIB destinado a Investigación Científica en los años 2010, 2012 y objetivo futuro declarado	139
Figura 7-3 Número de Publicaciones basadas en observaciones del telescopio Hubble	141
Figura 7-4 Publicaciones de los telescopios administrados por la <i>European Southern Observatory</i> (ESO).....	143
Figura 7-5 Evolución de las publicaciones basada en datos de los telescopios Gemini	147
Figura 7-6 Evolución de las publicaciones basada en datos de los telescopios Magallanes.....	148
Figura 7-7 Resumen de metodología de estimación de demanda de transporte de datos en astronomía.	149
Figura 8-1 Profundidad de penetración de la radiación en la atmosfera terrestre.....	151
Figura 8-2 Esquema de funcionamiento de una Unidad de campos Integral (IFU).....	153
Figura 8-3 Posición de los tres telescopios utilizados en la observación tipo VLBI	155
Figura 8-4 Evolución de conexión de Internet.....	158
Figura 9-1 Arquitectura del sistema de almacenamiento de datos de monitoreo de instrumentos del Observatorio ALMA.....	164
Figura 13-1 Pronóstico del precio del cobre hacia el 2018	179
Figura 13-2 Cantidad de cobre que utilizan las distintas fuentes de generación energética.....	179
Figura 13-3 Cantidad de cobre que utilizan los automóviles según tipo de combustible.	180

1 RESUMEN EJECUTIVO

1.1 Actividad de la minería y de la astronomía en el Norte de Chile

Tanto en minería como en astronomía, Chile cuenta con un territorio privilegiado a nivel mundial.

En la minería del cobre, Chile es el principal exportador mundial con una producción que alcanzó a 5.750.000 toneladas el año 2016.

Chile genera el 30% del cobre de mina a nivel mundial, según Cochilco. Le siguen China, con 9%; Perú, con 8%; Estados Unidos, con 7%, y el Congo, con 6%.

En lo que respecta a faenas mineras, en Chile existen 22 explotaciones de entre 35.000 y casi un millón de toneladas anuales de producción.

Escondida es la mayor mina del mundo en producción de cobre. Produce anualmente 679.000 toneladas de concentrado y 312.000 toneladas de cátodos de cobre lo que corresponde al 5% de la oferta global.

En la astronomía, Chile concentra hoy el 40% de la capacidad de observación astronómica mundial y se espera que en la próxima década alcance al 70 %.

Grandes observatorios cuya inversión sobrepasa los 3.000 millones de dólares, generan datos científicos para investigadores de todo el planeta.

Respecto del nivel tecnológico, los observatorios utilizan tecnología de frontera que pertenece a la categoría de “big science¹” y que la mayoría de las veces es única en el mundo.

En la minería en cambio, se emplean tecnologías probadas que aseguren la continuidad de la operación, si bien en los últimos años las necesidades de aumentar la productividad estimulan mayor innovación y recursos a tecnologías más avanzadas.

1.2 Requerimientos de transporte de datos de alta velocidad.

Los requerimientos de transporte de datos son de diferente índole en la minería y en la astronomía.

La misión de los observatorios es precisamente la producción de datos. Por tal motivo, el diseño tanto conceptual como de detalle de todo observatorio hoy, comprende necesariamente el diseño y construcción de enlaces de alta velocidad o el subcontrato de éstos, para que la producción del observatorio llegue a los investigadores

¹ “Investigación científica de alto costo dado que necesita una gran cantidad de equipos e investigadores y por

De acuerdo al análisis presentado en este informe, basado en datos de los observatorios instalados en Chile, capacidad actual de transmisión de datos de la astronomía alcanza los 100 Gbps en el territorio nacional.

En lo que respecta a la minería, al análisis desarrollado en el presente estudio concluye que el transporte de datos no constituye un componente vital de su operación. Sin embargo, las exigencias de productividad, de seguridad y de optimización del uso de recursos naturales para su actividad, han aumentado la demanda por tecnologías de la información incorporadas tanto a la administración como a la producción.

En su mayoría, se trata de faenas existentes desde décadas que incorporan el monitoreo y el control de sus operaciones con tecnologías de la información y comunicaciones.

Esto ha llevado al desarrollo de sistemas de monitoreo remoto, telecomando de equipos tales como LHD, martillos picadores, introducción de la mecatrónica, modelación, control automático.

Una parte importante aún de la generación de datos en terreno es procesada y/o almacenada en el lugar mismo, sin requerir por tanto enlaces de transmisión de datos fuera de la faena.

Sin embargo, en el estado actual de incorporación de TICs en minería, una empresa como Codelco cuenta con enlaces de 300 Mbps hacia su Casa Matriz y con enlaces entre 50 Mbps y 200 Mbps en sus explotaciones.

1.3 Factores críticos

Los requerimientos de banda ancha no solamente se refieren a los Mbps disponibles.

Un factor crítico es la malla de comunicaciones.

De acuerdo a la información entregada por una empresa minera², los contratos de servicios (SLA) son mucho más exigentes respecto del servicio (uptime) que del enlace (Mbps). Como regla, la empresa establece una ocupación normal del canal de 50%, lo que asegura el funcionamiento en casos de contingencia.

La evolución del monitoreo y control remoto de las operaciones en minería es por tanto más exigente respecto de la topología de la red.

La topología debe tener una redundancia que asegure la continuidad de las operaciones en caso de corte de un enlace por causas tales como terremotos, inundaciones, aludes, incendios, entre otros.

De hecho, algunos de los avances de monitoreo remoto en la minería se adaptan a la capacidad disponible disminuyendo la resolución de las imágenes o la frecuencia de actualización. Una mayor capacidad de ancho de banda sería utilizada en caso de estar disponible.

Esta necesidad de asegurar la continuidad de operaciones por el momento enlentece el desarrollo de aplicaciones de operación remota. En efecto, un problema de enlace que retrasa la entrega de datos administrativos es manejable, pero paralizar un proceso de flotación por pérdida de enlace no es aceptable.

² Información entregada personalmente por profesionales de la Gerencia TIC de Codelco.

Para los observatorios la redundancia es también crítica, si bien la caída de un enlace no significa necesariamente la pérdida de datos sino el retraso en la entrega de éstos.

Por ejemplo ALMA proyecta un enlace de fibra óptica entre la zona Norte y Santiago pasando por Argentina, para garantizar la continuidad de la transmisión de datos.

Un segundo factor crítico tiene que ver con la confidencialidad y la seguridad de los datos. Un proceso cuyo control pueda ser capturado por “hackers” no es admisible.

Esto implica un diseño de las comunicaciones en diferentes capas, diferenciando en la capa física los procesos productivos de los procesos administrativos, incorporando encriptación avanzada, privilegios estrictos y detección de intrusiones.

Por último, en minería queda aún la necesidad de avanzar en los sistemas de operación remota incorporando mucha más información y retroalimentación para el operador, lo que implica un aumento significativo de los requerimientos de banda ancha.

1.4 Proyecciones a 5, 10 y 20 años

Para la minería, la proyección es compleja ya que no existe una correlación entre la producción minera y el ancho de banda requerido. El coeficiente de correlación calculado con los datos actuales es de $R = 0,08$ lo cual fundamenta la no existencia de correlación entre ambas variables.

La proyección ha sido llevada a cabo en base a la proyección de equipamiento requerido y bajo la hipótesis de que la evolución de dicho equipamiento es hacia la inclusión de sensores para captura de datos y el envío de los datos al exterior de los yacimientos, así como una evolución hacia la operación remota de las faenas.

Tabla 1-1 Proyección de la demanda de ancho de banda en minería

Prospección	Ancho de banda mínimo (Mbps)	Ancho de banda máximo (Mbps)
0 Años	44	44
5 Años	721	3.178
10 Años	8.035	11.897
20 Años	15.838	23.454

Fuente: elaboración propia a partir del modelo prospectivo

Para la astronomía, la proyección se basa en el aumento de capacidad de observación impulsada por la instalación de nuevos observatorios pero fundamentalmente por el desarrollo de la tecnología y en particular de los sensores de imágenes (tecnología CCD) que aumentarán el número de píxeles de las imágenes

En efecto, se espera que la evolución tecnológica aumente de 1 Gpixel actuales a 3,2 Gpix en 5 años, 9 Gpix en 10 años y 81 Gpix en 20 años.

Tabla 1-2 Proyección de la demanda de ancho de banda para la astronomía en Chile

Año	Capacidad de transmisión de datos requerida (Gbps)
2017	10
2022	90
2027	310
2037	970

Fuente: elaboración propia a partir del modelo prospectivo.

Esta demanda será satisfecha mediante capacidades propias de los observatorios particularmente en los enlaces entre operaciones, capacidades compartidas como lo es la Red de Reuna y contratos con operadores comerciales.

La redundancia de la malla implica enlaces por vía de Argentina en el caso de Alma.

1.5 Exportación de servicios

Una de las preocupaciones en Chile es cómo las soluciones tecnológicas desarrolladas para abordar necesidades locales, una vez probadas pueden ser exportadas.

La respuesta no es fácil y claramente excede los límites del presente estudio.

En el caso de la astronomía, la tecnología de frontera es casi en un 100% desarrollada en los países propietarios de los observatorios y según los aportes económicos de cada país. En Chile se ha avanzado en soluciones tecnológicas intermedias con éxito. (ADDERE, 2012)

Sin embargo, la presencia de los grandes observatorios en Chile entrega un enorme potencial para el desarrollo de la astroingeniería y de la astroinformática en el país, lo cual requiere de una cooperación público, privada y académica nacional e internacional.

En el caso de la minería, se estima de baja probabilidad ofrecer servicios de monitoreo y de operación remota desde Chile. Barreras de idioma, sindicatos, husos horarios, hacen compleja la actividad de servicios.

Por otra parte, los competidores de Chile en tecnología minera son fuertes, tienen apoyo de sus gobiernos e incluso el Estado chileno subvenciona Centros de Excelencia Internacionales de países competidores.³

³ Por ejemplo, en Chile el Programa de Atracción de Centros de Excelencia Internacional subsidia a los Centros CSIRO y SMI cuya casa matriz está en Australia y a Emerson cuya casa matriz está en Estados Unidos.

No obstante, en la medida en que los desafíos sean enfrentados de manera integrada, donde concurren las telecomunicaciones, el software, la energía, la electrónica y las matemáticas, la disponibilidad de transporte de datos de alta velocidad resulta una tecnología habilitante para el conjunto de innovaciones y desarrollos (ADDERE, 2012).

1.6 Elementos para el diseño de la infraestructura futura

La información levantada en el presente estudio indica que tanto para la astronomía como para la minería son requisitos críticos tanto la capacidad de transmisión de grandes volúmenes de datos como la fiabilidad de los enlaces, lo cual debe garantizar la continuidad de las operaciones independientemente de eventos climáticos u otros.

En consecuencia, es altamente recomendable que el diseño de la infraestructura considere tanto enlaces de fibra óptica como enlaces satelitales.

La tecnología de enlaces satelitales de comunicaciones evoluciona hacia una oferta de:

- Alta capacidad de ancho de banda
- Latencia semejante a la de la fibra óptica.
- Ancho de banda a costos significativamente más bajos que hasta la fecha. (O3b networks)

Los satélites de alto rendimiento (HTS, por sus siglas en inglés) están preparados para ofrecer una capacidad mucho más alta que los servicios satelitales tradicionales en una fracción del costo. Hoy, los satélites HTS puede proporcionar más de 100 GBps de capacidad esto es más de 100 veces la capacidad ofrecida por los satélites convencionales Ku-band. (Taylor & Bosworth, Analog Devices, Inc., 2016)

2 DEMANDA ACTUAL DE SERVICIOS DE TRANSPORTES DE DATOS DE ALTA VELOCIDAD DE LA GRAN MINERÍA

2.1 Análisis de la industria de la gran minería actual en Chile

Un completo análisis de la industria minera en Chile se encuentra en la información del Consejo Minero (Consejo Minero, 2016).

Los principales elementos de dicho análisis se entregan citados en anexo.

La minería en Chile está alcanzando una producción entre 6 y 8 millones de toneladas anuales. Esto ha permitido que Chile pase a representar desde un 16% de la producción mundial antes de los '90 a un 30% durante el 2015 y 2016.

La participación de la minería en el PIB se ha ubicado en torno al 9%, desde mínimos en torno al 7% en algunos años de los '90, hasta máximos sobre el 20%, en algunos años de la segunda mitad de la década del 2000. (Consejo Minero, 2016).

Desde la promulgación del Estatuto de Inversión Extranjera en 1974 hasta el año 2012 se han materializado inversiones por más de 90 mil millones de dólares, de los cuales un tercio corresponde a minería. (Consejo Minero, 2016).

El cobre representa más del 90% de las exportaciones mineras del país, mientras que un 55% de las exportaciones corresponden a productos mineros. De igual modo, la minería es el sector económico con mayor contribución a los ingresos fiscales, con una participación cercana al 15% durante el 2012, presentando una baja durante el 2013 en adelante. Hoy se sitúa en torno al 6% (Consejo Minero, 2016)

Son relevantes las limitaciones a la competitividad de la minería chilena en (Consejo Minero, 2016)

- caída en la ley mineral,
- disponibilidad y costo de energía,
- disponibilidad de agua,
- productividad del capital humano
- certeza jurídica

El desarrollo del sector minero está ligado al avance tecnológico, especialmente el relacionado con la comunicación. El acceso a estas tecnologías facilitó la inclusión de nuevas formas de producción, mucho más específicas, eficientes y segura. como el de automatización, el que incluye al control automático en todas sus manifestaciones), pero que además incorpora disciplinas tales como instrumentación y sensores, sistemas digitales y computadores, inteligencia artificial, procesamiento de señales y software, robótica y electrónica, además de una serie de otras disciplinas de reciente aparición, orientado a procesos que coordinan automáticamente la operación de varios equipos o procedimientos de análisis de información en tiempo real, y que permiten mejorar la toma de decisiones y también automatizar la generación de reportes. (Area Minera, 2016)

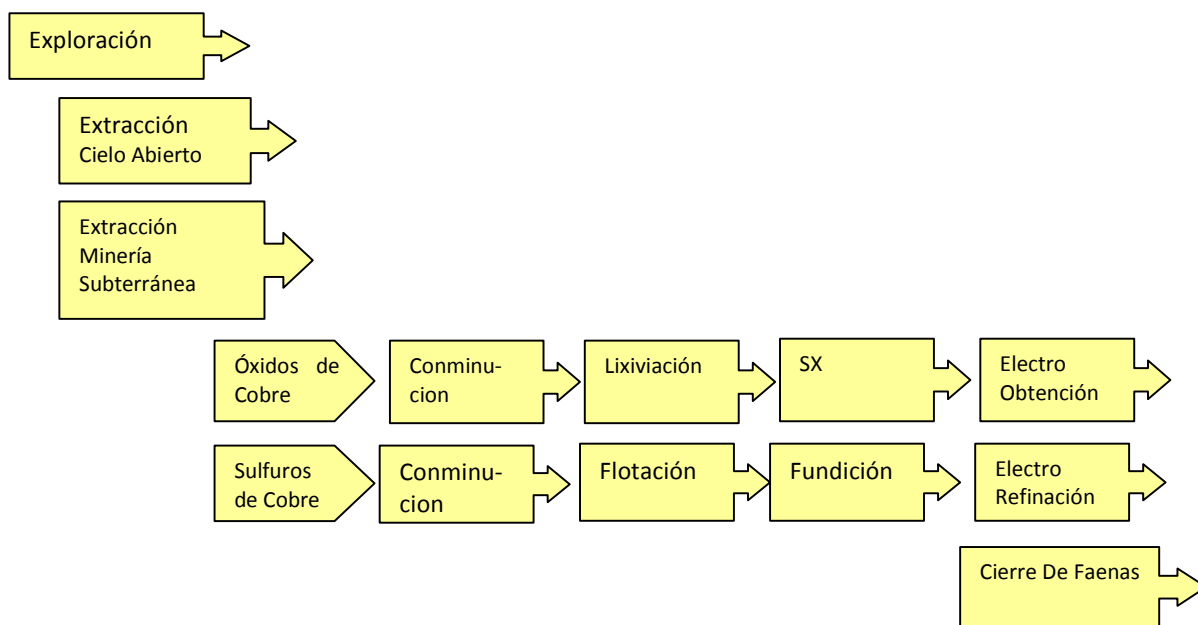
2.1.1 Estructura de la industria

El enfoque del presente estudio está centrado en la minería del cobre que, junto con su peso en el producto interno bruto y en las exportaciones del país, enfrenta desafíos tecnológicos que impactan en la demanda de telecomunicaciones. Por ello, se estima que la demanda de infraestructura de comunicaciones de la gran minería del cobre explica cerca del 100% de la demanda total de la minería del norte de Chile.

Las faenas mineras se pueden clasificar en primer lugar por el tipo de rajo: existen faenas a cielo abierto y faenas subterráneas. Esta clasificación resulta relevante en términos de estructura de costos y de tecnologías de comunicaciones al interior de la faena. Las tecnologías para comunicaciones a cielo abierto tienen especificaciones distintas a las de las tecnologías para comunicaciones al interior de túneles.

Una segunda clasificación se refiere al tipo de mineral presente en las rocas. Se distinguen óxidos y sulfuros, que requieren de procesos metalúrgicos diferentes. Sin embargo, para los fines de este estudio esta diferencia es menos relevante respecto de su impacto en la demanda de telecomunicaciones.

Figura 2-1 Estructura de producción de la minería del cobre en Chile



Fuente: (ADDERE, 2009)

Los encadenamientos productivos “hacia adelante”, es decir la industria de manufactura que utiliza el cobre como insumo, en Chile es poco significativa. El año 2015, de la cantidad utilizada en Chile para manufactura y semi-manufactura alcanzó a un 5% del total de cobre fino extraído

Desde el punto de vista del impacto a nivel nacional resultan más relevantes los encadenamientos “hacia atrás”, es decir los proveedores de la minería.

De acuerdo a estudios de la Cochilco, los insumos para operación más significativos son mantención y energía (eléctrica en mina subterránea, combustibles en mina a rajo abierto), como es posible observar en la Tabla 2-1 y Tabla 2-2 a continuación.

Tabla 2-1 Desglose OPEX Mina Cielo Abierto (%)

Mantención y Reparación (M&R)	42,7
Combustible (Petróleo y lubricantes)	28,6
Remuneraciones	11,2
Neumáticos	7,2
Tronadura	6,1
Energía Eléctrica	1,1
Gasto por Tolva	0,9
Agua	0,6
Perforación	0,5
Gasto por Llantas	0,4
Gasto por Baldes carguío	0,3
Gasto por Cables carguío	0,2

Fuente. (COCHILCO, 2016)

Tabla 2-2 Desglose OPEX Mina Subterránea (%)

Remuneraciones	40,6
Energía Eléctrica	13,7
Servicios de Apoyo a la Producción	9,4
M&R Infraestructura	7,1
M&R LHD; Camión; Jumbo	6,4
Petróleo y lubricantes	3,7
M&R Chancado Primario	3
M&R Sistema de Transporte Principal	3
Servicios a las Personas (Sueldos)	2,9
M&R Martillo	2,8
Servicio de Terceros (Buses transporte de personal)	2
Servicios de Terceros (Equipos utilitarios de servicio)	1,7
Servicios de Terceros (Sueldos operadores y mantenedores)	1,3

Fuente. (COCHILCO, 2016)

Se puede observar que los costos de comunicaciones no aparecen de manera explícita y desagregada en los costos de operación. No obstante, en la Tabla 2-3 y Tabla 2-4 aparece en mina subterránea que un 12% del capital está relacionado con comunicaciones y el ERP.

Tabla 2-3 Principales Insumos CAPEX Infraestructura y Equipos Mina (Mina Subterránea)

CAPEX Mina Subterránea	%
Sistema Control Equipos y Central	16
Cañería	8
LHD y Jumbos	6
Ventiladores	5
Switchgear	4
Sist. Apoyo Planificación y Operación Mina	4
Redes Administrativa e Integrada Super. Y ...	4
Sistema ERP	4
Sistema de Radiocomunicaciones	4
Cables	3
Control Chancado	3
Radieres	2
Equipos Inalámbricos	1
Sistema de Productividad Personal	1

Fuente. (COCHILCO, 2016)

Tabla 2-4 CAPEX Mina Cielo Abierto

CAPEX Mina Cielo Abierto	%
Equipos producción	49
Desarrollo Minero	33
Energía	5
Equipos perforación	5
Equipos apoyo	4
Construcción	3

Fuente. (COCHILCO, 2016)

Respecto de las características de los proveedores de minería, no existe una caracterización de éstos que sea sólida, si bien se han realizado esfuerzos en esa dirección.

“Existen carencias de información, lo cual no permite medir ni evaluar correctamente al sector de los proveedores de la minería. A su vez, esto impide cuantificar las oportunidades que ofrece la minería para que las fuerzas de mercado operen correctamente. El país no mide al sector de proveedores de bienes y servicios para minería. Se han hecho cuantificaciones aisladas que, al no ser permanentes, no permiten observar la dinámica de este sector.” (Cesco, 2014).

El estudio de caracterización que ha realizado Fundación Chile en el año 2014 (Fundación Chile, 2014) entrega las siguientes conclusiones:

- El sector de proveedores de la minería está compuesto principalmente por micro y pequeñas empresas (66%). Le siguen en número las medianas, que representan el 20% de los proveedores y las grandes empresas, con un 14%.
- El 34% de las empresas proveedoras se clasifican en el rubro Servicios de Soporte, seguido por Equipos y provisiones y Contratistas con 30% y 27% respectivamente y, por último el rubro Servicios de Ingeniería y Consultoría, que concentra sólo el 9% de los proveedores.
- El 62% de los proveedores tiene su casa matriz en la Región Metropolitana. Le sigue en proporción la Región de Antofagasta con 12% y la Región de Valparaíso con 8%.
- Para el año 2012 se observa que un 37% de los proveedores realiza más de un 60% de sus ventas a la minería, lo cual contrasta con un 30% que vende menos de un 20% a esta industria.
- El 17% de los trabajadores propios de las empresas proveedoras tiene título profesional y un 27% posee un título técnico.

Para los fines del presente estudio, los encadenamientos de los productores de cobre con los proveedores inciden en los flujos de datos administrativos. Dado que las características de dichos flujos pueden ser levantadas desde las empresas mineras y atendiendo al hecho de que los proveedores representan un conjunto muy heterogéneo, se estima que la información agregada desde las empresas mineras es la más robusta y certera.

2.1.2 Las empresas de la Gran minería en Chile

Existen 24 grandes faenas de explotación de cobre en Chile, de las cuales 7 son estatales. (Ventisca, 2016)

1. Cerro Colorado: En producción desde el año 1994, Primera Región, a unos 100 km al este de la ciudad de Iquique y a una altura de 2.600 m.
2. Quebrada Blanca: En producción desde el año 1994, Primera Región, a 170 km al sudeste de la ciudad de Iquique y a una altura de 4.400 m.
3. Collahuasi: En producción desde el año 1998, Primera Región, a 175 km al sudeste de la ciudad de Iquique y a una altura de 4.500 m.
4. El Abra: En producción desde el año 1996, Segunda Región, a 39 km al norte de la ciudad de Calama y a una altura de 4.000 m.
5. Radomiro Tomic: En producción desde el año 1998, Segunda Región, a 8 km al norte del yacimiento de Chuquicamata y a una altura de 2.800 m.
6. Chuquicamata: En producción desde el año 1915, Segunda Región, a 240 km de la ciudad de Antofagasta y a una altura de 2.800 m.
7. Ministro Hales: En operaciones desde el año 2010, Segunda Región, a 10 km de Calama.
8. Gabriela Mistral: En operaciones desde 1978, Segunda Región, a 120 km de Calama.
9. Michilla-Lince: En operaciones desde el año 1992, Segunda Región, a 70 km al sur de la ciudad de Tocopilla.
10. Mantos Blancos: En producción desde el año 1961. Actualmente explotan el rajo Santa Bárbara, que incorporó todas las operaciones mineras anteriores, y cuya producción

comenzó en 1995. Se ubica en la Segunda Región, a 45 km al noroeste de la ciudad de Antofagasta y a una altura aproximada de 1.000 m.

11. Lomas Bayas: En producción desde el año 1998, Segunda Región, a 110 km al noreste de Antofagasta y a una altura aproximada de 1.500 m.
12. Spence: En marcha el 2005, Segunda Región, a 140 km al noreste de Antofagasta y a una altura aproximada de 1.700 m.
13. El Tesoro: En producción desde el año 2001 Segunda Región, a 140 km al noroeste de Antofagasta en el distrito de Sierra Gorda, a una altura de 2.800 m.
14. Escondida: En producción desde el año 1991, Segunda Región, a 160 km al sudeste de Antofagasta, a una altura de 3.100 m.
15. Zaldívar: En producción desde el año 1995, Segunda Región, a 175 km al sudeste de Antofagasta.
16. El Salvador: En producción desde el año 1959, una vez agotado el yacimiento Potrerillos, Tercera Región a 120 km al este de Chañaral y a una altura de 1.700 m.
17. Manto Verde: En producción desde el año 1995, Tercera Región, a 40 km al interior de Chañaral.
18. La Candelaria: En producción desde el año 1994, Tercera Región, a 20 km al noreste de Copiapó.
19. Andacollo: En producción desde el año 1996, Cuarta Región, a unos 40 km al sudeste de Coquimbo, a una altura de 1.050 m.
20. Los Pelambres: En producción desde fines del año 1999, Cuarta Región, a 79 km al este de Salamanca, a una altura de 3.000 a 3.6000 m.
21. El Soldado: En producción desde 1942, Quinta Región, a 130 km al norte de Santiago, en la Comuna de Nogales.
22. Andina: En producción desde el año 1970, Quinta Región, a 50 km al noreste de Santiago, en el distrito de Saladillo, cercano a la ciudad de Los Andes, a una altura de 3.500 m.
23. Los Bronces: En producción desde el año 1925, Región Metropolitana, a 50 km de Santiago, a una altura de 3.500 m.
24. El Teniente: En producción desde el año 1906, Sexta Región, a 80 km al sur de Santiago, al interior de la ciudad de Rancagua.

Figura 2-2: Operaciones mineras junto a su ubicación y producción anual de Cu fino.

#	Yacimiento/Operación	Ubicación	Latitud	Longitud	Tipo	Holding Minero	Producción Anual (ton) de cobre fino
1	Cerro Colorado	Primera Región	-20.064°	-69.269°	Rajo	BHP Billiton	130,000
2	Quebrada Blanca	Primera Región	-21°	-68.8°	Rajo	Teck	50,000
3	Collahuasi	Primera Región	-68.70	-20.95°	Rajo	Anglo American plc / Glencore	450,000
4	El Abra	Segunda Región	-21.9°	-68.833°	Rajo	Freeport-McMoran	115,000
5	Radomiro Tomic	Segunda Región	-22.217°	-68.9°	Rajo	CODELCO	315,000
6	Chuquibambilla	Segunda Región	-22.291°	-68.902°	Rajo	CODELCO	308,000
7	Ministro Hales	Segunda Región	-22.221	-68.502	Rajo	CODELCO	238,305
8	Gabriela Mistral	Segunda Región	-22.503	-69.190	Rajo	CODELCO	125,009
9	Michilla-Lince	Segunda Región	-22.692	-70.194	Rajo /Subterránea	Antofagasta Minerals	50,000
10	Mantos Blancos	Segunda Región	-23.431°	-70.057°	Rajo	MantosCopper SA	50,000
11	Lomas Bayas	Segunda Región	-23.428°	-69.503°	Rajo	Glencore	75,000
12	Spence	Segunda Región	-22.799°	-69.261°	Rajo	BHP Billiton	120,000
13	El Tesoro	Segunda Región	-22.944°	-69.089°	Rajo	Antofagasta plc	145,200
14	Escondida	Segunda Región	-23.7054°	-70.4178°	Rajo	BHP Billiton	979,000
15	Zaldívar	Segunda Región	-23.6989°	-70.4178°	Rajo	Antofagasta Minerals/Barrick	125,000
16	El Salvador	Tercera Región	-26.2167°	-69.6°	Rajo/Subterránea	CODELCO	48,582
17	Manto Verde	Tercera Región	-26.5667°	-70.3167°	Rajo	MantosCopper SA	52,000
18	La Candelaria	Tercera Región	-27.510555°	-70.30055°	Rajo/Subterránea	Lundin Mining	153,000
19	Andacollo	Cuarta Región	-30.25472222°	-71.1047222°	Rajo	Teck	73,000
20	Los Pelambres	Cuarta Región	-31.7780555°	-70.54194444°	Rajo	Antofagasta Minerals	363,200
21	El Soldado	Quinta Región	-32.654667°	-71.140222°	Rajo	Anglo American plc	35,840
22	Andina	Quinta Región	-33.0617°	-70.2505°	Rajo/Subterránea	CODELCO	232,444
23	Los Bronces	Región Metropolitana	-33.4691°	-70.642°	Rajo	Anglo American plc	401,715
24	El Teniente	Sexta Región	-34.1°	-70.3333°	Subterránea	CODELCO	471,157

Fuente: elaboración propia basado en fuentes diversas.

2.1.3 Las empresas de la mediana minería en Chile

La mediana minería Chilena, es un segmento bastante acotado que en función de la definición con la que se catalogue sube o baja el número de empresas que son parte de este grupo.

De acuerdo a (COCHILCO, 2015) hay tres definiciones para la mediana minería:

- Sernageomin: define de acuerdo al número de trabajadores y las horas trabajadas por ellos (entre 80 y 400 trabajadores o entre 200.000 y 1.000.000 de horas trabajadas anualmente).
- Instituto de Ingenieros de Minas de Chile (IIMCh): define en base a producción, en que la explotación sea entre 300 y 8.000 toneladas de mineral al día, equivalente a menos de 50.000 toneladas de cobre fino por año.
- Enami: en base a producción, son aquellos que venden en forma individual más de 10.000 toneladas de minerales o su equivalente en productos mineros. Sonami utiliza las definiciones de la (Tabla 2-5 Definición de sectores de la minería Tabla 2-5), similar a las recomendaciones del IIMCh. Sin perjuicio de esto, las definiciones mencionadas a lo largo del presente estudio dependerán de la fuente que provee los datos.

Fuente: (SONAMI, 2014)

Tabla 2-5 Definición de sectores de la minería

Sectores	Extracción de Mineral (*)	
	Ton / año (*)	Ton Equiv. / mes
Gran Minería	Sobre 3.000.000	Sobre 250.000
Mediana Minería	100.000 – 3.000.000	8.000 – 250.0000
Pequeña Minería	Menor a 100.000	Menor a 8.000

Fuente: (SONAMI, 2014)

(*) Tratándose de minería del cobre, la producción de la faena más grande de los medianos sería del orden de 40.000 a 50.000 ton/año de cobre fino (depende de la ley del mineral y de la recuperación). De la revisión de diversas normativas y otras definiciones, el corte de la pequeña minería se sitúa en 5.000 o 10.000 ton/mes de mineral.

Este segmento está compuesto por aproximadamente 30 compañías, cuyos yacimientos se encuentran mayoritariamente en el norte de Chile. Las principales empresas son las siguientes:

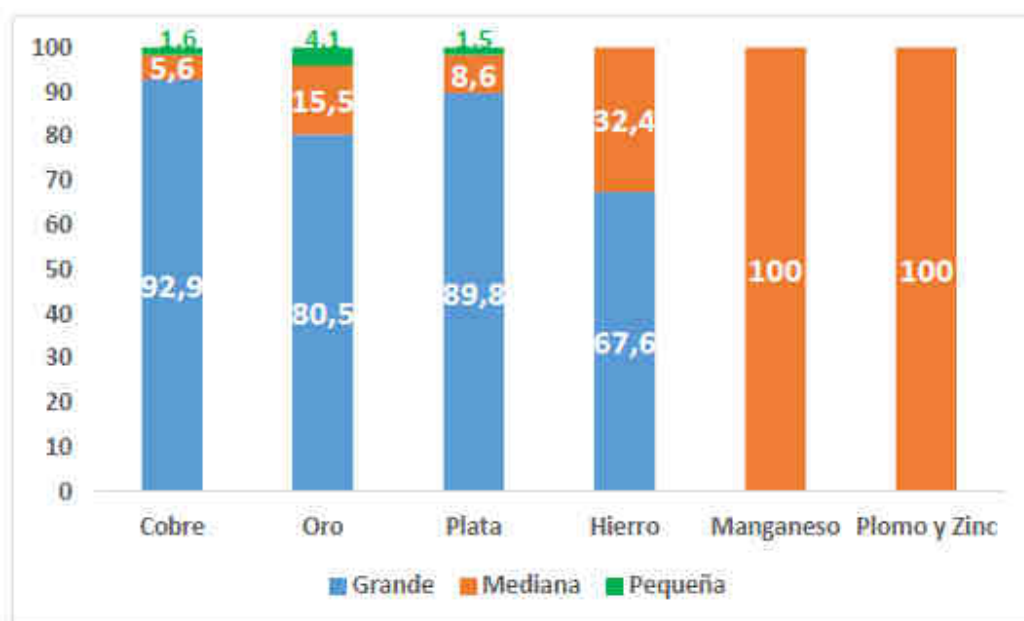
- Minera Atacama Kozan – Concentrados de cobre
- Minera Carola – Concentrados de cobre
- Minera Coyancura - Minerales sulfurados de Cobre
- Minera Hoschild - Minerales sulfurados de Cobre
- Minera Nutram - Concentrados de cobre
- Minera Ojos del Salado - Concentrados de cobre
- Minera Punta del Cobre - Concentrados de cobre

Los capitales de estas compañías son principalmente nacionales y la mayoría de estas empresas tienen mayor dificultad para acceder a financiamiento bancario para llevar a cabo proyectos importantes en comparación con la gran minería. Para sus locaciones, son importantes generadores de empleo directo e indirecto.

En ciclos de precios bajos debe tener la capacidad financiera para mantener la continuidad de la compañía, mientras que, en ciclos de precios altos, la mediana minería debe competir con la gran minería en materia laboral e insumos.

La valorización de la producción de este sector es similar o mayor a la registrada por otras industrias tradicionales de la economía chilena como la celulosa, vitivinícola, salmonera y forestal, según se observa en la Figura 2-3:

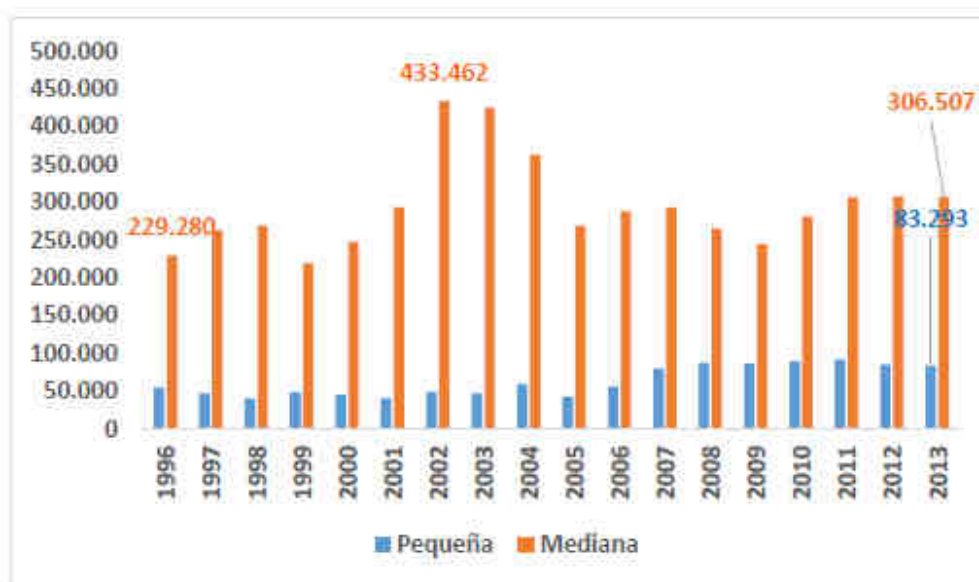
Figura 2-3 Participación porcentual por sector productivo (promedio 2011 – 2013)



Fuente: (Sernageomin, 2015)

A continuación, en la Figura 2-4 se presenta la producción de cobre de la pequeña y mediana empresa en toneladas métricas de fino (TMF). Se observa que la mediana minería alcanzó una producción de 306.507 TMF el año 2013, mientras la pequeña minería alcanza 83.293 TMF. Es interesante destacar el año 2002 en el caso de la mediana minería, donde la producción tiene el peak de 433.462 TMF, en el periodo considerado.

Figura 2-4 Producción de cobre de pequeña y mediana minería (TMF)



Fuente: (Sernageomin, 2015)

2.1.4 Ventajas competitivas frente a competidores internacionales

Existe consenso en que Chile es competitivo para la inversión, dentro del contexto de cobre.

Chile tiene ventajas competitivas respecto de otras naciones que han permitido desarrollar esta industria. Las más relevantes son:

- Gran experiencia en desarrollar, construir y operar las minas más grandes del mundo.
- Cultura minera, donde se planifica, ejecuta y opera basándose en la minería.
- Alto nivel de calificación de los trabajadores, técnicos, profesionales, empresarios y emprendedores.
- Localización de las operaciones, en especial la cercanía de los yacimientos a los puertos
- Una adecuada disponibilidad de infraestructura.

(SONAMI, 2014)

El informe de Cochilco, “Competitividad de la minería chilena del cobre” (COCHILCO, 2015) señala que “el análisis comparativo de la competitividad de Chile en el mercado internacional del cobre se basa fundamentalmente en dos pilares: el potencial geológico y el clima de inversión”

- “Las reservas de cobre de Chile tienen un potencial en la minería del cobre que suma 212 millones de toneladas de cobre fino, correspondiente casi al 30% del total mundial. Con ello es el país con más reservas en todo el mundo. Perú, por su parte, figura en el segundo lugar con 92 Mt, es decir, ni siquiera con la mitad del cobre fino presente en Chile

- La ley promedio de Chile es relativamente baja en comparación con los demás países lo que podría inducir una menor competitividad en cuanto a su potencial geológico. Sin embargo, las bajas leyes se compensan por las grandes extensiones de los yacimientos y finalmente el hecho de que es el país con mayor cantidad de reservas de cobre
- Si bien Chile tiene un costo laboral superior al de la mayoría de los países mineros éste se compensa por una mayor eficiencia en términos de producción (fracción de horas trabajadas en minería por país dividido por la producción nacional de cobre). En Chile se requiere una menor cantidad de horas hombres para producir la misma cantidad de cobre fino que en casi todos los países. Sólo Rusia muestra mejores cifras y se posiciona en el primer lugar con 12,8 horas hombres (HH) por mil toneladas en 2014, seguido por Chile (17,7 HH/kt) e Indonesia (18,7 HH/kt)” (COCHILCO, 2015)

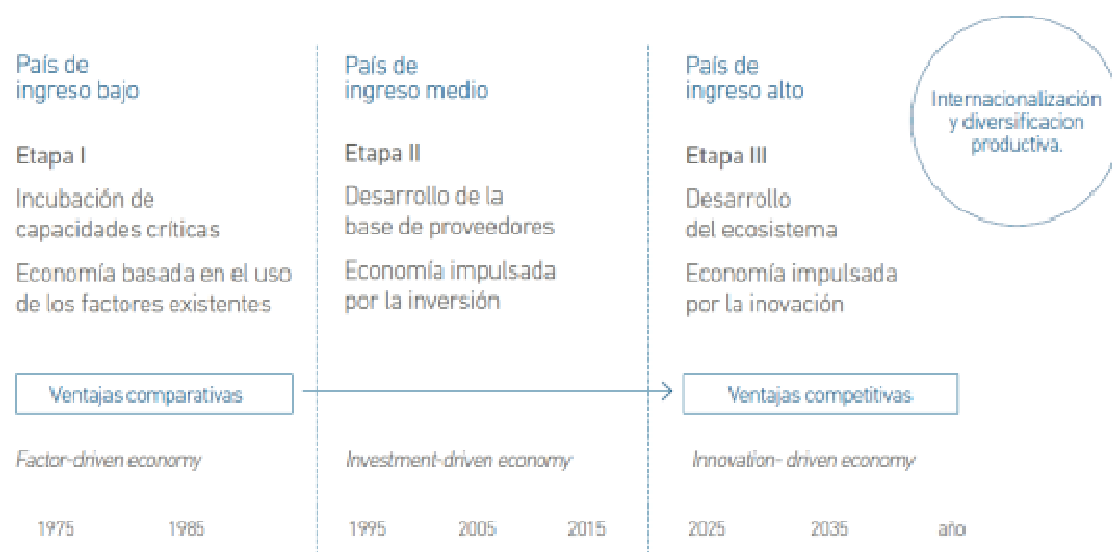
Sin embargo, una de las tareas pendientes para avanzar en las ventajas competitivas es el desarrollo de tecnología minera exportable, para lo cual en Chile se están llevando a cabo iniciativas en las que participan grandes empresas mineras, el sector público y empresas de base tecnológica chilenas.

Ahora bien, es importante destacar que Chile es un país referente en lo que respecta a servicios de operación remota y equipos autónomos, teniendo aplicaciones exitosas en algunas faenas como por ejemplo en El Teniente y Gabriela Mistral. Así mismo, el hecho de poder exportar este tipo de servicios no es tarea fácil, pues hay que tener en consideración las escalas en términos de producción entre faenas chilenas y extranjeras. Chile tiene las minas de cobre más grandes del Mundo, como también la infraestructura adecuada. Además existen ciertas restricciones comerciales, pues el exportar este tipo de tecnología es factible, pero el servicio en sí puede que las distancias o bien la inversión en infraestructura para poder llevar a cabo esto no sea rentable.

El ejemplo que se quiere seguir es Australia, en que los bienes y servicios intensivos en conocimiento y tecnología que se proveen a la minería, registran ventas anuales de US\$ 40.000 millones y exportaciones que representan un tercio de esa cifra.

Las ventajas competitivas de Chile están evolucionando desde una economía basada en el uso de los factores existentes hacia una economía impulsada por la innovación lo cual abre nuevas perspectivas para los innovadores nacionales (Figura 2-5).

Figura 2-5 Evolución de Las Ventajas Competitivas de la Minería en Chile



Fuente: Osvaldo Urzúa, 2016.

Fuente: (Fundación Chile, 2016)

Etapa I (Su inicio fue en la década de 1970)

En la primera etapa la principal fuente de competitividad de la industria fue su abundante dotación de minerales de alta calidad. Esta ventaja competitiva natural permitió ir desarrollando una actividad productiva competitiva, con escala y que se transformó en la principal fuente de exportaciones del país. En esta etapa, el acceso a soluciones y tecnologías más avanzadas fue básicamente a través de importaciones. Sin embargo, la base productiva en desarrollo junto con una mayor tercerización generó el punto de partida o primer impulso para el surgimiento de un sector de proveedores locales, lo que permitió generar nuevas relaciones productivas entre las compañías mineras y la economía local representada por este emergente sector de proveedores, aún de poca relevancia.

En esta etapa se comenzó a romper la estructura de enclave con la que operó la minería durante gran parte del Siglo XX.

Etapa II (Su inicio fue en los 1990s)

En la segunda etapa la principal fuente de competitividad se generará a partir de ganancias en eficiencia generada por una fuerte inversión para ampliar la base productiva, lo cual fue facilitado por un entorno habilitante de atracción de inversiones, cuyo impacto se vio reflejado en un aumento muy significativo de la inversión extranjera, lo que llevó a triplicar la producción de cobre en tan solo una década.

Aunque gran parte de la tecnología y diseños más avanzados todavía provienen del extranjero, localmente se proveen servicios cada vez más sofisticados. Los proveedores locales no sólo asimilan

tecnología extranjera, también comienzan a desarrollar la capacidad para mejorar la tecnología y hacer desarrollos propios. En esta etapa se incubaron las capacidades para el surgimiento del sector de STEM (servicios, tecnologías y equipos mineros), que en la próxima etapa debería desarrollarse con más fuerza para aprovechar su pleno potencial y dar origen a un nuevo sector exportador de tecnologías y conocimiento.

Probablemente hoy aún nos encontramos en esta etapa y existen algunos indicios que estamos enfrentando el proceso de transición hacia la Etapa III.

Sería prematuro declarar que el tránsito hacia la nueva etapa ya es un proceso consolidado, estamos enfrentando los desafíos y tensiones propios de todo cambio. ¿Seremos capaces de enfrentar con éxito las barreras de esta transición?

Etapa III (hoy se muestran las primeras señales)

En la tercera etapa, la capacidad de producir soluciones innovadoras se convierte en una fuente significativa de ventajas competitivas. El capital geológico, aún muy abundante pero de menor calidad, acompañado de capacidades tecnológicas, organizativas e institucionales superiores, permiten sostener un proceso permanente de aumento de productividad y de desempeño ambiental y social, lo que constituye la base de la competitividad de la industria.

En esta etapa el entorno empresarial que se ha ido perfeccionando puede enfrentar las demandas locales que son más sofisticadas. Existen industrias de apoyo con capacidades para enfrentar los retos de competitividad y sustentabilidad.

Alto niveles de capacidades no se desarrollan en todos los ámbitos, más bien en un grupo particular de STEM donde el conocimiento, experiencia y sistemas habilitantes de apoyo (factores del entorno) permiten hacer frente a demandas sofisticadas de la minería.

En estos grupos o sectores de STEM existen instituciones e incentivos que apoyan los procesos de innovación para que las empresas proveedoras desarrollen ofertas competitivas basadas en capacidades únicas que les permiten desarrollar estrategias diferenciadoras y que a menudo son de alcance mundial. En esta etapa se consolida un sector de STEM basado en la innovación, que se caracteriza por sus productos distintivos y que es más resistente a los choques externos.

2.1.5 Una hoja de ruta (ROADMAP) para la etapa III

Como se mencionó anteriormente, el contexto actual muestra un claroscuro respecto de la etapa en que se encuentra la industria. Se necesita una estrategia que ayude a generar las condiciones para hacer dicho tránsito.

La Hoja de Ruta Tecnológica busca establecer una agenda de trabajo para darle profundidad y sistematicidad a un proceso colectivo de aprendizaje o construcción de capacidades en todos los actores de la industria, todos deben aprender y se debe cuidar lo alcanzado.

La Hoja de Ruta debe ser vista como un proceso de largo plazo que está en permanente revisión y que se monitorea y actualiza periódicamente. Requiere de múltiples y significativos esfuerzos que sólo son posibles de abordar con un alto grado de coordinación y colaboración público-privada.

En la Etapa III reside la gran oportunidad de desarrollo de productos de alto valor entorno al cobre, que es muy superior a las oportunidades generadas por un mayor grado de procesamiento o

manufactura de cobre. El país enfrenta una ventana de oportunidad temporal que demanda actuar con sentido de urgencia.

2.1.6 Tendencias históricas de productividad

De acuerdo a Cieplan (Arellano, 2012) , la productividad por trabajador en la minería del cobre ha caído en cerca de 37% entre el 2003 y el 2011.

Esta baja de productividad tiene su origen en:

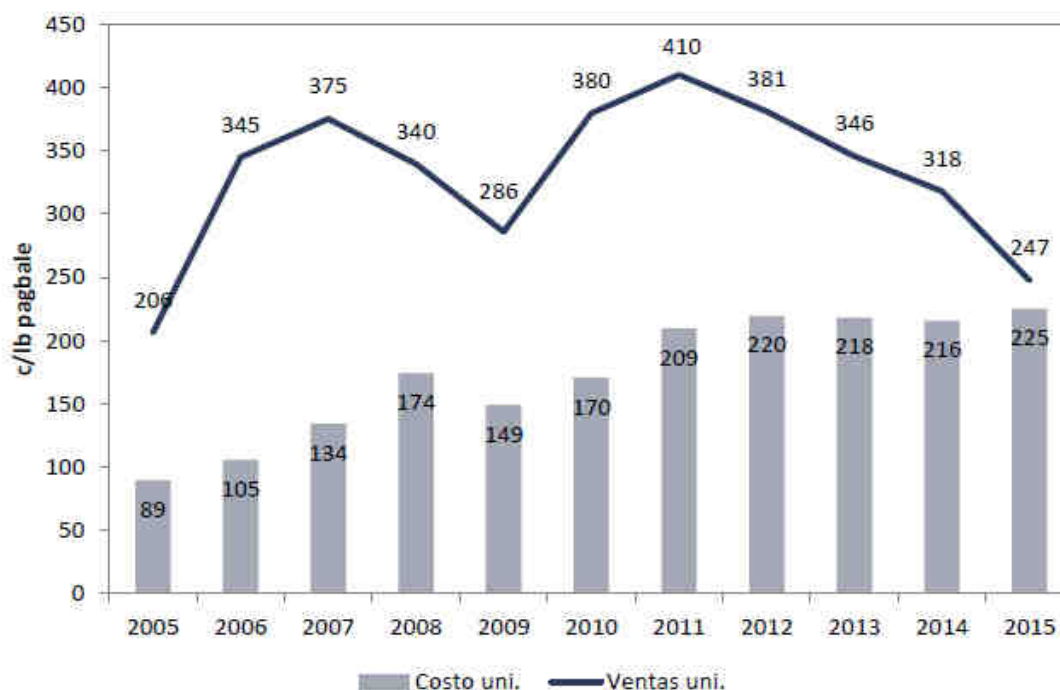
- Baja de leyes del mineral: las leyes han disminuido desde 1,10% el 2003 a 0,89% el 2011.
- Aumento de consumo y costos de energía y combustibles: el consumo de energía por tonelada de cobre fino producido se elevó en 25% entre 2003 y 2011 en el proceso de extracción del mineral y en más de 40% en las concentradoras

Se estima sin embargo que en los últimos años la baja del precio internacional del petróleo así como el recurso a nuevas energías moderará el efecto del costo de la energía en la productividad.

Cochilco realizó una caracterización de los costos totales de operación según el tipo de procesamiento, entre aquellas asociadas a la lixiviación de mineral oxidado, concentración de mineral sulfurado o aquellas de producción mixta. En términos promedios, tal como indica la

Figura 2-6, el costo operacional total se ubicó en 225 c/lb, lo que significó un aumento de un 4,4% respecto a los valores del año 2014. Del total de 26 operaciones y empresas contenidas en la muestra, 14 disminuyeron sus costos operacionales en promedio un 10,8% (230 c/lb a 205 c/lb). Por otro lado, 104 operaciones aumentaron sus costos, a una tasa de 12,3% (203 c/lb a 228 c/lb). Considerando el casi nulo efecto neto entre las operaciones que disminuyeron y las que aumentaron sus costos en el período (48% y 50% de la producción de la muestra respectivamente), las nuevas operaciones apoyaron la subida de los costos promedio considerando sus etapas de puesta en marcha.

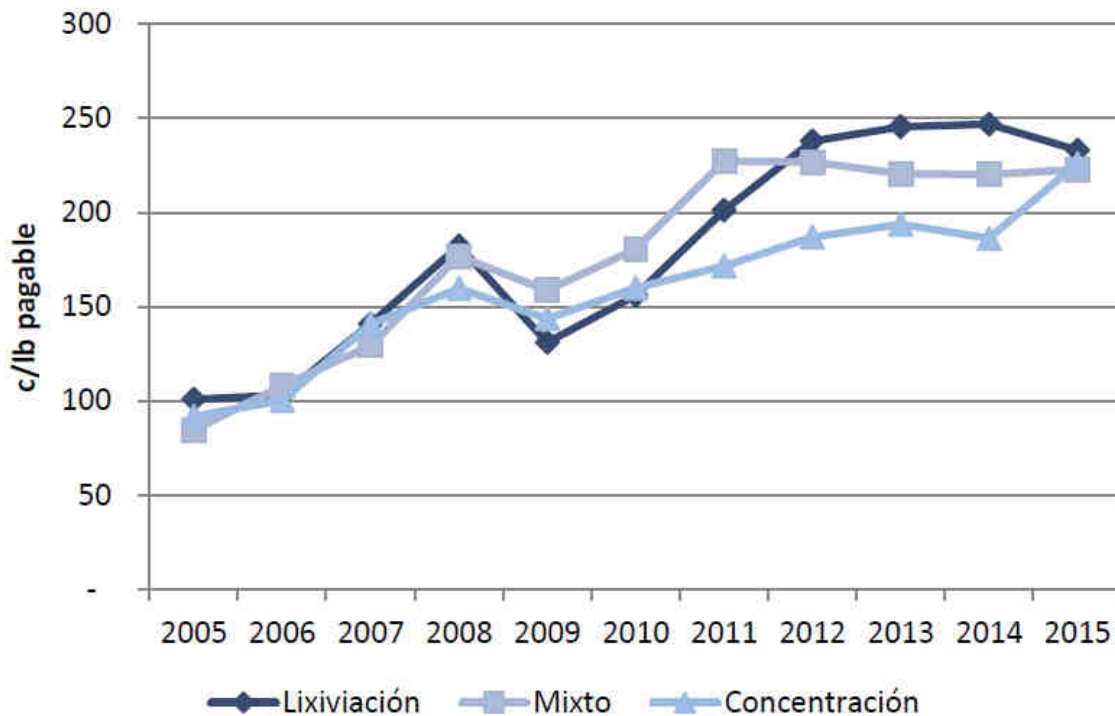
Figura 2-6 Evolución de costos operacionales y ventas unitarias de la minería del cobre en Chile, 2005-2015.



Fuente: (COCHILCO Estadísticas, 2016).

El gráfico anterior también da cuenta del efecto que tuvo la caída del precio de los metales en las ventas unitarias de las empresas mineras, las que cayeron un 22,2% con respecto al 2014. Las ventas unitarias corresponden a la razón entre a las ventas totales de productos mineros de las empresas (incluyendo subproductos) y la cantidad de cobre pagable que éstas generan. Los datos de variación de costo operacional indicados en la Figura 2-7 muestran un comportamiento disímil entre las operaciones. Por un lado, las operaciones de lixiviación que en años pasados se ubicaban entre las de mayores costos, disminuyeron sus costos unitarios un 5,6%, bajando de 247 c/lb a 233 c/lb. Por otro lado, las operaciones de concentración, aumentaron sus costos promedio en un 21,3%, un salto explicado por los mayores costos que provienen de las operaciones de concentración que estuvieron en etapas de comisionamiento durante el 2015.

Figura 2-7 Evolución de costo operacional según tipo de procesamiento, 2005-2015.

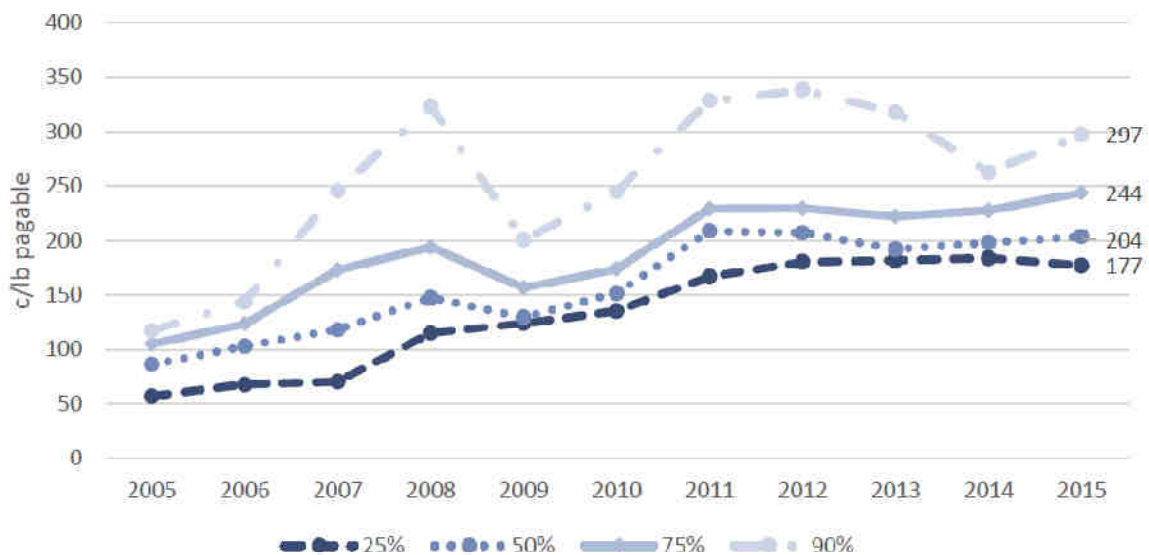


Fuente: (COCHILCO Estadísticas, 2016).

La Figura 2-8 muestra el comportamiento de la producción chilena de cobre, destacando los distintos percentiles de costos. Cada serie muestra el costo promedio bajo el cual se encuentra el porcentaje de producción respectivo, permitiendo inferir la curva de oferta de cobre de Chile. En particular, para el año 2015, se observó que el 25% de la producción de menor costo en el país alcanzó un costo operacional promedio de 177 c/lb, disminuyendo un 3,6% respecto al 2014. Contrariamente a lo que ocurre con el percentil 25, el percentil 90 reflejó un aumento de 13,4% desde el 2014, llegando a 297 c/lb.

El gráfico también indica la mayor variabilidad que tienen las operaciones de mayor costo, conviviendo de manera marginal a los ciclos de precio y contrastando con la estabilidad que muestran los costos de los percentiles 25, 50 y 75 de la producción nacional.

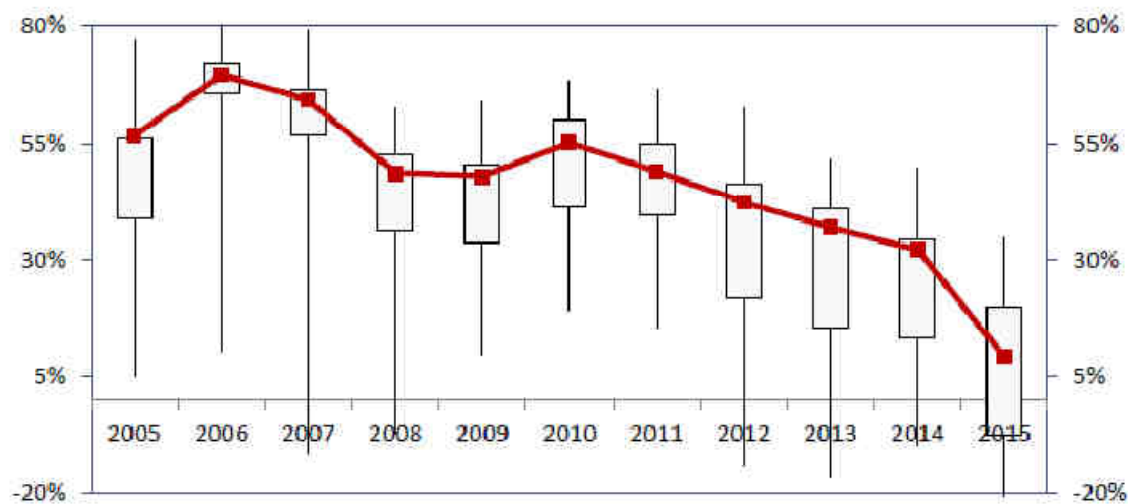
Figura 2-8 Evolución de percentiles de costos operacionales (25, 50, 75, 90) de la minería chilena del cobre, 2005-2015.



Fuente: (COCHILCO Estadísticas, 2016) .

Vale la pena destacar el efecto global que ha tenido la caída de las ventas de productos mineros y el comportamiento de los costos en los márgenes operacionales de las compañías mineras. En promedio, tal como muestra la Figura 2-9, durante el 2015 el margen experimentó una abrupta caída a un 9% sobre las ventas, desde un 32% el año 2014. De las 26 empresas y operaciones de la muestra, se llegó a 9 que experimentaron márgenes negativos, mientras que solo 3 los registraron el año 2014.

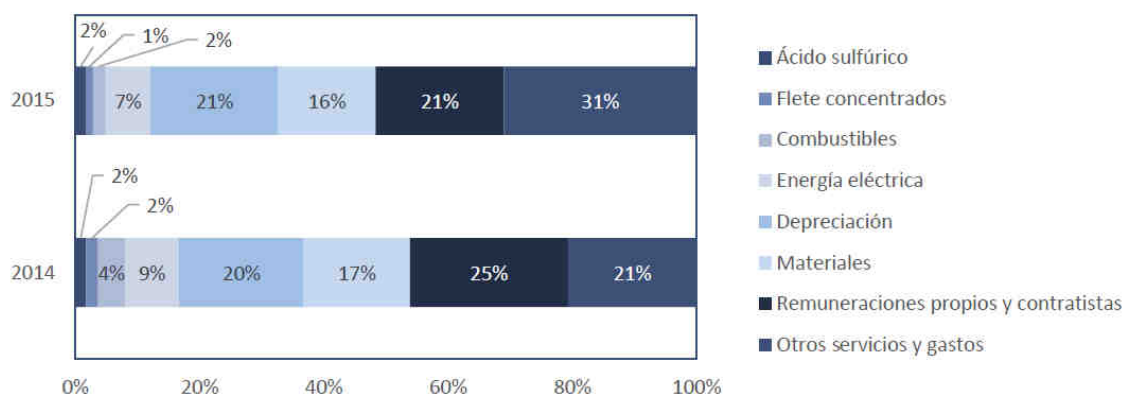
Figura 2-9 Evolución de márgenes operacionales de empresas productoras de cobre en Chile, 2005-2015.



Fuente: (COCHILCO Estadísticas, 2016)

En términos de composición del costo operacional, entre los años 2014 y 2015 se apreció una caída en la participación de las remuneraciones (caída de 4%), energía (eléctrica y combustibles, ambos con una caída de 2%), flete (caída de 1%) y de los materiales (caída de 1%). La caída de estos fue compensada principalmente por el aumento de otros servicios y gastos que aumentó su participación en un 10% y en menor medida por un aumento de la depreciación (aumento de 1%).

Figura 2-10 Composición del costo operacional 2014-2015.



Fuente: (COCHILCO Estadísticas, 2016)

2.1.7 Proyectos de inversión de la minería en Chile

La Comisión Chilena del Cobre estima que la inversión en proyectos mineros en el período 2015 – 2024, si se considera la cartera de proyectos de base y los más probables, está compuesta por 53 proyectos mayores de 90 millones de dólares de inversión, que suman un requerimiento de inversión de 104,8 mil millones de dólares, de los cuales se estima que el 16% ya ha sido gastado en los proyectos antes del presente año 2014, que el 47% se desembolsaría entre 2014 y 2018, con un promedio anual cercano a los 10 mil millones de dólares. El restante 37% lo sería del 2019 en adelante.

Los proyectos son del tipo de reposición de la capacidad productiva, de expansión de la capacidad para mantener su competitividad en el largo plazo o el desarrollo de un nuevo yacimiento, en función del propósito de las compañías para emprenderlos. La siguiente tabla muestra la distribución de la inversión por sector minero y tipo de proyecto (COCHILCO, 2015)

Tabla 2-6 Distribución de la inversión del sector minero

Distribución de la inversión en la minería chilena por sector y condición de los proyectos

Sector minero	Total sector		Base		Probable		Posible		Potencial	
	Cantidad Proyectos	Inversión (MMUS\$)	Cantidad Proyectos	Inversión (MMUS\$)	Cantidad Proyectos	Inversión (MMUS\$)	Cantidad Proyectos	Inversión (MMUS\$)	Cantidad Proyectos	Inversión (MMUS\$)
Codelco	8	28.656	4	12.817	0	0	3	13.148	1	2.891
Gran minería	17	35.785	5	7.451	6	4.404	9	8.840	3	15.090
Mediana minería	4	2.073	1	152	1	597	1	624	1	700
Plantas metalúrgicas	2	521	2	521	0	0	0	0	0	0
Sub total cobre	31	67.035	12	20.941	7	5.001	7	22.612	5	18.481
Oro y plata	5	5.531	0	0	2	4.450	3	1.081	0	0
Hierro	3	3.176	1	198	1	90	1	2.888	0	0
Minerales industriales	5	1.548	0	0	1	665	2	883	0	0
Sub total otros minerales	13	10.255	1	198	4	5.205	6	4.852	0	0

Fuente: Elaborado en Cochilco, sobre la base de los antecedentes de cada proyecto de fuentes públicas

Fuente: (COCHILCO Estadísticas, 2016)

2.1.8 Requerimientos de tecnologías de la información y comunicaciones para la minería en Chile

Luego de un ciclo de altos precios del cobre en el mercado mundial, la minería del cobre y sus subproductos (molibdeno, oro, plata) se enfrentan a desafíos productivos cuya resolución requiere de cambios tecnológicos y en particular en lo que respecta a las tecnologías de la información y telecomunicaciones.

Los principales problemas que enfrenta la minería son:

- Bajo precio del cobre en el mercado mundial
- Costos de producción altos
- Bajas leyes del mineral
- Exigencias medioambientales
- Escasez de agua en zonas de alto estrés hídrico.

En un nivel mundial, AMIRA (Asociación de Compañías Independientes de la Industria Minera) en donde participan las grandes empresas de cobre del mundo, Anglo American, BHP-Billiton, Codelco,

Phelps Dodge, Antofagasta Minerals, Mount Isa Mines, WMC y RTZ, estableció el “**Roadmap tecnológico del cobre**” que plantea las siguientes prioridades a nivel global:

Principales prioridades globales del Mapa de Ruta tecnológico del cobre
Máxima prioridad: Optimización del proceso de la mina hasta el metal (Mine-to-Metal Optimisation) ⁴ Modelo Integrado de Sustentabilidad. ⁵
Alta Prioridad Control en tiempo real del proceso en su totalidad. Base de Datos para compartir el conocimiento Diseño considerando el cierre de minas.
Fuente: (AMIRA, 2004)

Junto con señalar que hoy día existen desafíos transversales a todo el proceso minero metalúrgico, es importante destacar que la estrategia de las grandes empresas productoras de cobre es migrar desde la adopción de soluciones TIC puntuales hacia soluciones integradas (ADDERE, 2009) 6.

En Chile, el Programa Nacional de Minería Alta Ley⁷ estableció una hoja de ruta en la que destaca el concepto de Minería Inteligente.

“Gran parte de las soluciones y líneas de I+D identificadas en la presente HRT (Hoja de Ruta Tecnológica) requieren de la incorporación de tecnologías de la información y las comunicaciones, con capacidades avanzadas de monitoreo, control, optimización, operación remota y funcionamiento autónomo. Aplicadas a la industria minera, estas tecnologías se enmarcan en lo que se ha definido como minería inteligente: faenas autónomas que, a través del análisis y monitoreo de información, maximizan la eficiencia de los procesos y minimizan la exposición de los trabajadores a situaciones de riesgo. La adopción de tecnologías inteligentes le permitirá a la minería mejorar su productividad a través de una mejor planificación y coordinación de las actividades” (Programa Nacional de Minería Alta Ley, 2015).

En la sección de “Captura y comunicación en tiempo real de variables críticas para el depósito y su entorno”, las líneas definidas son:

⁴ “The concept of mine-to-metal optimisation is to integrate many technical elements of mining and processing technology. Better understanding of key mining, metallurgical, and operational parameters including ore body characterisation, economical particle transfer, material movement, and energy use patterns will help create the framework for development of the model” (AMIRA, 2004)

⁵ “The objective is to develop and test an Integrated Sustainability Model featuring meaningful metrics, capable of traditional project evaluation based on discounted cash flow analysis and broader sustainability issues, including economic, social, and environmental aspects that will fully account for sustainability, closure costs, and other benefits and liabilities”. (AMIRA, 2004)

⁶ ADDERE, Estudio de Identificación de Oportunidades para la Industria de Tecnologías de Información y Comunicaciones en el Cluster Minero, 2009.

⁷ El Programa Nacional de Minería Alta Ley, es una iniciativa público-privada impulsada por CORFO y el Ministerio de Minería, que se desarrolla dentro de los Programas Estratégicos Nacionales de CORFO.

- Definición de estándares seguros para la implementación de redes locales/operacionales.
- Desarrollo de interfaz comunicacional operador-comunidad-proceso.
- Perfeccionamiento y desarrollo de modelos fenomenológicos.
- Desarrollo de sensores para medición de variables críticas en línea

2.2 Incorporación de tecnologías de comunicaciones en la industria minera

La industria minera a lo largo de los años ha ido incorporando nuevas tecnologías que han incrementado el requerimiento de transferencia de datos en tiempo real. A su vez esto ha gatillado la necesidad de incorporar en las inversiones, ya sea en plantas existentes o en futuras operaciones, las condiciones técnicas para asegurar una transmisión confiable e ininterrumpida con el fin de incrementar productividad, seguridad y eficiencia.

Estos requerimientos se traducen en un sin número de protocolos, formatos, interfaces, estándares que actualmente proliferan en las operaciones mineras, en muchas de ellas indiscriminadamente, sin tener una estandarización que permita de forma simple y rápida integrar nuevas tecnologías.

Hoy en día la minería debe tener una visión a futuro en cuanto a como la tecnología transformará sus operaciones unitarias, los stakeholders y su cadena de suministro. Para aquello, la solución proviene de la incorporación de automatización e integración de la información, con un conocimiento basado en la optimización en tiempo real de los procesos. El desafío actual es prever la infraestructura futura para poder dar cabida a esto dado los grandes volúmenes de datos que se generan día a día, la necesidad de capturarlos, procesarlos y transmitirlos con el fin de generar información. (ABB, 2015)

De acuerdo a (ABB, 2015), en cuanto a minería inteligente refiere, los desafíos más importantes de hoy y mañana, son en gran parte la:

- Generación y transmisión a distancia de grandes volúmenes de datos para monitoreo y control de los procesos, mantención predictiva y gestión.
- Alta disponibilidad de los canales de transmisión entre el yacimiento y Centros de Gestión remotos.
- Alta fiabilidad de los enlaces. En el caso de la teleoperación (minería remota), la caída de una fibra óptica podría significar la detención de un proceso con las consecuentes pérdidas económicas.
- Requerimientos de espectro radioeléctrico y homogenización de este, en cuanto a quien provee el servicio de conectividad para la transmisión de datos, junto con la tecnología de transmisión.
- Problemas de homologación de equipamientos de sensorización de diferentes desarrolladores, los cuales no estandarizan sus equipamientos de forma armónica con otros desarrollos.

Fuente: (ABB, 2015)

A modo de ejemplo, uno de los elementos más relevantes para los efectos del presente estudio está en la definición de las políticas Tecnológicas (TICA) Corporativas de CODELCO.

Las líneas más relevantes de esta política han sido expuestas por Marco Orellana. Gerente Corporativo TICA de Codelco (Orellana, 2010), líneas que se citan a continuación:

1. La implementación de una infraestructura de comunicaciones global para CODELCO que unifica todas las prestaciones a la compañía (voz, video y datos), utilizando tecnología Fotónica. El tema de conectividad es base para un desarrollo mayor
2. La consolidación de SAP como la herramienta transaccional de la compañía. Hoy en día los procesos administrativos y de apoyo se sustentan en esta herramienta de forma única e integrada
3. La renovación de los sistemas de automatización, particularmente en plantas concentradoras, generando un modelo común de gestión
4. La integración de las operaciones mineras en salas de control centralizadas, lo que viene a permitir la prevalencia de nuevos modelos para la operación y gestión de nuestros yacimientos
5. La implantación Corporativa de una plataforma de gestión operacional - PI System
6. Desde un punto de vista tecnológico se estaría apuntando a la consolidación e integración de Infraestructura TI (Informática, telecomunicaciones, automatización). Consolidando Salas, servidores y evaluando el uso potencial de soluciones tipo cloud computing para servicios específicos.

Buscamos también que los proyectos estructurales considere el tele-trabajo, la operación remota y la integración de operaciones como elementos básicos del diseño de los nuevos modelos de negocio que gobernarán el CODELCO del futuro. Queremos incorporar tempranamente aquellas tecnologías que nos permitan innovar, por ejemplo, en los modelos tradicionales de Mantenimiento, pensando en un mantenimiento just in time o en una redefinición completa de la relación entre operación y mantención. En definitiva queremos dar un paso en la senda de lograr el concepto de “Minería Inteligente” que hace algún tiempo levantamos como target de la estrategia.

En el caso de la operación a distancia si bien el foco inicial ha sido efectuar desde un lugar distante lo que antes necesariamente debía ejecutarse en la faena misma, la evolución natural debiese ser hacia nuevos modelos de operación en donde ya no solo mecanicemos lo que hacemos si no que lo reinventemos a partir de estas tecnologías habilitantes. En este rediseño la integración de procesos tanto como el atacar la variabilidad del conjunto jugarán roles claves y es por ello que creemos que existe aquí una gran oportunidad para desarrollar soluciones que correlacionando variables, hasta ahora desintegradas, generen un espacio aun no tocado para nuevos modelos de gestión y creación de valor en Minería. (Orellana, 2010)

2.3 Generación y Transporte de Datos en la Gran Minería

En las tablas Tabla 2-7, Tabla 2-8 y Tabla 2-9 a continuación es posible apreciar la producción acumulada de las faenas más importantes del país en cuanto a producción de cobre fino, como también los anchos de banda disponible por yacimiento de acuerdo a sus operaciones unitarias.

Tabla 2-7: Aporte anual acumulado de las diversas empresas mineras de cobre

Empresa	Production 2015 [kMT Copper]	% total	% acumulado
Escondida	1152,5	0.2	0.2
Codelco - Chuqui, RT y MH	862,6	0.15	0.35
Codelco - Teniente	471,2	0.08	0.43
Collahuasi	455,3	0.08	0.51
Anglo American Sur	437,8	0.08	0.59
Los Pelambres	375,8	0.07	0.65
Codelco - Andina	224,3	0.04	0.69
Spence	175,6	0.03	0.72
Candelaria	150,2	0.03	0.75
El Abra	147,2	0.03	0.77
Esperanza	145,2	0.03	0.8
Codelco - Gaby	125	0.02	0.82
Anglo American Norte	106,3	0.02	0.84
Zaldivar	103,4	0.02	0.86
El Tesoro	75,9	0.01	0.87
Cerro Colorado	74,4	0.01	0.88
Lomas Bayas	70,6	0.01	0.89
Codelco - Salvador	48,6	0.01	0.9
Quebrada Blanca	39,1	0.01	0.91
Others	523	0.09	1

Fuente: elaboración propia

Tabla 2-8 Anchos de banda disponible de transporte de alta velocidad por Yacimiento Minero

#	Yacimiento/Operación	Mbps Procesos	Mbps Gestión	Mbps Control Automático	Mbps Teleoperación/O p.Autónoma	Mbps Comunicación
1	Cerro Colorado	200	200	N/A	1500	200
2	Quebrada Blanca	80	80	80	N/A	100
3	Collahuasi	150	150	200	N/A	150
4	El Abra	60	60	60	N/A	80
5	Radomiro Tomic	200	200	200	1500	200
6	Chuquicamata	400	400	400	10000	400
7	Ministro Hales	60	60	60	1200	60
8	Gabriela Mistral	50	50	50	1500	50
9	Antucoya	150	150	60	N/A	100
10	Mantos Blancos	50	50	60	N/A	50
11	Lomas Bayas	50	50	70	N/A	80
12	Spence	200	200	N/A	1500	200
13	Centinela	90	150	60	N/A	300
14	Escondida	240	240	N/A	1500	240
15	Zaldívar	100	150	60	N/A	100
16	El Salvador	100	200	200	1000	200
17	Manto Verde	70	70	70	N/A	70
18	La Candelaria	80	80	90	N/A	90
19	Andacollo	60	70	60	N/A	70
20	Los Pelambres	150	150	60	N/A	300
21	El Soldado	50	50	50	N/A	60
22	Andina	200	200	200	2500	200
23	Los Bronces	150	100	150	N/A	150
24	El Teniente	400	400	400	10000	400

Fuente: elaboración propia

Es importante notar que los campos “N/A” (No Aplica) corresponden a faenas que no poseen teleoperación y/o operación autónoma. Cabe destacar que la información fue entregada por expertos TICA de las diversas operaciones mineras bajo estricta confidencialidad.

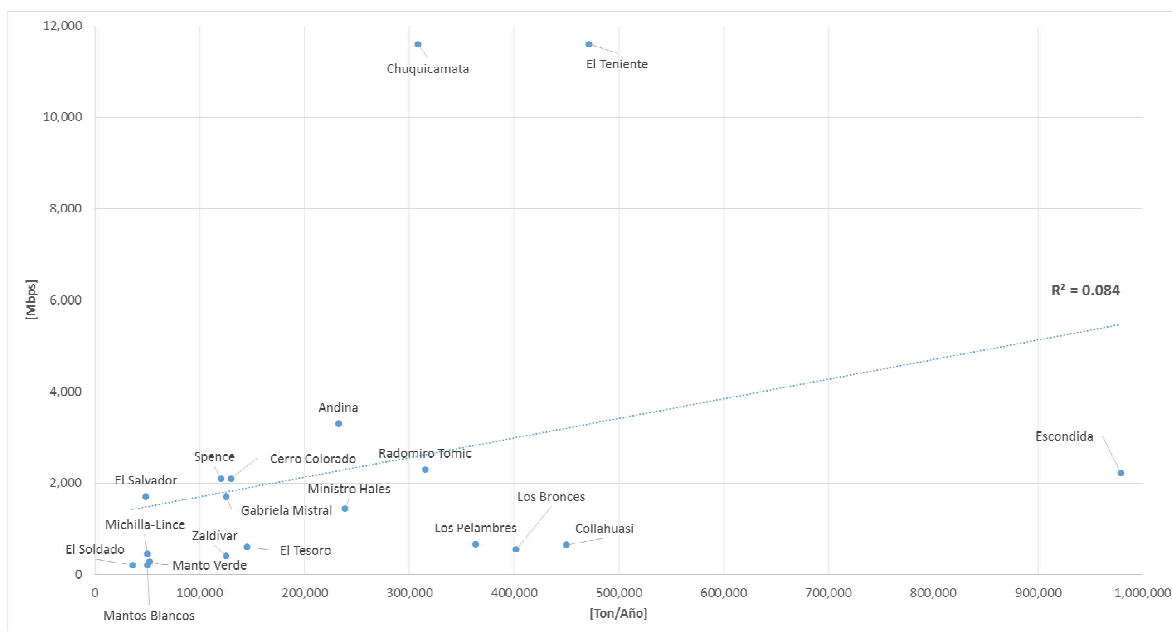
Tabla 2-9 Anchos de banda disponible por yacimiento.

#	Yacimiento/Operación	Producción Anual Cu Fino [Ton]	Anchos de Banda Disponible [Mbps]	[Mbps/Ton]
1	Cerro Colorado	130,000	2,100	0.016
2	Quebrada Blanca	50,000	340	0.007
3	Collahuasi	450,000	650	0.001
4	El Abra	115,000	260	0.002
5	Radomiro Tomic	315,000	2,300	0.007
6	Chuquicamata	308,000	11,600	0.038
7	Ministro Hales	238,305	1,440	0.006
8	Gabriela Mistral	125,009	1,700	0.014
9	Michilla-Lince	50,000	460	0.009
10	Mantos Blancos	50,000	210	0.004
11	Lomas Bayas	75,000	250	0.003
12	Spence	120,000	2,100	0.018
13	El Tesoro	145,200	600	0.004
14	Escondida	979,000	2,220	0.002
15	Zaldívar	125,000	410	0.003
16	El Salvador	48,582	1,700	0.035
17	Manto Verde	52,000	280	0.005
18	La Candelaria	153,000	340	0.002
19	Andacollo	73,000	360	0.005
20	Los Pelambres	363,200	660	0.002
21	El Soldado	35,840	210	0.006
22	Andina	232,444	3,300	0.014
23	Los Bronces	401,715	550	0.001
24	El Teniente	471,157	11,600	0.025

Fuente: elaboración propia

Para contextualizar el posterior análisis, es necesario indicar que no existe una relación directa entre producción y ancho de banda, es decir, no necesariamente una faena que posee una mayor producción de cobre fino induce en una utilización de ancho de banda mayor, como podemos ver en el gráfico a continuación:

Figura 2-11 Relación producción de cobre y ancho de banda requerido.



Fuente: elaboración propia

Del gráfico superior, es notoria la poca relación que tienen los datos, entregando un $R^2=0.084$, es decir, no hay correlación entre toneladas de cobre fino producidas y anchos de banda. Por otro lado, dada la alta variabilidad del consumo de anchos de banda, es difícil generar un indicador que represente a cabalidad las variables predominantes en el consumo de ancho de banda, pues va a depender del tiempo en que esté operando el equipo o sistema, la tecnología que posea, la cantidad de equipos en operación, entre otros, y eso depende de cada operación y de lo eficiente que sea en la utilización de los equipos.

Las tablas a continuación muestran los consumos estándar mínimos y máximos por equipos mineros y por equipos de control y supervisión. Es importante notar que estos rangos se dan dada la tecnología y antigüedad que presenten los equipos, claramente un equipo de última generación es muy probable que consuma mayor ancho de banda que un equipo más antiguo. Hoy en día los equipos cuentan con sensores para medir signos vitales, comunicación satelital y GPS, como también algunos son telecomandados o autónomos, requiriendo un mayor ancho de banda que los equipos convencionales.

Tabla 2-10 Consumo de transporte de datos de alta velocidad por equipos de control y monitoreo

Equipos Control y Monitoreo	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)
Equipos inalámbricos para sistema CCTV (CCTV HD)	3000	3000
Equipos inalámbricos para Telemetría Semáforos tormentas eléctricas	10	500
Equipos inalámbricos para Radares Ground Probe (estabilidad taludes)	6000	6000
Equipos inalámbricos para sensores de vibración	10	500
Equipos inalámbricos para sistema Terralite (posicionamiento)	2000	2000
Equipos estaciones meteorológicas	200	200

Fuente: elaboración propia

Tabla 2-11 Consumo de transporte de datos de alta velocidad por equipos mineros.

Equipos Mina	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)
CAEX (Camiones Extracción)	20	1500
Equipos Auxiliares	10	500
Perforadoras	1500	1500
Palas (Excavator)	2000	2000
Cargadores Frontales	20	1500
Martillos	500	1500
LHDs	100	2500
Jumbos	1500	1500
Ventiladores	100	500
Camiones Bajo Perfil	20	1500

Fuente: elaboración propia

Las tablas anteriores serán usadas para estimar las demandas de anchos de banda potenciales a 5, 10 y 20 años, considerando un catastro de equipos por yacimiento y un multiplicador ad hoc a la proyección futura del yacimiento en cuestión en base a los proyectos futuros en cartera de cada yacimiento.

2.4 Ubicación de los yacimientos y/o operaciones correspondientes a la gran minería; por tipo (superficie y/o subterráneo), por propietario (holding minero).

Esta información se encuentra en la Figura 2-12Figura 2-12 Ubicación de los yacimientos y/o operaciones correspondientes a la gran minería.

2.5 Categorías de tipos de datos que se trafican por la red

Considerando:

- Sistemas administrativos.
- Sistemas de control.
- Comunicaciones de videoconferencia o streaming de alta calidad.
- ERP.
- Sistemas de respaldo entre nodos.
- Conectividad con casa matriz internacional.

La información rescatada proviene de CODELCO, pues fue la única empresa que facilitó la información sin restricciones de confidencialidad. Para el análisis en cuestión se estima suficiente, CODELCO es un referente en lo que es utilización y capacidades de anchos de banda en minería, junto con alto nivel de tecnología instalado por esta empresa.

Figura 2-12 Ubicación de los yacimientos y/o operaciones correspondientes a la gran minería.



#	Yacimiento/Operación	Ubicación	Tipo	Holding Minero
1	Cerro Colorado	Primera Región	Rajo	BHP Billiton
2	Quebrada Blanca	Primera Región	Rajo	Teck Corp.
3	Collahuasi	Primera Región	Rajo	Anglo American plc / Glencore
4	El Abra	Segunda Región	Rajo	Freeport-McMoran
5	Radomiro Tomic	Segunda Región	Rajo	CODELCO
6	Chuquicamata	Segunda Región	Rajo	CODELCO
7	Michilla-Lince	Segunda Región	Rajo /Subterránea	Antofagasta Minerals
8	Mantos Blancos	Segunda Región	Rajo	MantosCopper SA
9	Lomas Bayas	Segunda Región	Rajo	Glencore
10	Spence	Segunda Región	Rajo	BHP Billiton
11	El Tesoro	Segunda Región	Rajo	Antofagasta Minerals
12	Escondida	Segunda Región	Rajo	BHP Billiton
13	Zaldívar	Segunda Región	Rajo	Antofagasta Minerals/Barrick
14	El Salvador	Tercera Región	Rajo/Subterránea	CODELCO
15	Manto Verde	Tercera Región	Rajo	MantosCopper SA
16	La Candelaria	Tercera Región	Rajo/Subterránea	Lundin Mining
17	Andacollo	Cuarta Región	Rajo	Teck Corp.
18	Los Pelambres	Cuarta Región	Rajo	Antofagasta Minerals
19	El Soldado	Quinta Región	Rajo	Anglo American plc
20	Andina	Quinta Región	Rajo/Subterránea	CODELCO
21	Los Bronces	Región Metropolitana	Rajo	Anglo American plc
22	El Teniente	Sexta Región	Subterránea	CODELCO

2.5.1 Sistemas administrativos

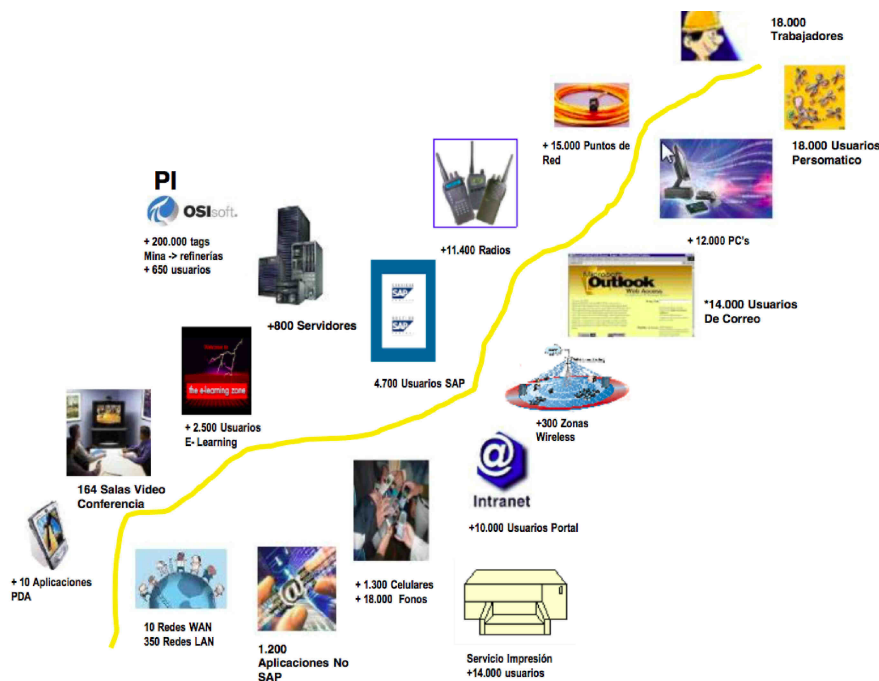
En general se hace la distinción entre dos tipos de redes, una WAN y LAN, las cuales permiten interconectividad entre equipos, la principal diferencia es que las redes LAN cubren áreas limitadas y poseen una mayor velocidad de transferencia de datos, en cambio las redes WAN cubren un área amplia pero cuentan con velocidades más reducidas. Las empresas estudiadas poseen una red Corporativa que manejan tráfico de datos en el rango de 1 [Gbps] – 10/20 [Gbps] a través de protocolos TCP/IP y Ethernet, con enlaces completamente exclusivos. Los sistemas administrativos cubren:

- Correos
- Acceso Internet
- Videos
- Telefonía
- Aplicaciones administrativas

Actualmente se utiliza un 20% - 25% de la capacidad disponible.

A modo de ejemplo, en la figura Figura 2-13 es posible apreciar la infraestructura TICA que posee CODELCO:

Figura 2-13 Infraestructura TICA de CODELCO



Fuente: (CODELCO, 2011)

Estudio de demanda de infraestructura de telecomunicaciones en el área geográfica de la Gran Minería del Norte y la Astronomía

REVISIÓN 4 - INFORME FINAL - ADDERE Ltda.

-36 -

2.5.2 Sistemas de control

Por otro lado, están las Redes de Control asociadas directamente a los procesos productivos cuyo objetivo es la disponibilidad y confiabilidad un nivel de 99,99%, esto es sumamente importante pues la operación no puede quedar stand-by, por ello los requerimientos por parte de las mineras en este ámbito es muy estricto. Estas redes, en lo que Codelco respecta transfieren volúmenes de datos mucho más reducidos, 1 [Mbps] o menor en datos de control. Para el caso de video de operaciones estos requieren de mayor ancho de banda, se mueven entre 2,5 [Gbps] - 10 [Gbps].

2.5.3 Comunicaciones de videoconferencia o streaming de alta calidad.

Los sistemas de videos, particularmente los CCTV, han tenido un fuerte crecimiento, con requerimientos > 1 [Gbps] de ancho de banda dependiente de la cantidad de equipos.

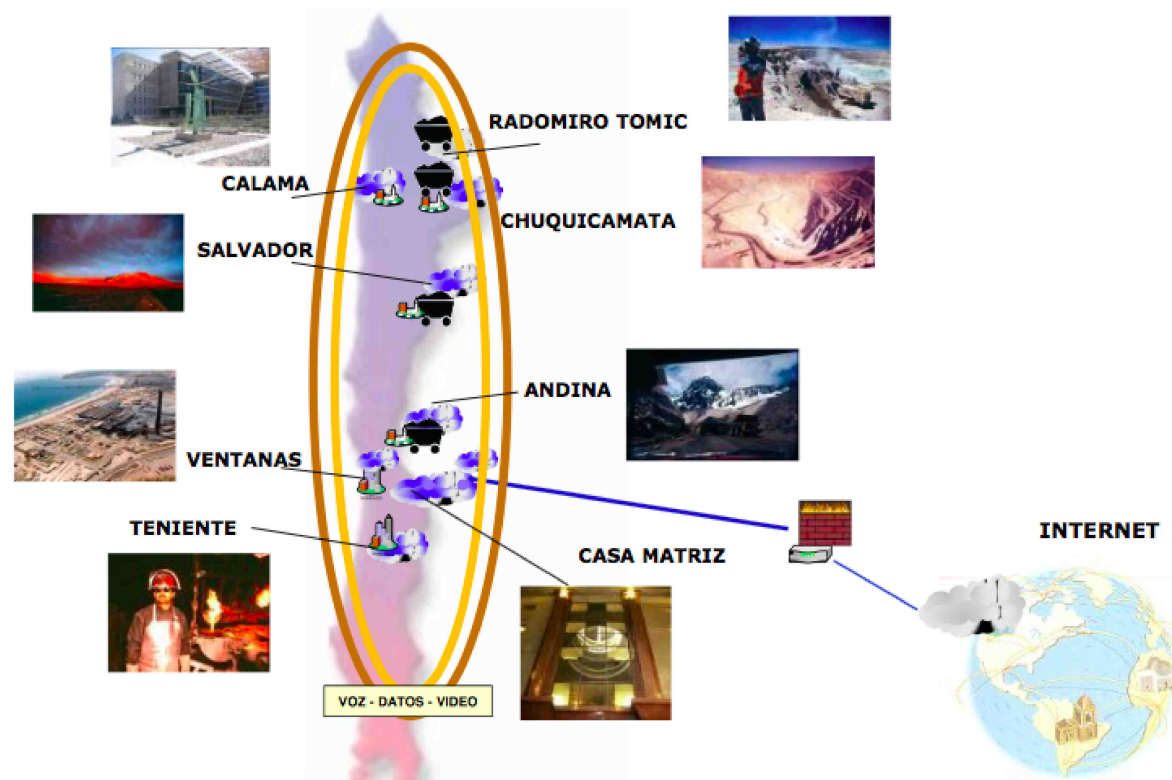
2.5.4 ERP.

Respecto a datos recogidos de CODELCO, el sistema ERP (Enterprise Resource Planning) utiliza red WAN con anchos de banda que van entre los 50 – 400 [Mbps].

2.5.5 Sistemas de respaldo entre nodos

Al no haber nodos que centralizan; se utilizan anillos de comunicación en cada Holding que contienen nodos que permiten incorporar, almacenar y sacar datos en cualquiera de estos nodos de manera rápida y segura. Esto asegura un acceso equitativo para todos los equipos, el rendimiento no decae cuando muchos usuarios utilizan la red y gran facilidad de fluidez de datos.

Figura 2-14 Plataforma de comunicaciones de CODELCO:



2.5.6 Conectividad con casa matriz (internacional)

La conexión entre la red Corporativa y las redes de control es a través de dispositivos de seguridad como SSL y PKI, auditados por el Firewall. Los protocolos/modelos/configuración utilizados en las redes son estándares, Ethernet y TCP/IP y en general su disponibilidad/confiabilidad es de un 99,99%.

Las capacidades, de las redes actuales en cuanto a CODELCO, se estima que el crecimiento de tráfico WAN va más por el lado de gestión y operación remota, para lo cual se está reforzando la red LAN y WAN, a un aumento de 20 [Gbps] y 1 [Gbps] respectivamente, aumentando el tráfico en un 30% por estos conceptos, en el caso de las redes LAN el mayor crecimiento es por los sistemas CCTV, aumentando en algunos sistemas el tráfico actual al doble.

Los tipos de datos para las categorías mencionadas anteriormente son mayormente, en cuanto a volúmenes de datos, textos, videos e imágenes. Donde el tráfico actual va para red WAN entre 50 - 400 [Mbps] y para red LAN entre 1 [Gbps] hasta 10/20 [Gbps]. Las variables relevantes que podrían permitir caracterizar el patrón de tráfico se entregan en la Tabla 2-12.

Tabla 2-12 Tipos de Datos que se trafican en la red de CODELCO

	Tipos de Datos que se trafican por su red según:	CODELCO		
		Tipos de datos	Tráfico de Datos (Mbps)	Variables relevantes que permita caracterizar el patrón de tráfico
a	Sistemas administrativos	Texto, Imágenes, Videos, etc.	WAN: 100-300 Mbps LAN: 1 Gbps - 10/20 Gbps	Cantidad de Usuarios, fecha/hora (relativo al año, mes, semana y día)
b	Sistemas de control	Texto, Imágenes, Videos, etc.	WAN: 100-300 Mbps LAN: 1 Gbps - 10/20 Gbps	Cantidad de Usuarios, fecha/hora (relativo al año, mes, semana y día)
c	Comunicaciones de videoconferencia o streaming de alta calidad	Texto, Imágenes, Videos, etc.	WAN: 100-300 Mbps LAN: 1 Gbps - 10/20 Gbps	Cantidad de Usuarios, fecha/hora (relativo al año, mes, semana y día)
d	ERP	Texto, Imágenes, Videos, etc.	WAN: 100-300 Mbps LAN: 1 Gbps - 10/20 Gbps	Cantidad de Usuarios, fecha/hora (relativo al año, mes, semana y día)
e	Sistemas de respaldo entre nodos	Texto, Imágenes, Videos, etc.	WAN: 100-300 Mbps LAN: 1 Gbps - 10/20 Gbps	Cantidad de Usuarios, fecha/hora (relativo al año, mes, semana y día)
f	Conectividad con casa matriz internacional	Texto, Imágenes, Videos, etc.	WAN: 100-300 Mbps LAN: 1 Gbps - 10/20 Gbps	Cantidad de Usuarios, fecha/hora (relativo al año, mes, semana y día)
g	Otros servicios	Texto, Imágenes, Videos, etc.	WAN: 100-300 Mbps LAN: 1 Gbps - 10/20 Gbps	Cantidad de Usuarios, fecha/hora (relativo al año, mes, semana y día)

Fuente: (Elaboración propia)

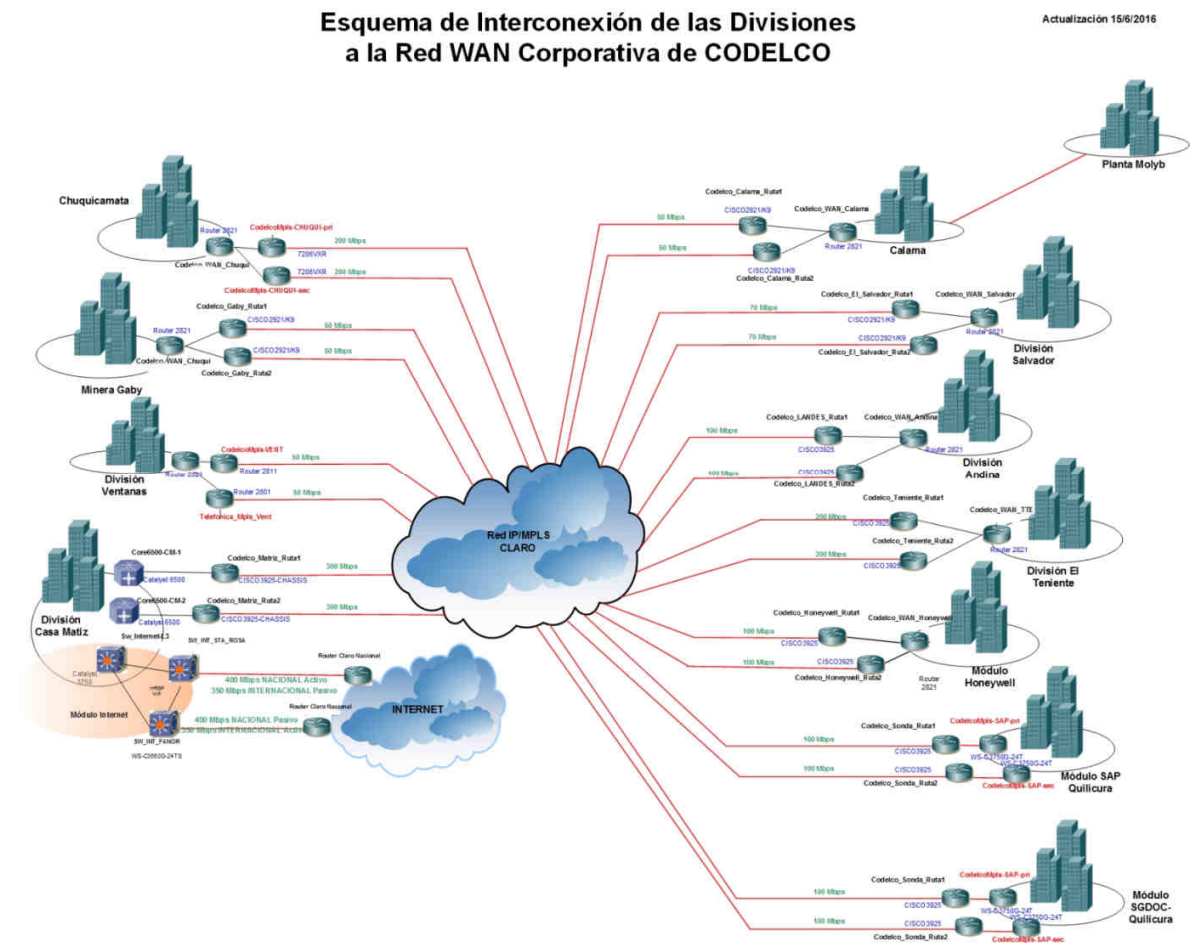
Se hicieron esfuerzos para obtener información respecto al modelo de negocios aplicado sobre la infraestructura de telecomunicaciones así como su financiamiento, se derivó la solicitud hacia los proveedores de estos servicios, Telefónica y Claro específicamente, no teniendo respuesta.

2.6 Capacidades, en [Mbps], actualmente disponibles por cada yacimiento.

Según lo indicado por Codelco TICA, sus operaciones tienen enlaces de red WAN entre 50 [Mbps] y 400 [Mbps], dependiendo del lugar, ya que ciertos yacimientos están a mucha altura o bien son subterráneos, lo que restringe la instalación o usos de ciertas tecnologías, y la capacidad de los equipos disponibles del proveedor (ENTEL, Claro o Telefónica). Respecto a las redes LAN, los enlaces son entre un mínimo de 1 [Gbps] y van hasta los 10 o 20 [Gbps], con una utilización actual del 20%-25%. Es posible apreciar en mayor detalle para cada yacimiento en la Figura 2-15 y la

Figura 2-16

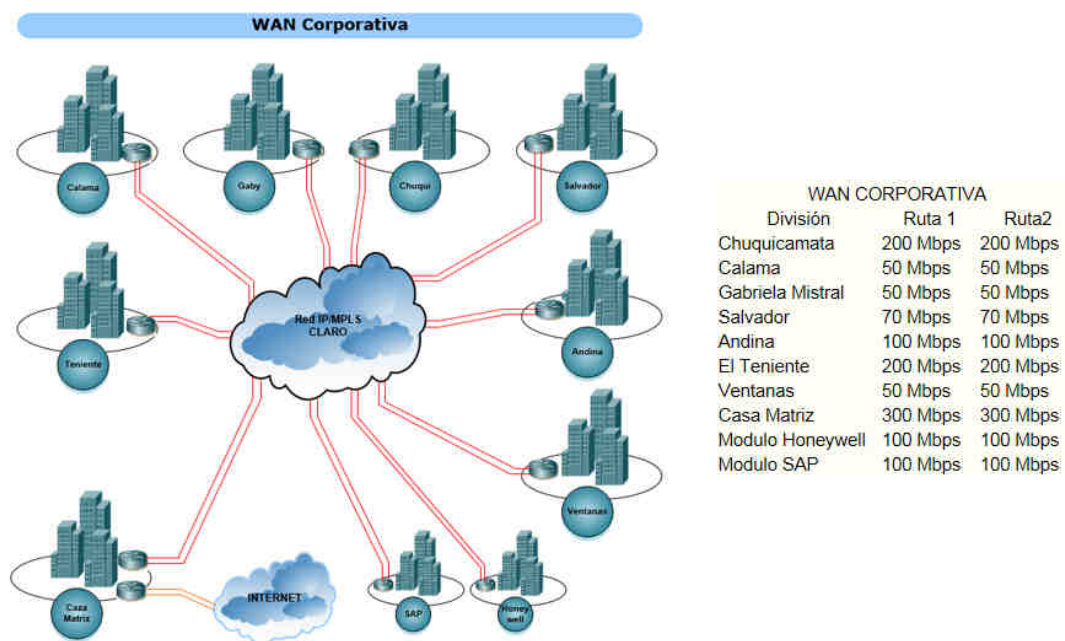
Figura 2-15 Diagrama de Red WAN Nacional de CODELCO



Fuente: información entregada por CODELCO

Figura 2-16 Diagrama de Estructura Nacional Red WAN CODELCO:

ARQUITECTURA RED WAN



Fuente: información entregada por CODELCO

2.6.1 Quién provee estos servicios, vale decir si son propios y/o de terceros.

Las redes WAN son provistas por proveedores como Entel, Claro y Telefónica. En cambio dada la variabilidad y el uso específico que cada yacimiento requiere, la red LAN es propia de cada yacimiento y sus anchos de banda en base a los requerimientos que estimen necesario para su operación diaria.

2.6.2 Tipología de fallas técnicas más recurrentes y de problemas operativos con proveedores de servicios de transporte de datos.

Se consideraron como los tipos de fallas técnicas más recurrentes a la pérdida de paquetes de datos, cortes de fibra e interferencias, pero aún así la disponibilidad supera el 99,99% ya que de otra manera no sería factible poder operar de manera continua y confiable.

2.6.3 Origen y destino de Matriz de tráfico de datos por yacimiento

Se solicitó a las empresas y no fue posible obtenerlo. No se tiene la información consolidada, pues existe una infinidad de origen y destinos.

2.6.3.1 Capacidades de tráfico directo con otros yacimientos (Tráfico Nacional/Internacional).

En base a información rescatada por Codelco, se tiene:

Nacional:

WAN: 50-400 [Mbps] con estimaciones de crecimiento a 500 [Mbps] – 1 [Gbps]

LAN: 1 [Gbps] - 10/20 [Gbps]

Internacional:

WAN: 400 [Mbps]– 500 [Mbps] desde/hacia Chile, Australia, Canadá y EEUU.

2.7.3.3 Nodo que centraliza y/o controla estas comunicaciones.

Se controlan las comunicaciones Corporativas desde Casa Matriz local de Codelco y el enlace a Internet, pero cada red de control asociada a la producción es autónoma.

A continuación se aprecian dos esquemas de infraestructura de la Red WAN instalada en CODELCO, con sus anchos de banda disponibles por yacimiento.

2.7 Existencia de centros de control y comando remoto (comando y control realizado desde el exterior del yacimiento) de procesos mineros automatizados.

- **Andina:** Cuenta con Sistema de Acceso Seguro (para automatizar todos los procesos en una plataforma) y una sala de control y Operaciones Centralizada que incluye la visualización y gestión de los procesos para su optimización operacional
- **Teniente:** Cuenta con un sistema de control avanzado en los molinos SAG y en la molienda convencional unitaria, además de comando remoto de LHD Semiautónomos y Martillos picadores.
- **Minera Escondida:** Sala de control despacho mina (carguío & transporte), Sala de control Chancado y Correas, Sala de control Planta concentradora.

2.8 Existencia de centros de monitoreo remoto (monitoreo realizado desde el exterior del yacimiento) de procesos mineros automatizados.

- **Andina:** Cuenta con control avanzado SAG (aplicación de control estabilizante del tipo multivariable predictivo adaptativo).
- **Teniente:** Posee un centro de monitoreo remoto en Casa Matriz, Santiago para la operación tele comandada de LHD Semi-Autónomas y martillos picadores.
- **DMH:** Cuenta con un centro integrado de operaciones que abarca el monitoreo remoto de despacho mina, el chancado primario, la molienda, la flotación, hasta el espesamiento de relaves y filtrado de concentrados. También abarca el proceso de tostación, plantas de ácido y efluentes, junto al despacho de calcinas y ácido sulfúrico.
- **DGM:** Cuenta con una flota del 100% de camiones autónomos que son monitoreados desde el exterior.
- **Minera Escondida:** Sistemas fatiga y somnolencia, alerta colisión, cámaras de alta definición, monitoreo en tiempo real sistema de signos vitales toda la flota.
- **Los Bronces:** Sistema de monitoreo y control de taludes.

2.9 Existencia de otros tipos de sistemas de control, comando y monitoreo que requieran de capacidad de transporte al exterior de algún yacimiento y/o operación.

- “El negocio minero, al ser una operación a grandes escalas, es muy complejo, provocando grandes volúmenes de datos circulantes. Considerando también que estos datos deben estar conectados con la operación en tiempo real, y a su vez, recopilarlo para poder tomar decisiones tanto al corto, mediano y largo plazo. Estas son algunas razones por las cuales la minería permite vislumbrar grandes oportunidades para los desarrollos de las Tecnologías de Información y Comunicaciones. Según un informe recopilado de Minería Chilena
- “...a mediados de la década de 1990 muy pocas compañías mineras tenían automatizaciones; fue a principios de 2000 que comenzó un fuerte proceso en esta línea, que ya en 2005 se generalizó.”⁸
- Así mismo, de acuerdo a lo expresado por Sergio Torres, Gerente División Minería en Cisco Chile, “de cara a los próximos cinco años se pueden reconocer tres niveles generales donde están presentes las TIC en gestión minera:
 - Hardware y software encargados de monitorizar “los signos vitales” del equipamiento y de trabajadores.
 - ‘Reportabilidad’, es decir, aplicaciones capaces de recolectar y analizar la data, y entregar la información en el lugar en que se la requiera.
 - Sistemas de gestión con indicadores globales, que se refiere a la instancia donde se tiene la información y se es capaz de entregar un resultado final con una análisis de indicadores de producción, gestión, operación, y ya desde hace algún tiempo, también de carácter predictivo, produciendo un mejoramiento sustancial en la toma de decisiones inmediata y a largo plazo para la compañía minera.
- Hace 30 años los camiones mineros eran administrados por profesionales sobre la base de su criterio y experiencia; luego se llegó a un software de gestión y despacho, y hoy, a partir del desarrollo de Redes MESH, se pueden transferir y canalizar muchos servicios dentro de una misma red. Todo esto a través de un Centro Integrado de Operaciones en donde se puede tener la visibilidad de toda la faena, impactando no solo en la productividad, sino también en la seguridad para las personas y procesos. La siguiente derivada es la predictibilidad, para adelantarse a problemas, tecnología que hoy también está en la vanguardia.”

Recopilado a partir de (Minería Chilena, 2015)

- Así mismo, la operación de todos los sistemas asociados a las diferentes minas está evolucionando para ser realizado en forma remota de manera de sacar a las personas del área de riesgo; ventilación, SCADA, señalización, operación de sistemas

Mina/Planta/Fundición, con la tendencia de tele operar o automatizar los sistemas productivos. Para ello se requieren capacidades de tráfico que van desde los 100 [Mbps] – 10 [Gbps], en donde, la mayor utilización viene por los sistemas de CCTV y las operaciones de Telecomando.

3 METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA PROSPECTIVA DE CONSUMO DE DATOS DE LA MINERÍA

3.1 Introducción

El principal promotor del crecimiento de ancho de banda en minería en los últimos años ha sido la remotización de procesos, y en particular el traslado de centros de operación desde las faenas a las ciudades. Ejemplos de esto son las divisiones Ministro Hales que implementó un Centro de Operaciones piloto en Santiago (Minería Chilena, 2016) , Andina que ha hecho lo mismo en la ciudad de Los Andes (losandesonline.cl, 2016) , y El Teniente que ha implementado un Centro Integrado de Operaciones (CIO), que se ubica en Rancagua y desde donde controla varios procesos de la mina (Minería Chilena, 2016)[3]. Estos centros requieren múltiples niveles de conectividad de voz, datos y video de alta calidad. Es natural proyectar esta tendencia a otras faenas mineras en el futuro, dado la positiva evaluación de estas iniciativas.

Es importante notar que ancho de banda no es todo. Redes de menor velocidad pero de baja latencia son también necesarias en la operación remota, especialmente en la tele-operación de maquinaria. Estos ejemplos también nos enseñan que el principal destino de los datos no es necesariamente Santiago, sino que pueden ser los centros urbanos más cercanos a las faenas. No se espera que el tráfico internacional sea relevante en comparación al tráfico nacional.

Figura 3-1 Sala de control de la mina Ministro Hales en Kairos Mining en Santiago.



(Minería Chilena, 2016)

La tele-operación de maquinaria puede también contribuir con una importante cantidad de datos. Por ejemplo: Una pala de cuerda eléctrica puede ser equipada con hasta 8 cámaras de alta resolución y un cargador subterráneo tipo LHD con no menos de 5. Estos proyectos de remotización han tenido una penetración más lenta que la remotización de los centros de operaciones.

3.2 Modelo de demanda

Bottom-up v/s Top-Down:

Una estrategia de tipo Bottom-Up se basa en estimar, a nivel de detalle, los instrumentos que estarán operativos en las distintas faenas en el futuro, así como el tamaño y frecuencia de los datos que estos dispositivos traficarán. Esta estrategia resulta muy difícil pues la ingeniería de detalle de los proyectos futuros no está aún realizada o no es de dominio público.

Una estrategia Top-Down, estudia el problema en alto nivel, y selecciona las variables relevantes del problema. El levantamiento realizado como parte de este estudio nos entrega la información suficiente para un análisis de tipo Top-Down, por cuanto resulta una mejor estrategia construir un modelo basado en extrapolación de la situación actual, ponderada por los factores más relevantes y escenarios probables.

Se propone por tanto una metodología Top-Down que toma como punto de partida la experiencia actual de monitoreo y control a distancia de una faena minera promedio, analiza los requerimientos de ancho de banda y luego aplica las hipótesis de crecimiento y de evolución tecnológica al conjunto de la minería nacional.

Figura 3-2 Diagrama de un análisis tipo Top-Down aplicado a la proyección de ancho de banda



Fuente: Elaboración propia

Este enfoque está esquematizado en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1 Matriz de análisis

	Tecnologías actuales	Nuevas tecnologías
Proyectos actuales	(Levantamiento)	Demanda de datos de gestión + ERP Demanda de datos para supervisión de procesos Demanda de datos para teleoperación
Nuevos Proyectos	Hipótesis de homogeneidad tecnológica -> factor multiplicativo por tamaño de faena	MINERÍA INTELIGENTE Demanda de datos de gestión + ERP Demanda de datos para supervisión de procesos Demanda de datos para teleoperación

Fuente: elaboración propia.

3.3 Minería Inteligente

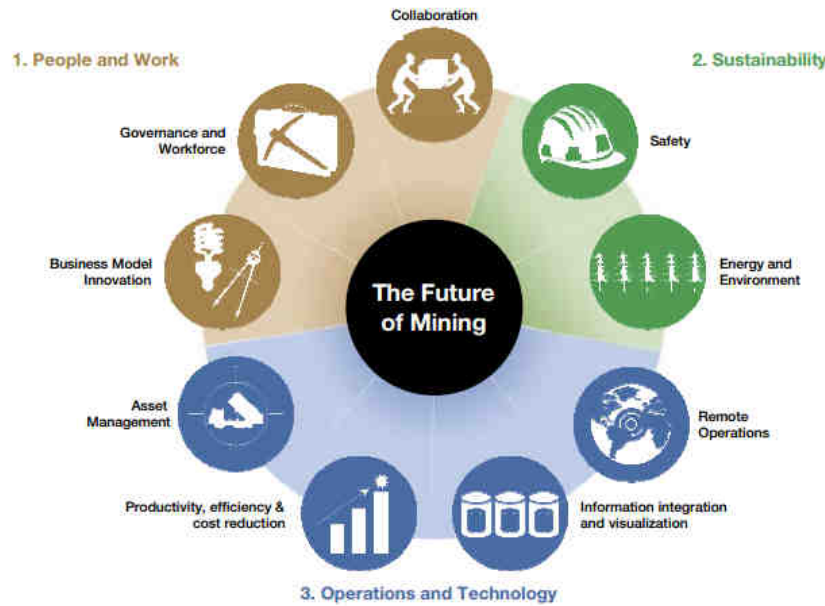
La minería inteligente o smart mining, de acuerdo al Programa Nacional de Minería Alta Ley (Octubre, 2015) se define como:

“La minería que maximiza la utilización de medios tecnológicos computacionales, instrumentos de medición, de comunicación, de accionamiento remoto, al servicio de las tareas de toda su cadena de valor desde el Yacimiento al Barco, desde su Detección al Cierre”

La masificación y estandarización de la automatización industrial al ámbito operacional minero incrementa y mejora la eficiencia operativa, el control de costos, calidad de los productos, seguridad y cuidado del medioambiente. La faena puede operar de manera integrada optimizando toda la operación de manera global, lo que ha demostrado mejorar el desempeño con un enfoque parcializado de optimización local de cada proceso.

Es nuestro supuesto que los métodos de minería inteligente serán adoptados paulatinamente: por la gran minería en un horizonte de 10 años, y por la mediana minería en un horizonte de 20 años.

Figura 3-3 Áreas estratégicas que aborda Minería Inteligente



Fuente (Corporation, IBM, 2010):

Lo anterior implica que las tareas mineras serán gradualmente llevadas a cabo por máquinas operadas a decenas o cientos de kilómetros de distancia de las faenas o por vehículos autónomos, lo que conlleva la generación y transporte de grandes cantidades de datos de manera continua hacia los centros de operación, así como la necesidad de almacenamiento de una porción de estos datos.

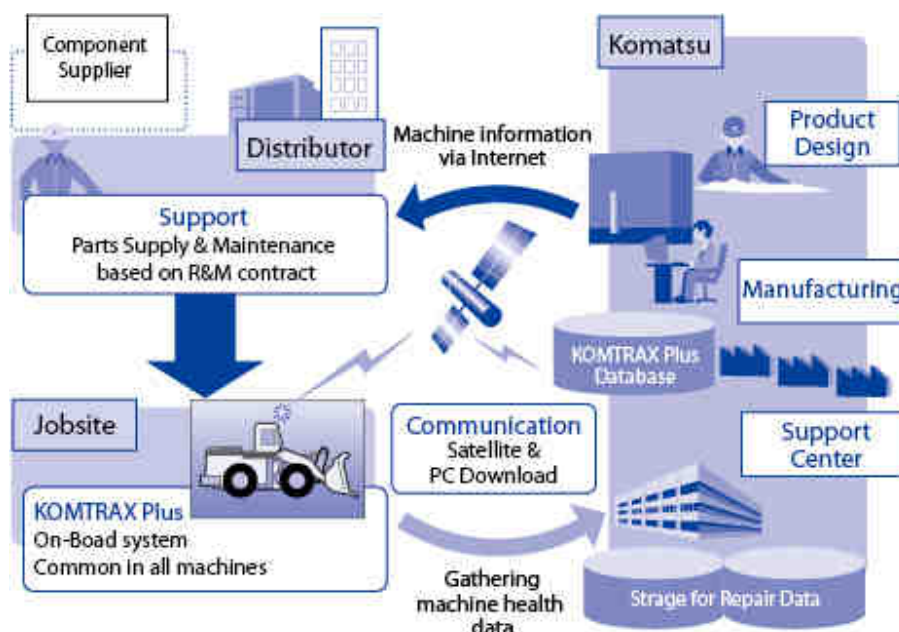
3.4 Minería Inteligente e Internet de las cosas (IoT)

La minería inteligente está estrechamente relacionada al desarrollo de “Internet de las cosas” e “Internet Industrial”. La minería inteligente necesita la operación y conexión de: sensores, actuadores, terminales ERP, Sistemas de control industrial (PLC), consolas de monitoreo y operaciones.

IoT define protocolos y estándares para lograr la conexión e intercambio de datos de grandes cantidades de dispositivos autónomos, es decir ofrece una solución tecnológica que se ajusta a las necesidades de instrumentación en minería. Se ajusta particularmente bien al transporte de información no sensible a latencia, es decir, donde los tiempos de análisis y toma de decisión son comparables o mayores a la latencia máxima de la red.

Actualmente la instrumentación de faena opera principalmente sobre arquitecturas y protocolos propietarios, normalmente desarrollados y comercializados por los fabricantes de los equipos. Ejemplos de estos sistemas son: CAT Connect (cat.com) y KOMTRAX (Komatsu Machine Tracking System) (KOMTRAX).

Figura 3-4 Arquitectura del sistema Komatsu machine management system



Fuente: (KOMTRAX)

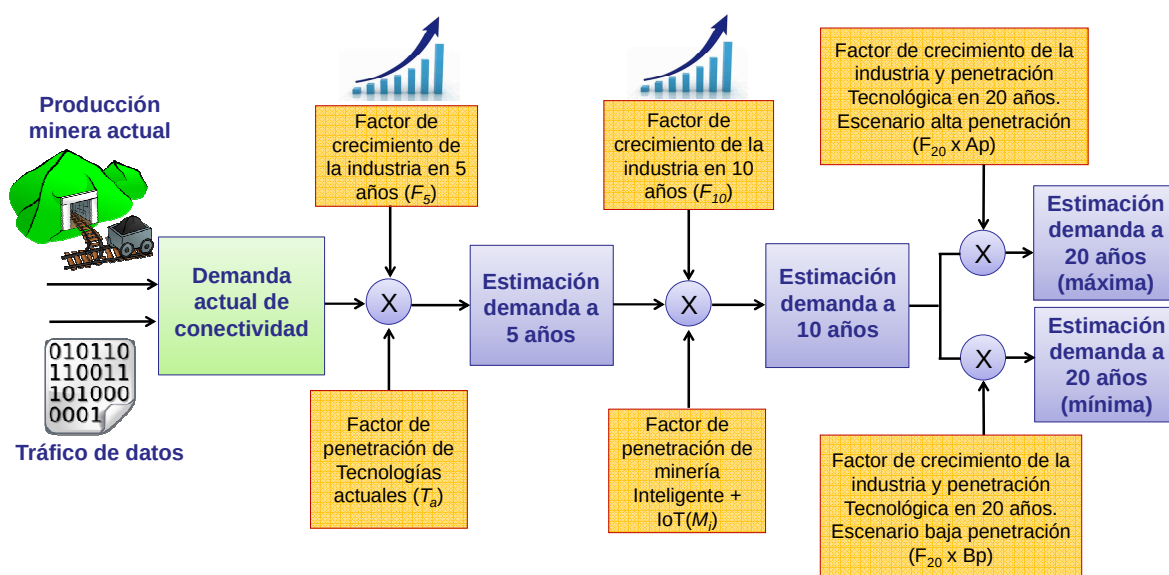
Es esperable que estos sistemas adopten algunos de los protocolos o definitivamente migren su arquitectura de comunicaciones a los estándares IoT en un horizonte de 10 años. Parte de las funcionalidades de estos sistemas propietarios están siendo también ofrecidas en nuevas versiones de las actuales plataformas ERP (hpc-america.com) [3].

3.5 Estimación de demanda prospectiva

De acuerdo a lo señalado anteriormente, la estimación de la demanda se realizará en base a escenarios de necesidades de cambio operativo en la minería (minería inteligente), la evolución tecnológica de sensores, actuadores, compresión de imágenes, lo que permitirá establecer al menos dos escenarios posibles de la evolución de requerimientos de transmisión de datos establecidos anteriormente a través de un multiplicador generado a partir de la proyección de crecimiento de los proyectos mineros. Para aquellos proyectos que no disponen de información de ingeniería conceptual o básica, se considerará como hipótesis que la empresa CODELCO es el referente actual en lo que respecta a tecnología aplicada, en base a casos de éxito en aplicación de centros de operación de telecomando, equipos autónomos, centros de monitoreo y control, entre otros. Teniendo en cuenta además que a futuro la cantidad de equipos mina y de control/monitoreo va a aumentar, orientando el negocio hacia una minería inteligente.

El siguiente diagrama describe el proceso de estimación de demanda.

Figura 3-5 Modelo de estimación de demanda



Fuente: elaboración propia

Esto implica que las tareas mineras serán llevadas a cabo por máquinas operadas a kilómetros de distancia del lugar físico de las faenas, lo que conlleva la generación y el envío de datos de manera continua hacia centros de control y de monitoreo, así como su almacenamiento.

En este caso, es posible identificar dos escenarios:

- Una minería tradicional en donde la transmisión es solamente de datos, ya sea con procesamiento local o bien a distancia, con un requerimiento de anchos de banda bajo.
- Una minería a futuro en donde la transmisión abarca tanto datos, imágenes y videos, la cual va a requerir de anchos de banda e infraestructura mayor.

A través de esto se entregará una solución estándar de modo de establecer un mínimo y un máximo de anchos de banda para cada yacimiento minero en análisis.

4 ESTIMACIÓN DE DEMANDA PROSPECTIVA DE CONSUMO DE DATOS A 5, 10 Y 20 AÑOS

Para el análisis de esta sección, se ha recurrido a expertos de diversas operaciones mineras en Chile, los cuales quisieron permanecer bajo confidencialidad. Es importante destacar que hay parte de la información que no se ha podido recopilar con exactitud, ya sea porque no existe un catastro de aquella o bien porque poseen cláusulas de confidencialidad. Aun así ha sido posible captar gran parte de la información solicitada a un nivel de detalle importante.

4.1 Levantamiento de proyectos para futuros yacimientos u operaciones de la gran minería: Ubicación y producción estimada

En Chile, el 15,2% del Producto Interno Bruto (PIB) proviene la industria de la minería, así como también constituye aproximadamente el 60% de las exportaciones totales del país. Hoy en día, Chile es el primer productor de cobre del mundo y tercero en molibdeno, entre otros, como es posible apreciar en la Tabla 4-1 (SONAMI, 2014).

Tabla 4-1 Recopilación de datos de producción de cobre en base al año 2014

Mineral	Producción en Chile ton	Participación en la producción mundial %	Ranking en la producción mundial	Participación en reservas mundiales
Cobre	5740000	31	1º	30
Oro	44.16	2	14º	7
Plata	1426	6	7º	15
Molibdeno	44770	21	3º	16

Fuente: (Consejo Minero, 2016).

Para permitir un incremento en la productividad y competitividad, la Comisión Chilena del Cobre estima que la inversión en proyectos mineros en el período 2015 – 2024 para los próximos 10 alcanza a US\$49.208 millones (COCHILCO, 2015), con lo que se incrementará la capacidad de producción de 5.9 millones de toneladas métrica de cobre fino a más de 8.1 millones.

El Director de Estudios y Políticas Públicas de Cochilco, Jorge Cantallopts, “señaló que la cartera está compuesta por dos grupos de proyectos, el primero corresponde a aquellos en condición base y probable, es decir, con mayor probabilidad de materializarse en los plazos presupuestados por las compañías mineras propietarias, que incluye 20 iniciativas valuadas en USD 20.197 millones.

El segundo grupo, añadió, se encuentra en condición posible y potencial, que son aquellos proyectos con menor probabilidad de materializarse en los plazos definidos por las compañías como también los más propensos a verse afectados por cambios en las condiciones de mercado. En este grupo se encuentran 17 iniciativas, cuyo monto es de USD 29.011 millones. Cartera de inversiones en minería suma USD 49.208 millones” (portalminero.com)

A continuación se detallan los proyectos mineros más relevantes, en donde se indica la duración de estos, sus puestas en marcha y sus producciones esperadas. Cabe destacar que al ser proyecciones, pueden sufrir ciertos cambios a futuro.

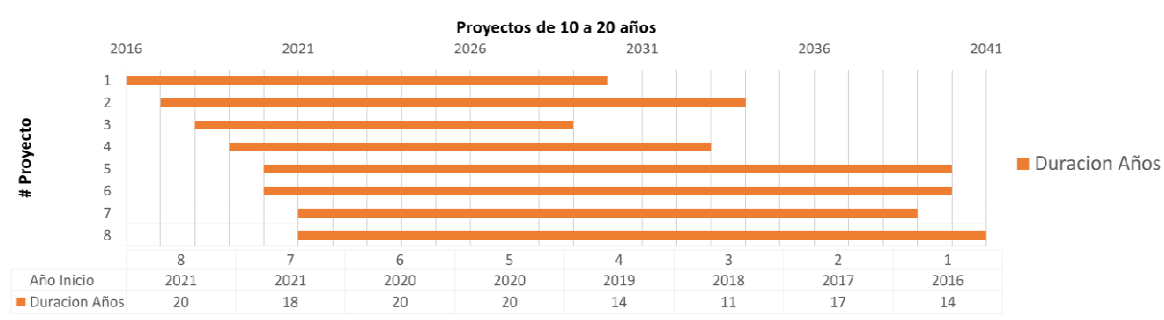
Tabla 4-2 Proyectos/Operaciones mineras futuras

#	Duración Grupo	Holding Minero	Proyectos/Operaciones Futuras	Ubicación	Producción Estimada Anual Cu Fino [Ton]	Puesta en Marcha	Inversión Estimada [MM US\$]	Duración [años]
1	De 10 a 20 años	Lundin Mining	Expansión Proyecto Candelaria 2030	Tercera Región, a 20 km al noreste de Copiapó. Atacama	170,000	2016	400	14
2		Anglo American	Los Bronces Fase 7	Región Metropolitana	N/D	2017	120	17
3		MantosCopper SA	Proyecto Desembotellamiento Concentradora de Mantos Blancos (MBCDP)	Se ubica en la Región de Antofagasta a 45 kilómetros al noreste de la capital regional, y a 800 metros sobre el nivel del mar	N/D	2018	N/D	11
4		CODELCO	Nuevo Sistema de Traspaso Andina	Región de Valparaíso	31,680	2019	1,323	14
5		KGHM	Optimización Proyecto Sierra Gorda	Región Antofagasta	220,000	2020	1500	20
6		Barrick Gold Corporation	– Área Mina Planta Cerro Casale	Cerro Casale se ubica en la Región de Atacama, Provincia de Copiapó, en las comunas de Tierra Amarilla, Copiapó y Caldera. El yacimiento y las faenas mineras se ubicarán en la alta cordillera, en la comuna de Tierra Amarilla a 145 Km. al sureste de Copiapó.	125,000	2020	6000	20
7		MantosCopper SA	Proyecto de Desarrollo Mantoverde (MVDP)	Ubicada a 50 kilómetros del puerto de Chañaral, en la Región de Atacama.	76,000	2021	ND	18
8		CODELCO	Rajo Inca	comuna de Diego de Almagro, Provincia de Chañaral, Región de Atacama	13,320	2021	600	20
9	Más de 20 años	Teck	Proyecto Nueva Union	Se ubica provincia de Huasco en la región de Atacama en la comuna de Vallenar, ubicado en Chile	190,000	N/D	3,900	32
10		Teck	Quebrada Blanca Fase 2	La mina Quebrada Blanca II se ubica unos 240km al sureste de Iquique en la Región de Tarapacá (I), Chile, a una altura de 4.400m sobre el nivel del mar.	200,000	N/D	5,600	25
11		CODELCO	Chuquicamata Subterránea	Segunda Región, a 240 km de la ciudad de Antofagasta y a una altura de 2.800 m.	50,400	2019	3,816	45
12		Antofagasta Minerals	Proyecto Infraestructura Complementaria MLP	Coquimbo	Mantiene Producción	2020	1,100	22
13		CODELCO	Explotación Recursos Norte - El Teniente	Rancagua	Mantiene Producción	2020	340	26
14		Antofagasta Minerals	Desarrollo Distrito Centinela (DMC)	Región de Antofagasta (II)	150,000	2020	2,700	40
15		CODELCO	Nuevo Nivel Mina el Teniente	Rancagua	49,320	2020	4,929	50
16		CODELCO	Radomiro Tomic Sulfuros Fase II	Calama	72,000	2024	5,459	30
17	N/D	CODELCO	Desarrollo Futuro Andina	Región de Valparaíso	54,000	2024	ND	50
18		BHP Billiton	Nueva Planta de Desalinización	Segunda Región, a 160 km al sudeste de Antofagasta, a una altura de 3.100 m.	Mantiene Producción	2017	3,430	N/D
19		Antofagasta Minerals	Encuentro Óxidos - Minera Centinela	Región de Antofagasta (II)	150,000	2017	636	N/D

Fuente: elaboración propia

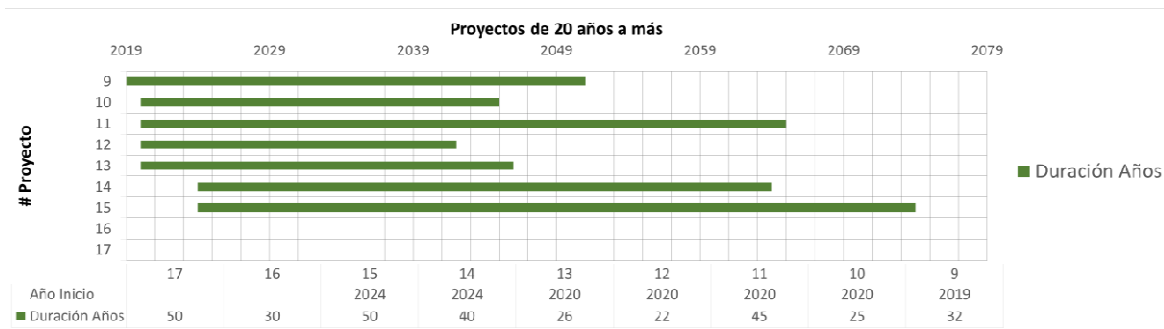
Asimismo, a continuación se pueden visualizar los diferentes proyectos asociados a la tabla anterior en formato Gantt. De esta manera, se procederá a utilizar esta información para realizar la prospección futura de la estimación de demanda de transporte de datos de alta velocidad en base a la duración de estos y la tecnología necesaria que se incorporará para llevar a cabo dichos proyectos.

Figura 4-1 Proyectos de 10 a 20 años



Fuente: elaboración propia

Figura 4-2 Proyectos de 20 años a más.



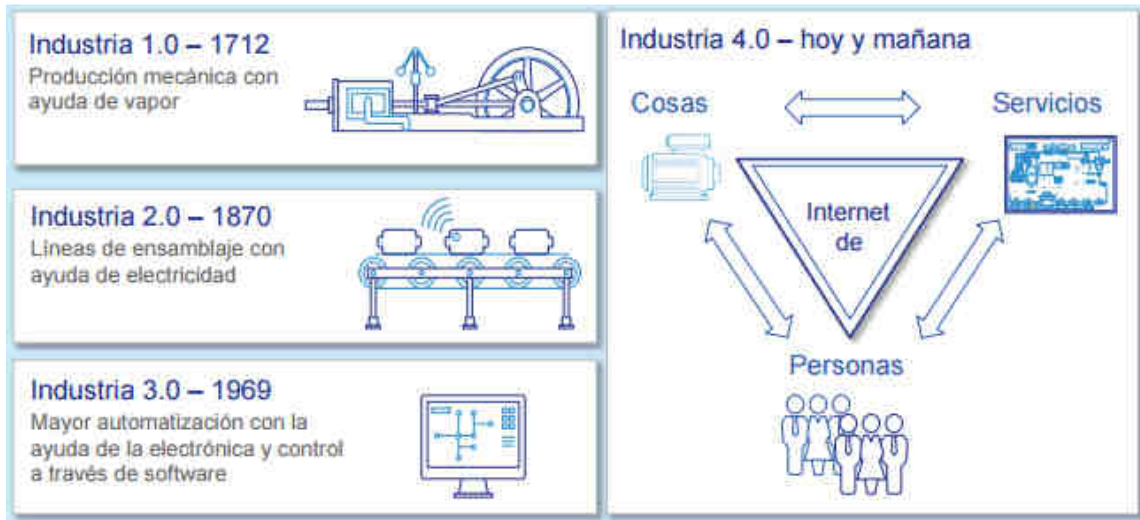
Fuente: elaboración propia

Se debe comprender que los proyectos mineros tienden a tener plazos de desarrollo y ejecución bastante largos entre 10 a 40 años, dependiendo de la dimensión e inversión planteada.

4.2 Estimación de la demanda esperada de servicios de transporte de datos de alta velocidad.

En la actualidad, la demanda de datos realizada por los usuarios a través de los diversos procesos mineros está constantemente en aumento, es por ello que se requiere de redes de transporte de gran capacidad. Los sistemas de transporte de datos de alta velocidad (HSDT) son la base para poder unir la tecnología de información (TI) y las tecnologías operacionales (TO), pues en el futuro la necesidad de contar con una integración, visibilidad, e inteligencia dentro y entre la tecnología operacional (TO), los sistemas de control de producción y la tecnología de la información (TI) que gestionan los activos críticos, la logística, la planificación y las operaciones de la compañía, es inminente.

Figura 4-3 Evolución de la industria



Fuente: (ABB, 2015)

De acuerdo a lo expresado por Rodrigo Andai, Vicepresidente de Sistemas Mineros y Gerardo Mendoza, Gerente de Industria de Procesos, ABB “El resultado es la agilidad sin precedentes de las operaciones para las fluctuaciones de la oferta y la demanda. A medida que la convergencia de TI y TO lleva más información desde sistemas en tiempo real al software de TI, los siguientes beneficios están dentro de los cuatro “indispensables” que mejorarán la eficiencia, capacidad de respuesta y rentabilidad a través de la cadena de valor en la minería

- Producción inteligente.
- Respuesta inteligente frente a la condición de los activos críticos.
- Planificación determinada por la demanda.
- Reducción del consumo de energía y de los desechos.

No obstante, un importante desafío que existe para que las compañías mineras puedan lograr sus objetivos es la falta de integración entre los sistemas de TI y TO. Un creciente número de compañías mineras ven el único principal beneficio de la integración de datos TI/TO como la optimización de costos y eficiencia. Esto aborda directamente los desafíos de:

- Gestionar el aumento continuo de los costos.
- Controlar el gasto y la eficiencia de la energía.
- Optimizar o maximizar la producción.

Desafortunadamente, muchas compañías tienen poca o nula integración de datos a través de la cadena de valor y aún operan en silos, sin intercambiar información con otros departamentos. Muchos aún dependen de planillas de cálculo, combinadas con la experiencia humana para apoyar decisiones cruciales.

Pero las cosas están cambiando, habiendo varias compañías que ahora están dando los pasos necesarios para implementar la integración de datos TI/TO. Estas compañías tienen una visión consolidada de los sistemas de producción y los más avanzados pueden visualizar y ajustar las operaciones de forma más dinámica a través de la cadena de valor. Es indiscutido que, para poder

abordar los desafíos emergentes en forma efectiva, los operadores necesitan una solución integrada la cual provea un diagnóstico remoto de los activos, una automatización continua y la optimización de la producción” (Andai, 2016)

4.3 Escenarios probables

En base a lo dicho anteriormente, hay dos escenarios posibles que podemos identificar a futuro, ya sean incorporación de tecnologías o aumento de producción, es decir, faenas que están actualmente en operación o bien proyectos futuros presentan dos escenarios, ya sea incrementar producción a través de incorporación de nuevas zonas de explotación o bien, incorporar tecnología para automatizar las operaciones actuales. Ajustándose a lo dicho anteriormente, en donde si se aplica tecnología, los requerimientos de ancho de banda serán mayores en contraste a si solamente hay aumento de producción en base al aumento de equipos mina.

4.4 Modelo de Estimación de la Demanda

Tabla 4-3 Hipótesis para la estimación de la demanda de transporte de datos

	Tecnologías Actuales	Nuevas Tecnologías
Nuevos Proyectos	Cabe hacer una distinción entre proyectos nuevos y expansiones de proyectos actuales, pues para el caso de proyectos nuevos la tecnología que se está empleando viene a replicar lo aplicado en mina Ministro Hales y El Teniente (ambos de Codelco), que hoy en día mantienen una operación con un alto nivel de automatización, control, supervisión y telecomando, destacando que va a depender del tamaño de la faena en cuanto a inversión en tecnología. En cambio para los proyectos de expansión, vienen a suplir la producción de cobre o bien a eficientar la operación a través de tecnología como la mencionada anteriormente con el fin de disminuir costos y aumentar la seguridad.	Las nuevas tecnologías apuntarán a una minería inteligente, en donde la tecnología, maquinaria y automatización robótica estarán desempeñando los trabajos rutinarios y repetitivos, mientras que las personas se encargarán de tareas más estratégicas. Alejando a las personas de las faenas, de modo de aumentar la seguridad y asegurar una continuidad operacional. Así mismo, las tecnologías de transporte de datos de alta velocidad deben ir más allá de lo que hoy existe, pudiendo utilizar redes de fibra óptica a miles de kilómetros para telecomandar equipos o bien para gestionar y supervisar los diversos sensores que se conjugaran en un ERP para la posterior toma de decisiones.
Proyectos actuales	Los proyectos actuales en su mayoría no poseen tecnologías de vanguardia, salvo unas pocas como mina Ministro Hales, Gaby, El Teniente y Chuquicamata, que poseen operación telecomandada, procesos altamente automatizados, uso de sensores en diversos equipos y plantas de procesamiento, entre otros.	Es importante que todas las faenas mineras puedan contar con la tecnología de vanguardia que existe hoy en día, con el fin de delinear un punto de partida a la incorporación de tecnología futura. La minería debe incorporar una mirada más tecnológica en lo que respecta al negocio extractivo, incorporando más sensores, automatizando procesos, operaciones telecomandadas, entre otros. Hoy en día ya diversos yacimientos mineros como El Teniente, Escondida, Radomiro Tomic, entre otros, están incorporando nuevas tecnologías, tendencia que seguirán las demás faenas en operación.

En base a las siguientes tablas se procedió a realizar la estimación de la demanda de los diferentes yacimientos mineros en cuestión.

Tabla 4-4 Consumo de transporte de datos de alta velocidad por equipos de control y supervisión.

Equipos Control y Monitoreo	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)
Equipos inalámbricos para sistema CCTV (CCTV HD)	3000	3000
Equipos inalámbricos para Telemetría Semáforos tormentas eléctricas	10	500
Equipos inalámbricos para Radares Ground Probe (estabilidad taludes)	6000	6000
Equipos inalámbricos para sensores de vibración	10	500
Equipos inalámbricos para sistema Terralite (posicionamiento)	2000	2000
Equipos estaciones meteorológicas	200	200

Fuente: elaboración propia

Tabla 4-5 Consumo de transporte de datos de alta velocidad por equipos mineros

Equipos Mina	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)
CAEX (Camiones Extracción)	20	1500
Equipos Auxiliares	10	500
Perforadoras	1500	1500
Palas (Excavator)	2000	2000
Cargadores Frontales	20	1500
Martillos	500	1500
LHDs	100	2500
Jumbos	1500	1500
Ventiladores	100	500
Camiones Bajo Perfil	20	1500

Fuente: elaboración propia

Es posible observar un mínimo y máximo de anchos de banda utilizado por equipos mina y por equipos de control y monitoreo, el cual va a depender de la tecnología disponible. Para ello fue necesario hacer un catastro de los equipos mineros en los diferentes yacimientos, resultando en lo siguiente:

Tabla 4-6 Equipos mineros en los diferentes yacimientos

Equipos Mina	Cerro Colorado		Quebrada Blanca		Collahuasi		El Abra	
	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)
CAEX (Camiones Extracción)	800	60,000	480	36,000	1,900	142,500	520	39,000
Equipos Auxiliares	210	10,500	290	14,500	440	22,000	510	25,500
Perforadoras	15,000	15,000	7,500	7,500	22,500	22,500	9,000	9,000
Palas (Excavator)	4,000	4,000	10,000	10,000	32,000	32,000	8,000	8,000
Cargadores Frontales	200	15,000	80	6,000	100	7,500	100	7,500
Martillos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
LHDs	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Jumbos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Ventiladores	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Camiones Bajo Perfil	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Total [kbps]	20,210	104,500	18,350	74,000	56,940	226,500	18,130	89,000
Total [kbps/ton]	0.155	0.804	0.367	1.480	0.127	0.503	0.158	0.774

Equipos Mina	Radomiro Tomic		Chuquicamata		Michilla-Lince		Mantos Blancos	
	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)
CAEX (Camiones Extracción)	300	22,500	4,780	358,500	NA	NA	780	58,500
Equipos Auxiliares	80	4,000	1,310	65,500	10	500	190	9,500
Perforadoras	6,000	6,000	42,000	42,000	9,000	9,000	9,000	9,000
Palas (Excavator)	4,000	4,000	38,000	38,000	NA	NA	NA	NA
Cargadores Frontales	120	9,000	260	19,500	NA	NA	360	27,000
Martillos	NA	NA	NA	NA	1,500	4,500	NA	NA
LHDs	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Jumbos	NA	NA	NA	NA	12,000	12,000	NA	NA
Ventiladores	NA	NA	NA	NA	700	3,500	NA	NA
Camiones Bajo Perfil	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Total [kbps]	10,500	45,500	86,350	523,500	23,210	29,500	10,330	104,000
Total [kbps/ton]	0.033	0.144	0.280	1.700	0.464	0.590	0.207	2.080

Equipos Mina	Lomas Bayas		Spence		El Tesoro		Escondida	
	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)
CAEX (Camiones Extracción)	660	49,500	540	40,500	460	34,500	2,960	222,000
Equipos Auxiliares	170	8,500	180	9,000	150	7,500	700	35,000
Perforadoras	10,500	10,500	4,500	4,500	3,000	3,000	24,000	24,000
Palas (Excavator)	4,000	4,000	6,000	6,000	6,000	6,000	44,000	44,000
Cargadores Frontales	140	10,500	40	3,000	120	9,000	80	6,000
Martillos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
LHDs	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Jumbos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Ventiladores	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Camiones Bajo Perfil	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Total [kbps]	15,470	83,000	11,260	63,000	9,730	60,000	71,740	331,000
Total [kbps/ton]	0.206	1.107	0.094	0.525	0.067	0.413	0.073	0.338

Equipos Mina	Zaldívar		El Salvador		Manto Verde		La Candelaria	
	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)
CAEX (Camiones Extracción)	620	46,500	280	21,000	340	25,500	1,300	97,500
Equipos Auxiliares	150	7,500	40	2,000	100	5,000	360	18,000
Perforadoras	6,000	6,000	4,500	4,500	6,000	6,000	21,000	21,000
Palas (Excavator)	6,000	6,000	NA	NA	NA	NA	14,000	14,000
Cargadores Frontales	40	3,000	100	7,500	120	9,000	240	18,000
Martillos	NA	NA	8,000	24,000	NA	NA	NA	NA
LHDs	NA	NA	1,400	35,000	NA	NA	NA	NA
Jumbos	NA	NA	4,500	4,500	NA	NA	NA	NA
Ventiladores	NA	NA	900	4,500	NA	NA	NA	NA
Camiones Bajo Perfil	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Total [kbps]	12,810	69,000	19,720	103,000	6,560	45,500	36,900	168,500
Total [kbps/ton]	0.102	0.552	0.406	2.120	0.126	0.875	0.241	1.101

	Andacollo		Los Pelambres		El Soldado		Andina	
Equipos Mina	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)
CAEX (Camiones Extracción)	260	19,500	900	67,500	400	30,000	220	16,500
Equipos Auxiliares	130	6,500	290	14,500	180	9,000	100	5,000
Perforadoras	4,500	4,500	12,000	12,000	10,500	10,500	6,000	6,000
Palas (Excavator)	6,000	6,000	10,000	10,000	NA	NA	4,000	4,000
Cargadores Frontales	80	6,000	180	13,500	180	13,500	80	6,000
Martillos	NA	NA	NA	NA	3,500	10,500	7,500	22,500
LHDs	NA	NA	NA	NA	800	20,000	2,200	55,000
Jumbos	NA	NA	NA	NA	15,000	15,000	7,500	7,500
Ventiladores	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Camiones Bajo Perfil	NA	NA	NA	NA	NA	NA	220	16,500
Total [kbps]	10,970	42,500	23,370	117,500	30,560	108,500	27,820	139,000
Total [kbps/ton]	0.150	0.582	0.064	0.324	0.853	3.027	0.120	0.598

	Los Bronces		El Teniente		Ministro Hales		Gabriela Mistral	
Equipos Mina	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)	Bandwidth (MIN) (kbps)	Bandwidth (MAX) (kbps)
CAEX (Camiones Extracción)	900	67,500	NA	NA	500	37,500	280	21,000
Equipos Auxiliares	270	13,500	320	16,000	200	10,000	100	5,000
Perforadoras	12,000	12,000	NA	NA	7,500	7,500	4,500	4,500
Palas (Excavator)	16,000	16,000	NA	NA	6,000	6,000	4,000	4,000
Cargadores Frontales	160	12,000	NA	NA	100	7,500	60	4,500
Martillos	NA	NA	44,000	132,000	NA	NA	NA	NA
LHDs	NA	NA	6,400	160,000	NA	NA	NA	NA
Jumbos	NA	NA	94,500	94,500	NA	NA	NA	NA
Ventiladores	NA	NA	1,800	9,000	NA	NA	NA	NA
Camiones Bajo Perfil	NA	NA	140	10,500	NA	NA	NA	NA
Total [kbps]	29,330	121,000	147,160	422,000	14,300	68,500	8,940	39,000
Total [kbps/ton]	0.073	0.301	0.312	0.896	0.044	0.209	0.072	0.312

Fuente: elaboración propia

Es importante destacar que los datos con la sigla “N/A” (No Aplica) son aquellos en donde, dado el tipo de operación minera (Rajo Abierto o Subterránea), los equipos no se encuentran presentes, pues hay equipos que solo son necesarios en operaciones mineras a rajo abierto como otros que solo se utilizan en minería subterránea.

Las tablas muestran el consumo de ancho de banda por equipos para cada operación minera actual junto al total en [kbps] y en [kbps/ton]. Es importante destacar que dado el nivel de detalle que se requiere para poder considerar ciertos equipos de monitoreo y supervisión, no fueron incorporados en su totalidad, esto pues no se pudo obtener mayor detalle en esta información con las diversas faenas minera. Así mismo, destacar que no necesariamente una operación minera que posea una mayor producción, tendrá requerimientos de anchos de banda mayores, como dicho anteriormente, esto va a depender directamente del nivel de tecnología que se esté utilizando, dando esta cabida a los rangos mínimos y máximos de ancho de banda explicados en la metodología.

4.5 Análisis prospectivo de los avances de las tecnologías.

El análisis prospectivo de los avances de las tecnologías en materia de control, monitoreo y automatización de los procesos industriales mineros, y en materia de procesamiento, almacenamiento y transmisión de grandes cantidades de datos (Big Data) que se esperan para el horizonte proyectado, con datos e información referida a los probables consumos esperados consideran nuevas inversiones para ampliar las actuales operaciones y para crear nuevas explotaciones de yacimientos, que impactarán en la demanda de infraestructura de comunicaciones.

Adicionalmente, se espera una evolución de la tecnología y de sus aplicaciones en la producción, lo que implica que el crecimiento de la demanda de flujos de datos no será simplemente lineal. En efecto, la evolución de la minería hacia una “minería inteligente” indica que la demanda de captura y comunicación de datos crecerá en mayor proporción que el crecimiento de las inversiones.

Sin embargo, esto no es solo un esfuerzo de parte de las empresas mineras, sino de todo el mercado, donde los proveedores de estos servicios juegan un rol muy importante introduciendo nuevas tecnologías que permitan transportar gran capacidad de información en forma segura entre yacimientos, oficinas administrativas y oficinas centrales.

Así mismo, de acuerdo al informe de ABB “Minería NextLevel, “todas las presiones competitivas que enfrenta la industria minera están impulsando a los operadores mineros a encontrar nuevas formas de incrementar la tasa de producción, reducir los costos y extender la vida útil de las faenas mineras, o bien establecer otras nuevas. Estos factores se están convirtiendo rápidamente en diferenciadores competitivos críticos. (ABB, 2015)

Los operadores mineros deben cambiar totalmente de un modelo en el cual se excava para sacar el mineral y se pone en el mercado, a uno donde responden de manera rápida y eficiente a las demandas y relaciones con el cliente, entregando el mineral donde y cuando sea necesario. Ellos deben ser capaces de responder rápidamente ante nuevas oportunidades, siendo más fluidos, flexibles y ágiles. La visión es una donde, en el futuro, las minas tendrán el equipamiento más cercano y a las personas más alejadas de los procesos. Tecnología, maquinaria y automatización robótica estarán desempeñando los trabajos rutinarios y repetitivos, mientras que las personas se encargarán de tareas más estratégicas. Sacar a las personas de los procesos reducirá los costos, aumentará la productividad y mejorará la seguridad, posibilitando monitoreo, diagnósticos e intervenciones remotas. Se verá una fuerza de trabajo en faena reducida que colabora con especialistas externos y personal de supervisión que se encuentran en centros de operación a distancia. Esto se logrará trasladando la automatización y la electricidad al lugar donde se extrae el mineral, minimizando el acarreo y transporte” (ABB, 2015)

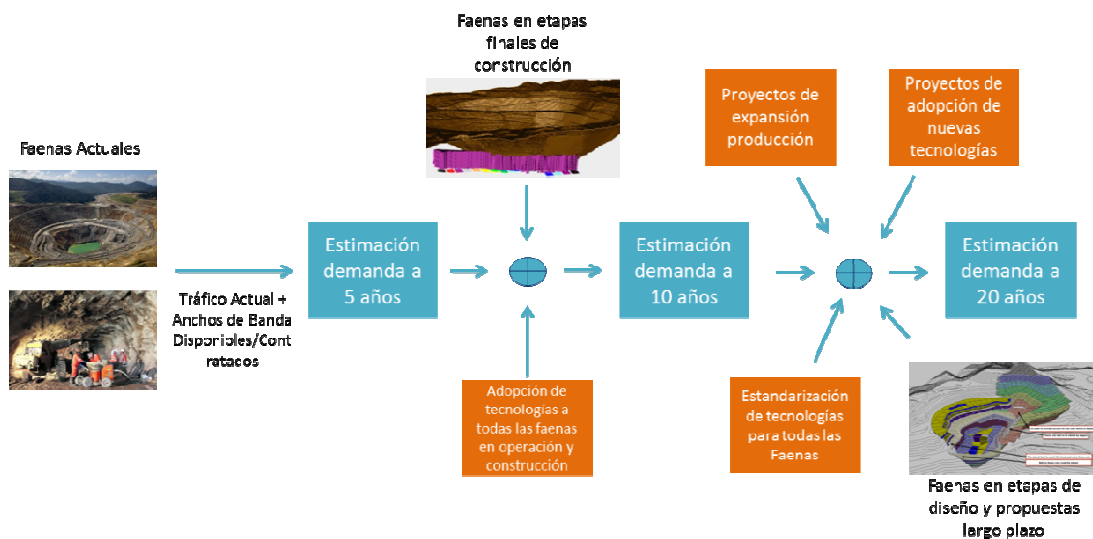
La tecnología de vanguardia, específicamente robots autónomos como semi-autónomos, la inteligencia artificial y otras tecnologías que permitan las operaciones remotas, desplazarán de a poco a los operadores, llevando una minería meramente de ejecución a una de supervisión. La solución para todos estos desafíos, y por ende, para el futuro de la minería, yace en la automatización e integración de la información, y para ello es inminente tener una adecuada infraestructura de telecomunicaciones que permita sustentar estos cambios tecnológicos. (ABB, 2015)

4.6 Modelo de Demanda Prospectiva

El modelo de estimación de demanda prospectiva está basado en conocimiento y opinión experta, más que en modelos basados en información pasada.

- Primero se requiere un levantamiento de los proyectos mineros actuales y de sus principales proyectos de mejoras (expansiones), donde el ancho de banda declarado se tomará como punto de partida y como estimación para los primeros 5 años. Esto pues los cambios tecnológicos en el ámbito minero llevan varios años en poder implementarse dada las dimensiones y cantidad de factores que influyen en ello.
- Luego se incluyen los proyectos en etapas de construcción, donde también se estudiará el ancho de banda declarado de acuerdo a los equipos que se tendrán en operación, el cual será revisado en función de los posibles avances tecnológicos, basados en tecnologías probadas en actuales faenas en operación. Estos proyectos en construcción, sumados a los proyectos mineros actuales y prontos a entrar en operaciones definirán la estimación de demanda a 10 años.
- Por último, dado que la mayor cantidad de proyectos mineros superan los 20 años de duración, se propondrá un escenario plausible de nuevas tecnologías y estandarización para todas las faenas en estudio, con su respectiva estimación de tráfico de datos en base a un factor multiplicativo acorde al aporte de cobre o bien adopción de nuevas tecnologías que posean teniendo como referente a la empresa CODELCO.

Figura 4-4 Modelo de estimación de demanda prospectiva



Fuente: elaboración propia.

4.7 Metodología para la estimación de demanda de tráfico de datos en Minería para 5, 10 y 20 años.

Es importante destacar que para poder estimar el ancho de banda probable para 5, 10 y 20 años se tuvo en consideración la duración de los proyectos y sus puestas en marcha entendiendo que toda minería está orientada a una minería inteligente, requiriendo un mayor consumo de ancho de banda que el actual, estimando un factor multiplicativo ad hoc al análisis en cuestión.

4.8 Análisis de los Escenarios Probables a 5, 10 y 20 años.

Análisis de los Escenarios Probables a 5, 10 y 20 años, de la infraestructura de telecomunicaciones para transporte de datos de alta velocidad en la gran minería.

Para poder hacer una proyección de los posibles escenarios a futuro en la infraestructura, podemos concluir que ya hoy se están dando pasos importantes en lo que es el uso de herramientas, sistemas y equipamientos en las nuevas minas que se están poniendo en operación o aquellas que por un tema de aumento de productividad y seguridad ha incrementado el nivel tecnológico de su infraestructura.

A continuación, presentamos una matriz donde constatamos que estas dos variables (capacidad productiva y Estrategia de Operación) se pueden correlacionar y en definitiva incide directamente en el incremento de la demanda de tráfico de datos.

Tabla 4-7 Matriz de incremento de la demanda de tráfico de datos

	Bajo consumo de datos	Alto consumo de datos
Capacidad Productiva	Si la capacidad productiva es baja, necesariamente su infraestructura y grado tecnológico debiera ser bajo. En este rango se encuentra la mediana minería y mineras que se encuentren en su fase final, previo a cierre	Si la operación tiene una capacidad de producción grande, la probabilidad de que los equipos y tecnología que utilice por el mero hecho de su volumen ya es importante.
Estrategia de Operación	La estrategia de operación, va a determinar el grado de tecnología que será incorporada a la operación. Si el grado de penetración tecnológica es bajo, el consumo de datos también lo será. Actualmente hay operaciones de minas con un grado de penetración medio que se pueden ubicar en este rango, al igual que la mediana minería en general	Si a ese volumen de producción se le complementa con un alto grado de penetración de tecnología, el consumo de datos y su tráfico será alto y sus perspectivas de crecer aun mayores, ya que una vez instalados los equipos las potencialidades de ir creciendo transversalmente en la operación son enormes.

Fuente: elaboración propia.

En lo que respecta prospectar el crecimiento de infraestructura de telecomunicaciones, es conveniente separar lo que ocurre en la operación propiamente tal (LAN) y lo que ocurre entre las oficinas y la operación (WAN).

En lo que respecta la operación (LAN) lo más probables es que a menos que sus valores de instalación o servicios tercerizados, bajen sus costos sustancialmente, estos serán reemplazados por nuevas tecnologías existentes, más baratas en zonas más aisladas o de difícil implementación en especial en operaciones subterráneas y solo se instalará Wi-Fi por ejemplo donde se justifique la inversión. En operaciones de rajo abierto, ya se están utilizando equipos inteligentes sustituyendo o complementando tecnologías caras y poco eficaces.

En lo que respecta las conexiones de grandes distancias entre operación y oficinas principales, los llamados a liderar estos desarrollos, que al mismo tiempo mejoren los estándares actuales son los mismos proveedores del servicio.

Claramente la tendencia a telecomandar/teleoperar, la incorporación de IoT y “big data” y el mayor volumen de información a transmitir de forma segura y confiable a los centros neurálgicos y directivos va a seguir demandando un incremento en la oferta de ancho de banda a precios razonables.

A continuación, en base a los proyectos futuros y estimación de la demanda realizada en el punto anterior, se entregan los resultados de la prospección solicitada a 5, 10 y 20 años para cada yacimiento minero en operación y futuro.

Tabla 4-8 Prospección de demanda para faenas mineras en Chile

	Prospección	5 Años	10 Años	20 Años
Cerro Colorado	(MIN) (kbps)	20.210	255.175	471.575
	(MAX) (kbps)	104.500	384.550	733.750
Quebrada Blanca	(MIN) (kbps)	18.350	183.955	338.350
	(MAX) (kbps)	74.000	268.900	598.750
Collahuasi	(MIN) (kbps)	56.940	573.690	967.325
	(MAX) (kbps)	226.500	831.950	1.512.500
El Abra	(MIN) (kbps)	18.130	187.665	376.025
	(MAX) (kbps)	89.000	297.400	587.500
Radomiro Tomic	(MIN) (kbps)	10.500	127.250	271.750
	(MAX) (kbps)	45.500	184.650	369.050
Chuquicamata	(MIN) (kbps)	86.350	1.405.005	2.495.050
	(MAX) (kbps)	523.500	2.084.250	3.915.000
Michilla-Lince	(MIN) (kbps)	23.210	75.515	151.425
	(MAX) (kbps)	29.500	89.850	176.950
Mantos Blancos	(MIN) (kbps)	10.330	319.405	692.145
	(MAX) (kbps)	104.000	465.300	937.100
Lomas Bayas	(MIN) (kbps)	15.470	231.145	482.175
	(MAX) (kbps)	83.000	339.300	700.000
Spence	(MIN) (kbps)	11.260	165.020	426.400
	(MAX) (kbps)	63.000	249.000	592.500

Estudio de demanda de infraestructura de telecomunicaciones en el área geográfica de la Gran Minería del Norte y la Astronomía

	Prospección	5 Años	10 Años	20 Años
El Tesoro	(MIN) (kbps)	9.730	167.305	432.450
	(MAX) (kbps)	60.000	248.100	588.750
Escondida	(MIN) (kbps)	71.740	874.370	1.693.450
	(MAX) (kbps)	331.000	1.280.900	2.542.500
Zaldívar	(MIN) (kbps)	12.810	188.375	416.845
	(MAX) (kbps)	69.000	280.500	573.000
El Salvador	(MIN) (kbps)	19.720	100.520	212.180
	(MAX) (kbps)	103.000	232.300	434.100
Manto Verde	(MIN) (kbps)	6.560	131.130	284.480
	(MAX) (kbps)	45.500	193.950	390.650
La Candelaria	(MIN) (kbps)	36.900	381.150	841.350
	(MAX) (kbps)	168.500	588.350	1.189.950
Andacollo	(MIN) (kbps)	10.970	106.365	226.745
	(MAX) (kbps)	42.500	159.050	316.350
Los Pelambres	(MIN) (kbps)	23.370	315.235	686.285
	(MAX) (kbps)	117.500	465.250	939.250
El Soldado	(MIN) (kbps)	30.560	201.180	417.080
	(MAX) (kbps)	108.500	324.950	625.650
Andina	(MIN) (kbps)	27.820	121.920	246.430
	(MAX) (kbps)	139.000	298.000	543.000
Los Bronces	(MIN) (kbps)	29.330	317.815	688.465
	(MAX) (kbps)	121.000	466.100	939.200
El Teniente	(MIN) (kbps)	147.160	1.332.220	2.443.525
	(MAX) (kbps)	422.000	1.758.200	3.406.250
Ministro Hales	(MIN) (kbps)	14.300	165.320	333.950
	(MAX) (kbps)	68.500	250.050	503.750
Gabriela Mistral	(MIN) (kbps)	8.940	108.080	242.775
	(MAX) (kbps)	39.000	156.600	338.750

Fuente: elaboración propia.

Es posible observar que la demanda de anchos de banda a medida que se avanza en el tiempo tiene un crecimiento exponencial, esto pues actualmente las operaciones mineras en general cuentan con muy poco desarrollo tecnológico en cuanto a telecomando y operaciones autónomas/semi-autónomas, siendo estas operaciones las que consumen el mayor ancho de banda disponible hoy en día en aquellas faenas que si poseen estas tecnologías, así mismo, es mandatario contar con CCTV lo cual aumenta aún más el consumo de ancho de banda, teniendo en varios casos tener que reducir la resolución de los equipos de video para poder transmitirlos.

La Tabla 4-9 resume la proyección a 5, 10 y 20 años del total de demanda de ancho de banda de la gran minería chilena.

Tabla 4-9 Proyección de la demanda de ancho de banda en minería

Prospección	Ancho de banda mínimo (Mbps)	Ancho de banda máximo (Mbps)
0 Años	44	44
5 Años	721	3.178
10 Años	8.035	11.897
20 Años	15.838	23.454

Fuente: elaboración propia a partir del modelo prospectivo

4.9 Tendencias

Ya se están viendo en licitaciones que están llevando a cabo que empresas del rubro de telecomunicaciones, que éstas están cada vez más interesadas en participar en el negocio de telecomando y operaciones autónomas, esta tendencia incipiente, vendrá a instalarse de forma muy agresiva en la medida que las operaciones sigan incrementando su demanda de tráfico de datos.

Empresas multinacionales proveedoras de estos servicios con presencia en países como Perú, Colombia, Brasil, Bolivia, Argentina, fácilmente podrán ofrecer los mismos servicios, y si no están presentes en estos países, es una buena oportunidad para ingresar al o los mercados.

5 ANTECEDENTES DE LAS ACTUALES REDES INALÁMBRICAS, Y DE SU EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA ESPERADA Y PROPUESTA DE SOLUCIONES IOT

Hoy en día la mayor cantidad de operaciones mineras está utilizando una tecnología de transporte de datos de alta velocidad llamada GPON (Gigabit Passive Optical Network), el cual utiliza fibra óptica para llegar hasta el suscriptor. Esta tecnología fue aprobada en 2003-2004 por el ITU-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones), norma que todos los fabricantes de equipos deben cumplirla para garantizar la interoperabilidad. En resumen, se trata de las estandarizaciones de las redes PON a velocidades superiores a 1 Gbps (ramonmillan.com)

Dentro de sus principales parámetros destacan:

Arquitectura	Flujo de bajada de pico	Flujo de subida de pico	Splitter	Protocolo Estándar	Organismo
GPON	2.5 Gbit/s	1.25 Gbit/s	1x128	ATM G.984	ITU-T

5.1 Terminología

FTTH (Fiber to the Home): Red de fibra óptica hasta el hogar – Punto-a-punto. 1 o 2 FO desde central para cada usuario/hogar – Punto-multipunto. 1FO desde central compartida por múltiples usuarios
Otras variantes FTTN, FTTC, FTTB y FTTO

PON (Passive Optical Network): Red óptica punto-multipunto en la que no existen elementos activos entre las instalaciones del operador (OLT) y el equipo terminal de usuario (ONT).

GPON: Conjunto de recomendaciones G.984.x del ITU-T donde se describen las técnicas para compartir un medio común (FO) por varios usuarios, encapsular la información y gestionar los elementos de red, entre otros aspectos.

OLT (Optical Line Terminal): Equipo de central.

ONT/ONU: (Optical Network Termination - Unit): Equipo de usuario.

BPON: Broadband Passive Optical Network

EPON: Ethernet Passive Optical Network

EDFA=Erbium Doped Fiber Amplifier

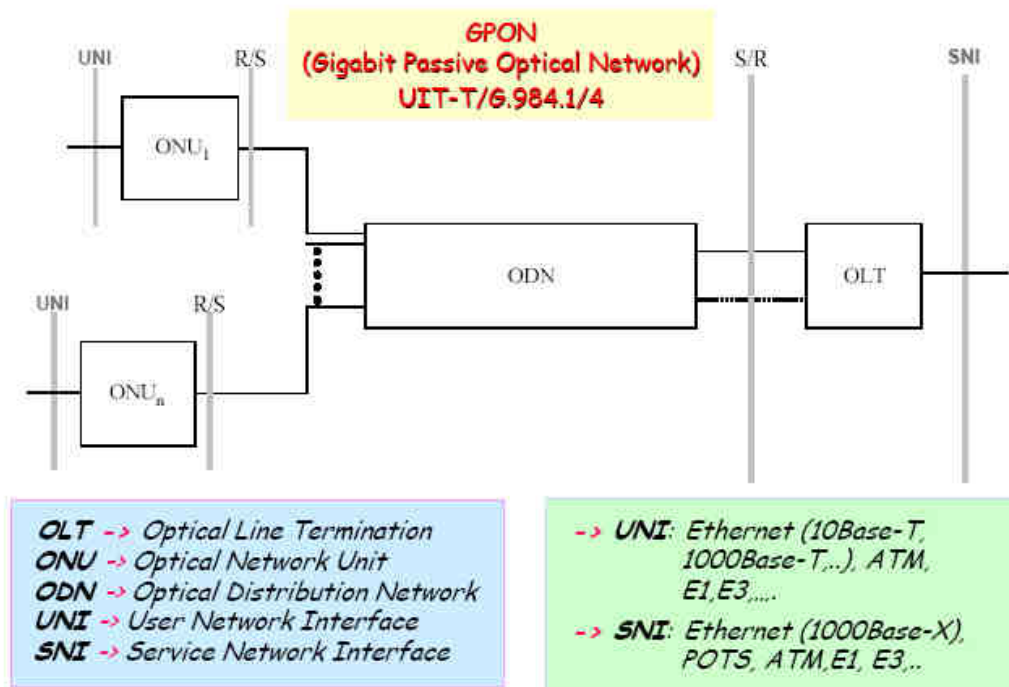
S/R = Send/Receive

R/S = Receive/Send

SNI = Service Node Interface

UNI= User Node Interface

Figura 5-1 Sistema GPON.



Fuente: (Fiérrez Aguilar, 2009)

5.2 Ventajas Diferenciales

Ancho de banda y distancia: El medio óptico permite superar los límites de ancho de banda y distancia existentes en las tecnologías xDSL.

Economía: xPON reduce el CAPEX en fibra óptica (1FO para muchos usuarios) y OLT (1 puerto en la OLT para muchos usuarios). Además es posible suprimir la red de par telefónico y cable coaxial.

Calidad de servicio: GPON dispone de un modelo de QoS que garantiza el ancho de banda necesario para cada servicio y usuario.

Seguridad: La información en la fibra óptica viaja cifrada en AES.

Operación y mantenimiento: De manera nativa, GPON cuenta con un modelo de gestión que facilita al operador la administración remota de los equipos de usuario. Reducción de OPEX.

Escalabilidad: Hoy hablamos de GPON (2,5 Gbps para 64 usuarios) mañana podremos evolucionar XG-PON y seguir utilizando la misma infraestructura de fibra.

De acuerdo a Ccapitalia, "El acceso a un medio compartido común (la fibra óptica) requiere de un mecanismo determinista que evite colisiones entre las ONT/ONUs y que garantice el ancho de banda a cada usuario:

Todos los elementos de la red GPON están sincronizados a una referencia temporal común. De esta forma es posible asignar periodos estrictos y exclusivos de acceso al medio: TDMA (Time Division Multiple Access)

La sincronización se complementa con un sofisticado método de ranging y ecualización para que el acceso al medio de la ONT/ONU se produzca en el instante preciso, acorde con la distancia física que le separa de la OLT

Desarrollo de mecanismos OAM (operación, administración y mantenimiento) que faciliten al operador la gestión centralizada de los equipos de usuario (ONT/ONUs), sin la intervención de estos.

- Permite establecer un punto de demarcación entre la red de operador y la del cliente.
- Gestión remota de las ONTs (teledescarga de actualizaciones, parámetros de funcionamiento, etc).
- Facilita de configuración y gestión de servicios de usuario: ancho de banda, características del servicio de voz, vídeo multicast, etc.”

(www.ccapitalia.net, 2012)

Tabla 5-1 Comparación principales características PON

	BPON	EPON	GPON
Estándar	UIT-T G.983.x	IEEE 802.3ah	UIT-T G.984.x
Caudales	• 155,52 Mbit/s Down y 155,52 Mbit/s Up. • 622,08 Mbit/s Down y 155,52 Mbit/s Up. • 622,08 Mbit/s Down y 622,08 Mbit/s Up. • 1,244,16 Mbit/s Down y 155,52 Mbit/s Up. • 1,244,16 Mbit/s Down y 622,08 Mbit/s Up.	• Régimen de línea: 1,250 Mbit/s, simétrico. • Codificación de línea 8B/10B. • Régimen de trama: 1,000 Mbit/s, simétrico.	• 1,244,16 Mbit/s Down y 155,52 Mbit/s Up. • 1,244,16 Mbit/s Down y 622,08 Mbit/s Up. • 1,244,16 Mbit/s Down y 1,244,16 Mbit/s Up. • 2,488,32 Mbit/s Down y 155,52 Mbit/s Up. • 2,488,32 Mbit/s Down y 622,08 Mbit/s Up. • 2,488,32 Mbit/s Down y 1,244,16 Mbit/s Up. • 2,488,32 Mbit/s Down y 2,488,32 Mbit/s Up.
Tipo de fibra	Monomodo (UIT-T G.652)	Monomodo (UIT-T G.652)	Monomodo (UIT-T G.652)
Número de fibras	1 ó 2 fibras	1 fibra	1 ó 2 fibras

	BPON	EPON	GPON
Longitudes de onda	Con una sola fibra: • Down: ♦ 1,480 a 1,500 nm para datos. ♦ 1,550 a 1,560 nm para distribución video. • Up: 1,260 a 1,360 nm. Con dos fibras: una para cada sentido de transmisión. En todas ellas se trabaja en la banda de 1,260 a 1,360 nm (se mantiene la banda de 1,550 a 1,560 nm para distribución de video en sentido descendente).	• Down: 1,550 a 1,560 nm para distribución de video. • Up: 1,260 a 1,360 nm.	Con una sola fibra: • Down: ♦ 1,480 a 1,500 nm para datos. ♦ 1,550 a 1,560 nm para distribución video. • Up: 1,260 a 1,360 nm. Con dos fibras: una para cada sentido de transmisión. En todas ellas se trabaja en la banda de 1,260 a 1,360 nm (se mantiene la banda de 1,550 a 1,560 nm para distribución de video en sentido descendente).
Split ratio	Hasta 32	Hasta 16	Hasta 128
Alcance máximo	20 km	20 km	60 km
Variación máxima de distancia entre ONUs	20 km	20 km	20 km
Encapsulado de la información entre OLT y ONU	Sobre celdas ATM	Sobre tramas ethernet	Sobre celdas ATM, o bien empleando Ethernet o TDM, usando para ello GEM (<i>GPON Encapsulation Mode</i>), basado en GFP (<i>Generic Framing Procedure</i>), o dual

(www.ccapitalia.net, 2012)

5.3 Actuales Tipos de Redes Inalámbricas

Hoy en día las comunicaciones en tiempo real y determinísticas van adquiriendo cada vez más mayor relevancia en soluciones mineras e industriales que operan procesos cíclicos y que requieren tiempos de respuesta inferiores a 100 mseg.

Los tipos de redes inalámbricas más comunes son:

5.3.1 WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)

WiMAX es una norma de transmisión de datos a través de microondas de radio basada en el estándar IEEE 802.16. Esta tecnología es usada comúnmente para Internet inalámbrica de banda ancha dentro de un área geográfica determinada.

Esta es una tecnología inalámbrica al igual que el Wi-Fi pero con la diferencia de que Wi-Fi es solo para crear redes inalámbricas locales obteniendo el servicio a través de un cable mediante un modem. Pero WiMAX obtiene el servicio de manera inalámbrica y la cobertura es amplia.

También se debe aclarar que WiMAX no usa redes celulares 3G (3ra Generación) WiMAX es pre-4G (Una tecnología que precede la 4ta Generación la cual NO usa telefonía móvil ej: WCDMA, HSPA, UMTS...). WiMAX tiene el propósito de democratizar el acceso al Internet de Banda Ancha, es decir permitir el acceso a banda ancha inalámbrica y de alta velocidad a un precio que todo mundo pueda pagar. Las compañías Intel y Nokia son las cuales se han dedicado a desarrollar e impulsar esta tecnología.

Las ventajas más significativas del WiMAXson:

Amplia cobertura de hasta 50 Kms

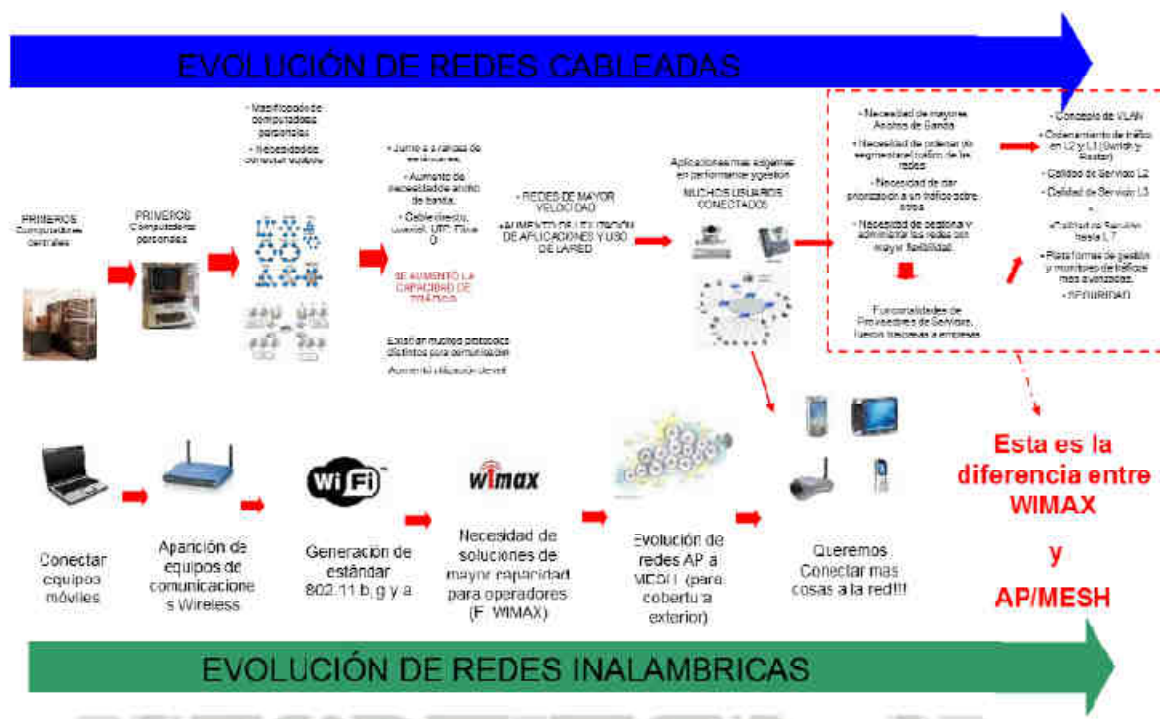
- Se adapta a diferentes topologías de red
- Alta Seguridad
- Internet RuralVelocidades de hasta 70 Mbps
- Capa MAC con soporte de múltiples especificaciones físicas (PHY).
- Anchos de banda configurables y no cerrados.

5.3.2 AP/Mesh

Las redes inalámbricas malladas o bien redes acopladas, se caracterizan por ser un tipo de redes en las que se entrelazan dos topologías de redes inalámbricas, Ad-hoc una que no depende de una infraestructura existente y otra que sí es dependiente. La ventaja es que podemos interconectar varios nodos y formar una malla de conexión con una amplia cobertura. Capaz de balancear cargas de tráfico y potenciales gallas, de modo que si un nodo cae, la red sigue funcionando restableciendo rutas alternativas de acceso.

“La tecnología mesh utiliza los estándares establecidos de una forma totalmente novedosa. El conjunto de nodos proporciona una zona de cobertura inalámbrica muy extensa. Los nodos son capaces de establecer comunicación entre ellos en cuanto sus zonas de cobertura se solapan entre sí (ver la ilustración). Por otro lado, si se solapan varias zonas de cobertura, aunque fallen uno o más nodos, la red se sustenta y sigue operando. El usuario probablemente ni se enterará de esto, ya que su equipo se conectará automáticamente (*roaming*) con el nodo más próximo operativo. Cuantos más puntos de acceso a Internet disponga, más fiable y rápida será la red .”backhaul”. (¿POR QUÉ UNA RED MESH?)

Figura 5-2 Evolución de redes cableadas e inalámbricas.



Fuente: (Manosilvas, 2012)

A continuación, se puede apreciar un cuadro comparativo de las capacidades de cada red inalámbrica que actualmente se usa en la minería:

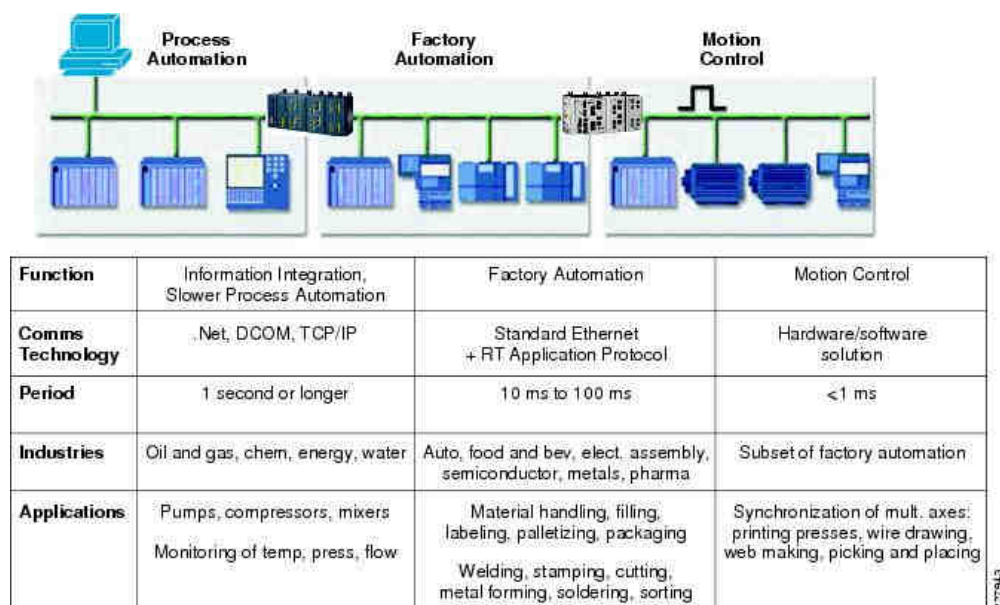
Tabla 5-2 Capacidades de redes inalámbricas

Esto se llevó a minería	WIFI	MESH	MESH 2	WIMAX
Capacidad máxima	15 Mbps	54 Mbps	108 Mbps	800 Mbps
pps máximo	3000	4000	8000	600 mil
QoS	L 2	L 2	L 2	L2, L3, L4

Fuente: (Contreras, 2014)

No es extraño encontrar en las operaciones mineras una combinación de tipos de redes, en donde por ejemplo, una combinación de AP/Mesh con Wimax permite fortalecer el alcance de la tecnología Mesh y ofrecer accesos a los usuarios en frecuencias de 2,4 GHz y 5,4 GHz aumentando los canales libres disponibles.

Figura 5-3 Requerimientos acorde a aplicaciones en tiempo real.



Fuente: (CISCO, 2016)

5.4 Internet of Things (IoT)

IoT (por sus siglas en inglés) es la captura de información estructurada y desestructurada que permite tomar decisiones en tiempo real.

Estudio de demanda de infraestructura de telecomunicaciones en el área geográfica de la Gran Minería del Norte y la Astronomía

Según Kibernetum (Kibernetum Chile, 2016), “no cabe duda que el Internet de las Cosas se ha convertido en una de las tendencias tecnológicas más importantes de la última década. Su inversión tanto por parte de proveedores de soluciones de red y empresas que van desde conglomerados internacionales hasta PYMEs han hecho de su crecimiento algo exponencial e imposible de ignorar tanto en Chile como en el mundo”.

“Siendo la minería una de las industrias más importantes para el PIB nacional, está claro que es una de las que más beneficiadas se verá durante los próximos años con la creciente adopción de estas tecnologías. Si bien los avances han comenzado en forma moderada, se han dado pasos significativos para la integración de esta innovación en este sector industrial”.

“La combinación de sensores y programas que permitan calcular de forma efectiva los riesgos implicados durante la extracción, puede generar un cambio significativo en la prevención de riesgos, no solo en personal sino que también entre los vehículos y la maquinaria implicada durante todo el proceso de faenado de la industria minera. Sensores usando tecnología infrarroja, video y radar para mantener una ubicación óptima dentro de la mina podrán conectarse de manera inalámbrica para establecer el máximo nivel de monitoreo a todas horas”. (Kibernetum Chile, 2016).

5.5 Robótica y El Internet de Todo (OIE)

De acuerdo a (Kibernetum Chile, 2016) , “Una creciente integración de maquinaria robótica a diversas etapas de la línea de trabajo también irá de la mano junto a la adopción de IoT en minería. Cargadores frontales autónomos, tareas tele-operadas y brazos mecánicos cuyo desempeño y funcionamiento podrá estar conectado entre sí a través de tecnologías como las que ya ofrece el IoT en Chile en otras industrias. Si bien la robótica es utilizada en Chile hace más de dos décadas, la llegada del IoT permitirá optimizar aún más su trabajo, aumentando de manera significativa la productividad de la industria en general”.

Todo lo antes mencionado forma parte de una imagen aún más grande: la Internet de las Cosas Industrial (IIoT), de la cual se espera una inversión de 500 mil millones de dólares para el año 2020. Como se desprende de los datos antes mencionados, está claro que la integración del IoT en Chile recién está dando sus primeros pasos, pero considerando su importancia para la economía nacional y la rápida adopción de la tecnología por parte de las empresas nacionales, es innegable que significará un gran aporte en los años a venir, permitiendo crear una extracción más óptima y al nivel de los más altos estándares internacionales de productividad. (Kibernetum Chile, 2016).

5.6 Tecnologías para Soluciones IoT

En el espectro de soluciones tecnológicas para la Minería se han analizado las siguientes tecnologías:

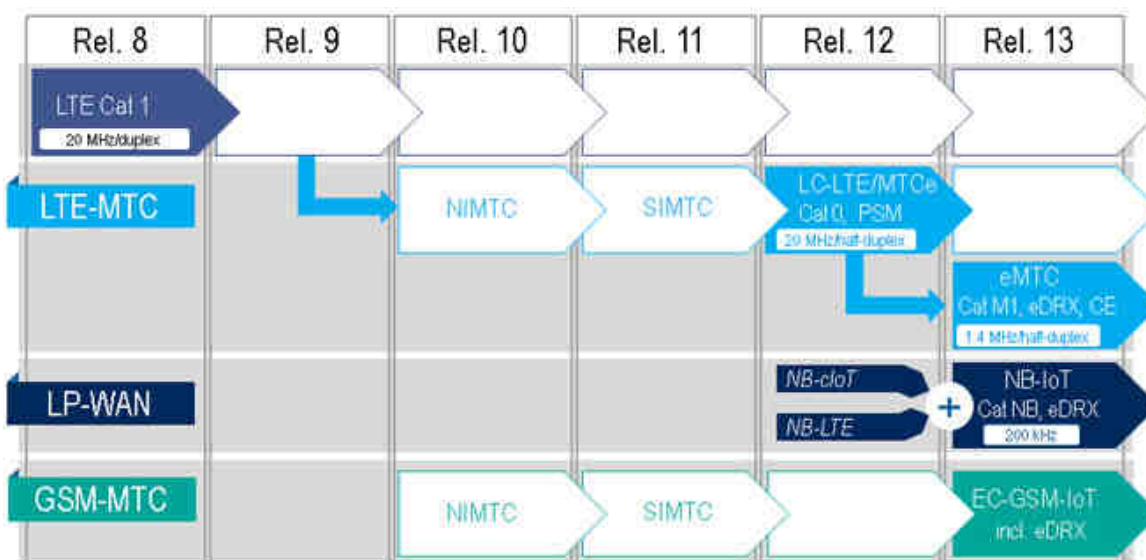
5.6.1 LTE: Long Term Evolution (evolución a largo plazo)

“El LTE es la tecnología de banda ancha inalámbrica la tecnología de banda ancha inalámbrica que permite la transmisión de datos con el fin último de posibilitar el acceso a internet en los dispositivos móviles, destacada por su alta velocidad de subida y bajada de datos. 3GPP En término simples, es la evolución del estándar 3G 3G, y anterior a la tecnología 4G. Dentro de sus ventajas, principalmente es el incremento en la velocidad de navegación, con un máximo entre 170 Mbps y 300 Mbps, dependiendo de la cantidad de antenas que posea el dispositivo. Así mismo, permite al usuario una mayor rapidez en la descarga y subida de datos, y un estándar más económico para los fabricantes WiMAX”. (htcmania.com)

5.6.2 eMTC, NB-IoT y 5G/IoT

Alrededor del 60 % de los dispositivos móviles del Internet de las cosas (IoT) actuales utilizan tecnologías de comunicaciones móviles de segunda generación, como, por ejemplo, GPRS. La transición a la tercera generación se producirá en los próximos años, especialmente a medida que aumente la necesidad de velocidades de transmisión más altas y de disponibilidad de red en el largo plazo. (rohde-schwarz, 2016)

Figura 5-4 Estandarización del IoT de 3GPP en la evolución hacia 5G.



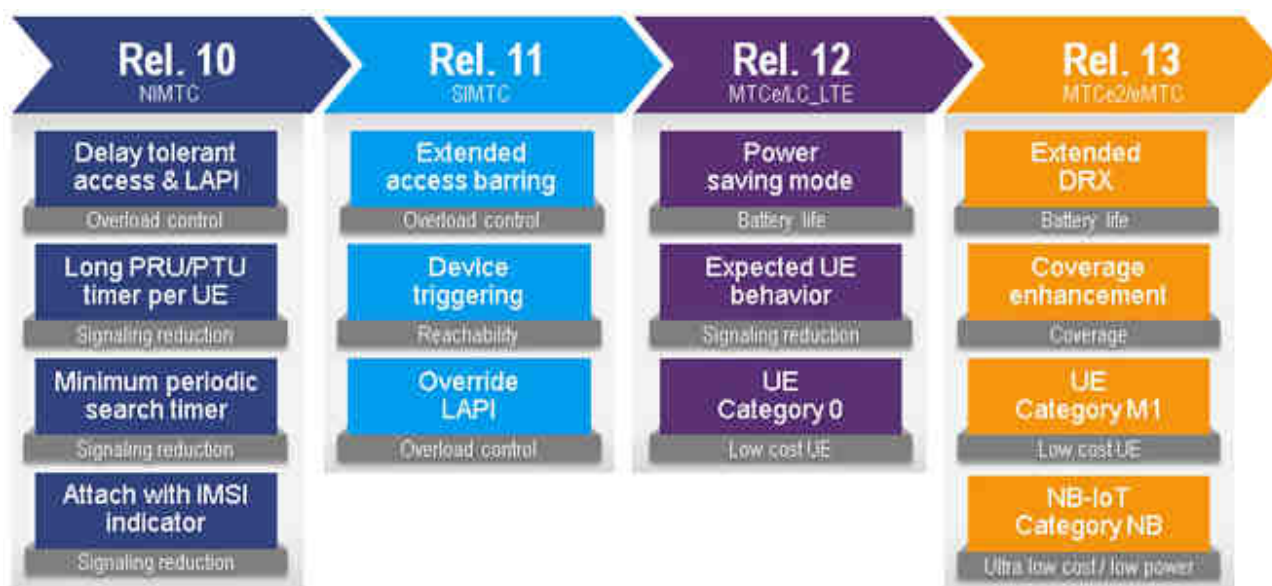
Fuente: (rohde-schwarz, 2016)

Dado que “la tecnología LTE está optimizada principalmente para el mercado de banda ancha móvil, hasta el momento el IoT ha generado escasa demanda de la tecnología 4G. Además, el costo de un módem LTE sigue siendo relativamente alto comparado con el de un módem GSM. No obstante, algunos aspectos de LTE lo hacen cada vez más atractivo:

- Mejora de la cobertura global
- Disponibilidad en el largo plazo
- Ventajas tecnológicas en términos de eficiencia espectral, latencia y rendimiento de datos

La necesidad de soluciones optimizadas para el mercado del IoT se reconoció en una etapa temprana, por lo que se han desarrollado mejoras específicas para las comunicaciones de tipo máquina (MTC). Por ejemplo, en las versiones 10 y 11 se introdujeron características destinadas a proteger la red móvil frente a la sobrecarga derivada de la multitud de dispositivos del IoT (SIMTC, NIMTC)”. (rohde-schwarz, 2016)

Figura 5-5 Comunicaciones de tipo máquina LTE/LTE-A/LTE-A Pro.



Fuente: (rohde-schwarz, 2016)

“Con las mejoras de las comunicaciones de tipo máquina (MTCe) y el bajo costo de LTE (LC_LTE), la versión 12 introdujo soluciones optimizadas para dar respuesta a los principales requisitos de los dispositivos del IoT, entre los que se incluyen un nivel reducido de tráfico de datos, consumo de energía y costos:

- Un modo de ahorro de energía (PSM) apto para redes de sensores que solo necesitan enviar datos al dispositivo de forma ocasional
- La nueva categoría 0 de dispositivos LTE que se supone que solo tiene un 50 % de la complejidad de un módem de categoría 1, lo que permite reducir la velocidad de transmisión compatible hasta 1 Mbps y eliminar el modo completamente dúplex y varias antenas”.

(rohde-schwarz, 2016)

5.6.3 eMTC, o LTE-M

Forma parte de la versión 13, incluye medidas adicionales de reducción de costos, especialmente anchos de banda más bajos tanto en el enlace ascendente como en el descendente, velocidades de transmisión más bajas y una potencia de transmisión reducida.

Una ampliación del temporizador de DRX en los modos en espera y conectado debería proporcionar una vida útil de la batería considerablemente más larga, de varios años. Existe asimismo la necesidad de mejorar el alcance de aplicaciones en las que intervengan contadores inteligentes instalados en

[Estudio de demanda de infraestructura de telecomunicaciones en el área geográfica de la Gran Minería del Norte y la Astronomía](#)

condiciones extremas de recepción, como sótanos, o para dispositivos muy dispersos, como en aplicaciones agrícolas. El uso de diversas técnicas, como repeticiones múltiples de datos o unos requisitos de plazos y errores menos exigentes, debería proporcionar mejoras notables.

La versión 13 también responde al requisito del mercado del IoT de un costo extremadamente por medio de una tecnología llamada NB-IoT. NB-IoT ocupa menos de 200 kHz de espectro y se puede implantar dentro de la banda mediante la reutilización de bloques de recursos LTE libres, o de forma independiente en el espectro entre portadoras LTE adyacente o en el espectro GSM libre. Se pretende reutilizar en gran medida las características y funciones que ya están disponibles en LTE.

La Tabla 5-3 Tecnologías para transmisión de datos Tabla 5-3 compara las distintas tecnologías para transmisión de datos:

Tabla 5-3 Tecnologías para transmisión de datos

	LTE Cat. 1 (ver. 8)	LTE Cat. 0 (ver. 12)	LTE Cat. M1 (ver. 13)	NB-IoT (ver. 13)
Velocidad máxima enlace descendente	10 Mbps	1 Mbps	<1 Mbps	150 kbps
Velocidad máxima enlace ascendente	5 Mbps	1 Mbps	<1 Mbps	150 kbps
Ancho banda receptor estación móvil	20 MHz	20 MHz	1,4 MHz	200 kHz
Máx. potencia transmisión estación móvil	23 dBm	23 dBm	23 dBm o 20 dBm	23 dBm o 20 dBm
Modo dúplex	Dúplex completo	Semidúplex (opc.)	Semidúplex (opc.)	Semidúplex

Fuente: (rohde-schwarz, 2016)

“En la versión 14 cabe esperar mejoras y optimizaciones adicionales para dar respuesta al crucial mercado del IoT, como, por ejemplo, la reducción de la latencia a 1 ms o la posibilidad de establecer comunicaciones entre vehículos (V2V). Estas actividades también allanarán el camino para la quinta generación de comunicaciones móviles (5G), en las que una latencia extremadamente baja, una vida útil de la batería muy larga y una enorme cantidad de dispositivos también desempeñarán un papel central” (rohde-schwarz, 2016).

5.7 Protocolo de comunicación Actual IPv4 y el próximo IPv6.

En 2020 habrá en el mundo aproximadamente 26.000 millones de dispositivos con un sistema de adaptación al Internet de las Cosas. Abi Research, por otro lado, asegura que para el mismo año existirán 30.000 millones de dispositivos inalámbricos conectados a Internet. Por su parte Cisco, uno de los grandes abanderados de esta tendencia, predice que para el 2017 ya habrá 25.000 millones de dispositivos conectados y que se llegará a los 50.000 millones en el 2020. . (Guilarte, 2014)

5.8 Aplicaciones.

En cuanto a aplicaciones reales, es posible destacar un caso de estudio realizado por Goldcorp⁹:

Empresa: Goldcorp

Industria: Mining

Ubicación: Vancouver, Canadá

Empleados: 19.000 personas a nivel mundial.

La mina Éléonore está compuesta por más de 1.000 personas.

Goldcorp necesitaba tecnología que pudiera ofrecer visibilidad y administración mejoradas sobre sus operaciones, independientemente de dónde se encuentren.

Desafío:

- Maximizar la eficiencia de la producción mediante el seguimiento de todas las operaciones mineras.
- Mantener a los empleados seguros con operaciones remotas y monitoreo de áreas de trabajo peligrosas.
- Controlar los costos de producción a través de una mejor gestión de los activos y de la operación.

Solución: Construir la mina conectada

- La visibilidad en tiempo real, el monitoreo y el control de ventilación proporcionan soporte para el sistema de ventilación bajo demanda.
- Una única red IP multiservicio proporciona conectividad inalámbrica en ambientes de demanda.
- La solución Partner RFID permite el seguimiento en directo de todas las personas y activos en cualquier parte de la mina.

Para obtener la visión y el control que necesitaba en la mina Éléonore, Goldcorp implementó una solución Cisco Connected Mining. Con Cisco, Goldcorp puede administrar sus operaciones de comunicaciones y minería en una red IP multiservicios y segura. Construido para soportar duras condiciones, la solución proporciona un acceso unificado y seguro desde cualquier dispositivo y cualquier ubicación.

Resultados

- La ventilación bajo demanda reduce los costos de energía entre \$ 1.5 y \$ 2.5 millones por año.
- El seguimiento mejorado permite localizar a los empleados dentro de la mina instantáneamente en caso de una emergencia de 45 a 50 minutos más rápido que antes.

⁹Caso de estudio de Goldcorp extraído de (Goldcorp)

[Estudio de demanda de infraestructura de telecomunicaciones en el área geográfica de la Gran Minería del Norte y la Astronomía](#)

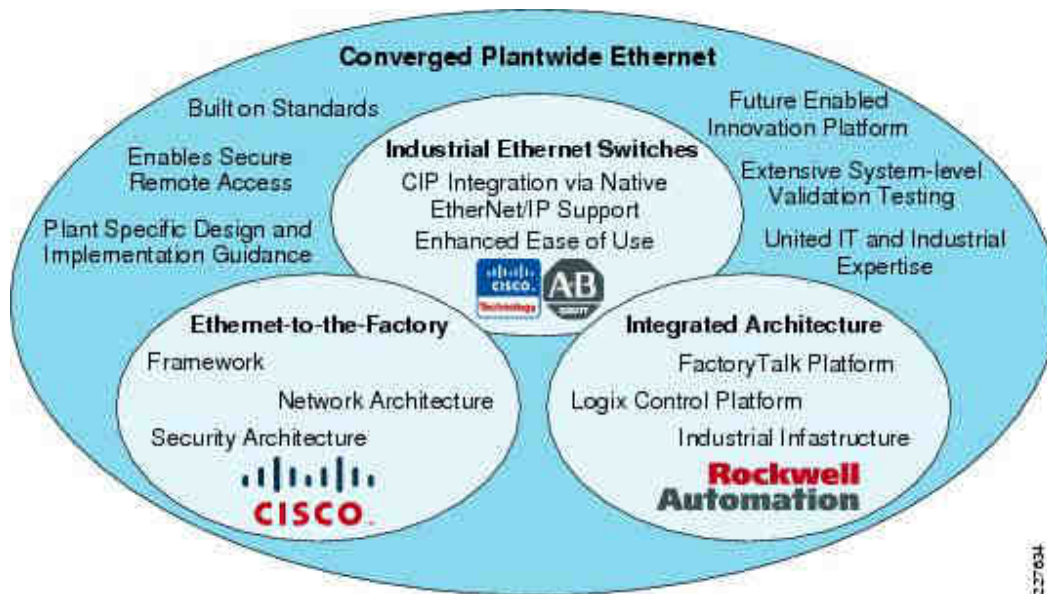
- El seguimiento mejorado de activos proporciona una visión casi real del estado y la ubicación del equipo para operaciones más seguras y eficientes.

5.9 CPwE, Tecnología detrás de la Solución en la planta Eleonor de Goldcorp.

Coverage Plantwide Ethernet es una solución desarrollada en conjunto entre Cisco y Rockwell Automation. Ambas empresas creen que la tecnología estándar de redes Ethernet e IP ofrece valor agregado dentro de las operaciones industriales cuando la tecnología es parte de arquitecturas integradas IACS (Integrated Automation and Control Systems) más grandes. Cisco llama a esto la arquitectura Ethernet-to-the-Factory (EttF). Rockwell Automation llama a esta Arquitectura Integrada. La arquitectura Ethernet convergente en toda la planta (CPwE) se une a estas arquitecturas.

El propósito de la arquitectura CPwE, un conjunto de arquitecturas de referencia enfocadas en la fabricación, es ayudar a acelerar el despliegue exitoso de tecnologías de redes estándar y la convergencia de las redes de fabricación y redes empresariales. Esta arquitectura de solución y las directrices de diseño e implementación relevantes ayudarán a proporcionar confianza y antecedentes necesarios para desplegar con éxito tecnologías de redes estándar e integrar IACS y redes empresariales. Esta arquitectura de solución CPwE debe adaptarse para soportar IACS. Al adoptar la arquitectura de la solución, el proceso de fabricación funcionará a niveles más altos de rendimiento, eficiencia y tiempo de actividad que en las soluciones anteriores. Al mismo tiempo, la solución debe integrar de forma segura el SIGC en el entorno más amplio de la fabricación; Sólo en este punto todos los beneficios estarán disponibles para la empresa de fabricación. (Goldcorp)

Figura 5-6 Arquitectura CPwE.

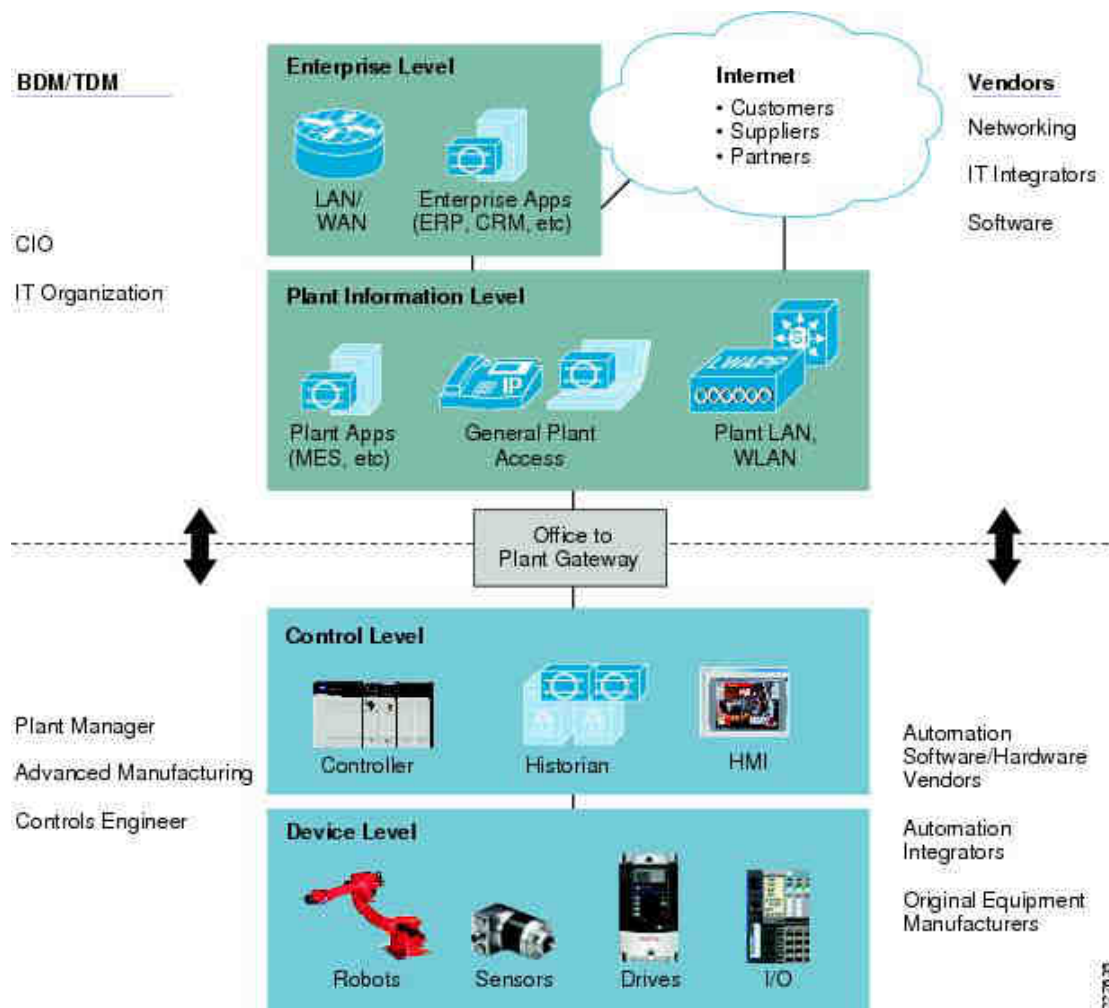


Fuente: (CISCO, 2016)

CPwE es una arquitectura que proporciona servicios de red estándar a las aplicaciones, dispositivos y equipos que se encuentran en las modernas aplicaciones de IACS, y las integra en la red empresarial más amplia. La arquitectura CPwE proporciona directrices de diseño e implementación para lograr la comunicación en tiempo real y los requisitos determinísticos del SIGC, así como la fiabilidad y flexibilidad requeridas por dichos sistemas. Al ofrecer la solución CPwE al mercado, Cisco y Rockwell Automation pueden ayudar a proporcionar a los fabricantes la orientación necesaria para afrontar los desafíos de un IACS completamente integrado y realizar los beneficios empresariales que ofrecen las redes estándar. (CISCO, 2016)

La solución CPwE satisface las necesidades y proporciona un modelo común para la TI y la fabricación, tales como los gerentes de planta y los ingenieros de control. Cada faena tiene diferentes perspectivas y requisitos para una implementación exitosa de CPwE.

Figura 5-7 Arquitectura CPwE.



Fuente: (CISCO, 2016)

En resumen, la IACS y la convergencia de la red empresarial en la que se enfoca la solución CPwE requiere la colaboración tanto de TI como de la fabricación para una implementación y operaciones exitosas. Estas organizaciones suelen tener diferentes objetivos, formas de trabajo y culturas que deben ser reconocidas. Cada organización depende de diferentes socios, proveedores e integradores de sistemas para implementar y operar sus soluciones. IT puede necesitar que sus niveles de sensibilización se planteen en relación con las diferencias y desafíos planteados por el entorno de fabricación.

De acuerdo a (CISCO, 2016), los beneficios operacionales de la solución CPwE:

- Permitir y simplificar la convergencia de la red IACS con las redes empresariales para mejorar el flujo y la integración de la información de fabricación en los sistemas empresariales.
- Permitir el acceso remoto para ingenieros, socios y proveedores de equipos IACS para diagnósticos y mantenimiento. Aumenta la eficiencia y el tiempo de respuesta y permite a los vendedores del SIGC proporcionar servicios a los fabricantes que pueden tener recursos limitados de expertos en la materia (PYME).
- Ayudar a reducir el riesgo, aumentar el tiempo de actividad de la planta y mejorar la efectividad global del equipo (OEE) a través de arquitecturas de referencia validadas con un enfoque en la flexibilidad de la red y la disponibilidad de la aplicación.
- Ayudar a reducir los costos operativos y de capital mediante el uso de estándares abiertos para eliminar la necesidad de soportar múltiples protocolos en las redes IACS y proporcionar a las empresas manufactureras más opciones al comprar equipos IACS.
- Integrar más rápidamente avances en la tecnología de red que vienen de trabajar con tecnologías estándar (por ejemplo, voz, video y seguridad).

La integración de tecnologías avanzadas por proveedores líderes como Cisco y Rockwell Automation proporcionan una propuesta de valor única en relación con el resto de la industria al aportar beneficios más allá de aquellos asociados con la integración y el uso de estándares abiertos, entre los que se incluyen los siguientes:

La combinación de dos áreas de experiencia: la experiencia en redes de Cisco con el IACS y la experiencia en redes industriales de Rockwell Automation.

- Proporcionar arquitectura y terminología para apoyar la convergencia cultural y organizacional, así como facilitar la formación y el diálogo con Ingenieros de TI y Control.
- Proporcionar arquitectura de extremo a extremo con una tecnología consistente, herramientas de gestión, un conjunto de características común y una base de software para implementaciones de flujo continuo y una gestión coherente.
- Proporcionar seguridad integrada específicamente configurada para las redes IACS para proteger activos vitales de fabricación, limitar el acceso a equipos de fabricación y ayudar a resolver problemas como la gestión de parches.
- Proporcionar una base para el despliegue de tecnologías avanzadas adicionales como voz, vídeo e inalámbricos en la red IACS convergente a nivel de celda / área a medida que la tecnología madure y la empresa requiera.
- Simplificar el despliegue y ayudar a superar la brecha que a menudo existe entre las redes IT y IACS mediante la integración y validación de arquitecturas con socios líderes en el mercado IACS que garantizan el cumplimiento de los estándares pertinentes de la industria.

Las capacidades anteriores dependen del despliegue de tecnologías basadas en Ethernet estándar e IP y ayudan a demostrar el valor de los estándares abiertos para diferenciar Cisco y Rockwell Automation de los proveedores que han optado por implementar soluciones en el mercado que no están basadas en estándares Ethernet e IP.

5.10 La productividad factor clave en la optimización del negocio

La industria minera a nivel mundial se encuentra bajo presión para mejorar sus estándares de productividad que permitan garantizar flujos de caja positivos y dividendos para los accionistas. En la década pasada producto del súper ciclo de precios de los commodities, la industria minera comenzó a descuidar su énfasis en productividad y costos, debido a que sus flujos de caja constantemente mostraban indicadores positivos de rentabilidad, esto indujo a que se crearan proyectos de baja rentabilidad y eficiencia en el uso de capital, a su vez las operaciones mineras fueron complejizándose producto de una profundidad mayor traduciéndose en mayores distancias de transporte, una baja constante en las leyes de metal, una baja en la tasa de reemplazo de reservas mineras y mayores tiempos en la construcción de áreas y minas de reemplazo. Todo estos elementos se conjugan para mostrar una industria minera que posee una productividad 28% menor que en la década pasada, después de ajustar por ley de mineral (Moyo & Rehbach, 2015).

La industria minera se encuentra maximizando la utilización de los activos actuales, lo cual podría ser eficiente hasta un cierto nivel, sin embargo, mejoras en productividad son fundamentales para el mejoramiento de la eficiencia en el uso de capital lo cual es clave para re establecer la rentabilidad de la industria minera. Para generar una mejora radical en la productividad de las operaciones mineras se requiere de generar un cambio en la forma de hacer minería.

Tabla 5-4 Utilización de activos de capital (Horas al día de uso del capital instalado)

Fuente	Carguío	Transporte	Chancado	Molienda
Chile	13.7	15.5	16.1	19.4
Internacional	16.5	16.9	17.7	22.7

Fuente: elaboración propia.

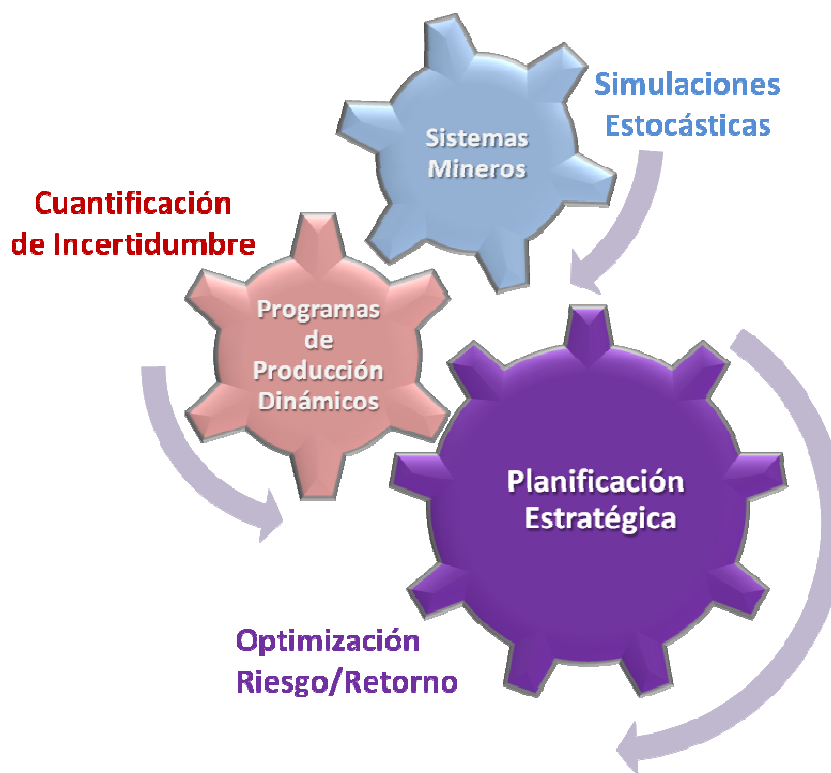
Existe significativo potencial para mejorar la productividad en la industria minera. Una manera de visualizar este potencial es la comparación de la industria minera con otras industrias productivas como gas y petróleo, acero y refinerías de petróleo. La comparación de la eficiencia global de los equipos (OEE) es de 29% para la minería subterránea, 39% para minería a cielo abierto y 69% para chancado y molienda, comparado con 88% en gas y petróleo, 90% en acero y 92% en refinería de petróleo.

Por supuesto que la minería es diferente a otras industrias. Es altamente variable desde la ocurrencia del recurso natural en la mina, lugares y ubicaciones alejadas, transporte de trabajadores a lugares remotos, la resistencia de los equipos a soportar grandes cargas de materiales que poseen diferentes composiciones. Una planificación robusta e integrada con los sistemas productivos es necesaria para mitigar la variabilidad creada por fuerzas externas, ejecución definida por procesos y automatizada

permite eliminar la variabilidad creada por los trabajadores y sus supervisores. El paso fundamental para mejorar la productividad de las operaciones mineras viene de reducir o si es posible eliminar la variabilidad de los procesos que ha hecho a la minería una industria “única”.

La propuesta de REDCO para alcanzar una mejora radical en productividad en la industria minera es integrar de manera coherente, sistémica e integrada los procesos productivos mineros en la concepción del negocio minero, a través, de poseer un sistema de planificación y control de operaciones robusto que permita integrar de manera intrínseca el comportamiento real del mercado, los recursos minerales y los activos que interactúan en el proceso minero. Este sistema de planificación y control debe maximizar el valor del negocio integrando la variabilidad interna y externa contenida en los procesos productivos que componen la cadena de producción minera. El esquema del proceso de planificación propuesto se presenta a continuación.

Figura 5-8 Método de Planificación Minera Robusta propuesto por REDCO



Fuente: elaboración propia.

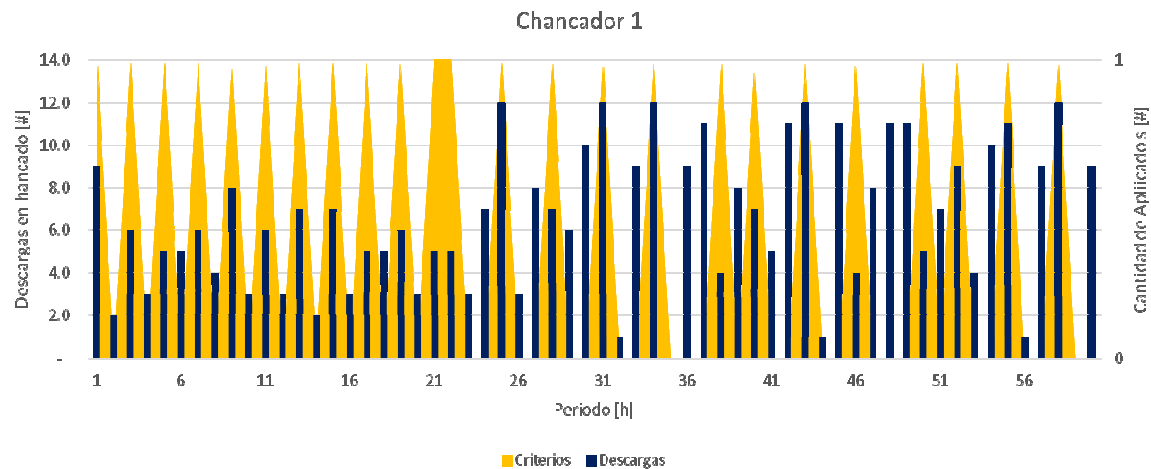
El método REDCO de Planificación Minera consiste en la generación de un set de escenarios productivos los cuales poseen la característica de estar en la frontera eficiente de producción, esto significa que para un determinado nivel de riesgo se maximiza la rentabilidad del escenario, Cabe destacar que el proceso debe generar un set de escenarios posibles y cada uno poseer a su vez una cuantificación de riesgo, de esta forma los tomadores de decisión podrán escoger el mejor escenario

Estudio de demanda de infraestructura de telecomunicaciones en el área geográfica de la Gran Minería del Norte y la Astronomía

que maximiza el valor del negocio corporativo. En este contexto es que cada escenario posee a su vez una cuantificación de riesgo como resultado de incorporar variables aleatorias que representan las fuentes de incertidumbre tanto internas como externas al negocio minero. Cada escenario al ser eficiente en la curva riesgo retorno posee niveles de cobertura óptimos para mitigar un riesgo mayor al estimado. El proceso de planificación propuesto parte con un proceso de simulación del proceso minero completo de mina a puerto de manera de establecer la variabilidad de todas las operaciones unitarias y procesos que componen la cadena de producción minera. A partir de esta caracterización de variabilidad se introducen en una herramienta de simulación de programas de producción la cual permite generar diferentes realizaciones del programa de producción, moviendo variables intrínsecas de planificación minera basados en un algoritmo adaptativo que permite balancear el retraso con el adelanto de diferentes unidades de producción de manera de optimizar la producción de metal en el tiempo u otro objetivo que se planee en el proceso de planificación. Finalmente, el proceso concluye con una optimización de riesgo retorno que permite cuantificar y optimizar las coberturas operacionales y generar diferentes escenarios productivos. (E. Rubio, Agosto 2016)

Una de las características del proceso de planificación propuesto por REDCO es la generación de un rango de programas de producción para escenario productivo, esto deja de lado el concepto de generar un único plan “optimizado”, el cual sabemos que al someterse a la variabilidad operacional no se cumplirá y por ende se generarán desviaciones operacionales que son fuente principal de la falta de eficiencia del uso del capital. Por el contrario, cuando el proceso de planificación propone un rango de diferentes resultados: movimiento mina, costos, producciones, etc., permite gestionar de manera eficiente el uso de los activos para adquirir una filosofía dinámica de operaciones. Esta filosofía dinámica de operaciones consiste en integrar los resultados esperados, resultantes del proceso de planificación, la condición de los activos, la condición del recurso mineral y generar en tiempo real una forma de operar que no necesariamente es constante ni posee las mismas características en el tiempo. Este concepto al instalarse en las operaciones mineras deja de lado las instrucciones comandadas por un supervisor para dejar un proceso computacional que tome las decisiones en tiempo real, utilizando técnicas de machine learning. A continuación se presenta un ejemplo donde se optimiza la producción de cobre fino en función del nivel de saturación del chancador que provee las mejores leyes a las plantas concentradoras. Claramente el largo de la fila es dinámico para adaptarse a las condiciones de operación de las plantas y las minas.

Figura 5-9 Ejemplo de cola de camiones recomendada como filosofía de operación variable en función de los materiales y el estado de las plantas de molienda

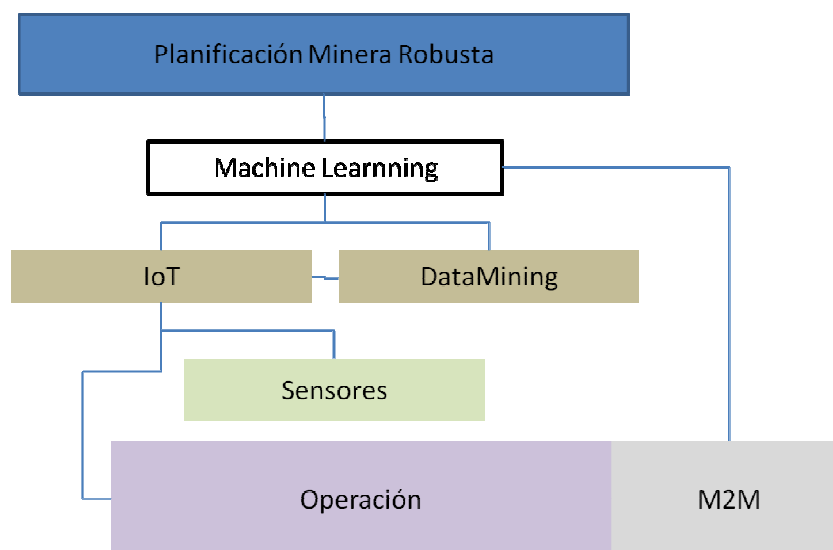


Fuente: Elaboración propia.

Necesariamente para lograr una filosofía de operación dinámica se requiere de automatizar los procesos productivos de manera que sea una comunicación entre máquinas (machine to machine, M2M) las que logran adaptarse a las condiciones de operación imperantes. La coordinación de la comunicación M2M es dirigida por un proceso de machine learning que se ejecuta en un computador central integrando información estructurada como no estructurada de los procesos productivos.

La automatización de procesos productivos transforma el rol del operador en supervisor de la plataforma tecnológica que permite lograr el enlace entre la planificación de la operación con la filosofía de operación dinámica. La recolección de datos de los procesos, operaciones, personas, recurso mineral obedece a una estructura de IoT, la generación de patrones en procesos de data mining, la comunicación de la dinámica operacional a M2M y la coordinación de decisiones en tiempo real a procesos de machine learning. A continuación, se presenta un esquema de la infraestructura tecnológica propuesta:

Figura 5-10 Esquema de Infraestructura Tecnológica que facilita la eficiencia en el proceso de toma de decisiones y planificación minera.



Fuente: elaboración propia.

Para lograr la implantación del modelo tecnológico anterior es fundamental lograr una digitalización de los procesos mineros. Existen un sinnúmero de aplicaciones industriales que pueden ser utilizadas una vez lograda la conexión y la digitalización de los datos, procesos, instrucciones. Esto permite tener un entendimiento de mayor comprensión del estado de los activos de manera de optimizar el flujo de materiales y equipos, mejorándose la anticipación a la falla, logrando automatización y monitoreo en tiempo real. Cada una de las tecnologías posee un potencial en asegurar los resultados operacionales y la creación de valor en el emprendimiento minero.

5.11 El Punto de inflexión en la industria minera.

Actualmente la minería se encuentra en un punto de inflexión, después de haber vivido la época de los súper ciclos de los precios donde no se internalizó el efecto de las desviaciones operacionales en la productividad y el costo, donde las tecnologías digitales tienen un potencial de descubrir nuevas formas de gestionar la variabilidad y mejorar la productividad de las operaciones. Se propone la inserción de 4 grupos de tecnologías que permitirían digitalizar los procesos y operaciones mineras:

- **Datos, potencia computacional y conectividad:** Integrando sensores en el recurso mineral, en los procesos productivos, en los equipos que poseen las operaciones unitarias permite contar con un sin número de datos que a través de un proceso de análisis permitiría entregar instrucciones o comunicación entre los equipos. Esto permitiría tener en tiempo real una foto de la situación actual en el proceso minero.
- **Análisis e Inteligencia computacional.** Avances en machine learning permiten integrar información estructurada y desestructurada para adaptar un modelo que permita tomar decisiones en tiempo real. Modelación multivariable del yacimiento, predicción de fallas, y productividad de los activos son áreas donde inteligencia computacional puede ser utilizada para mejorar las decisiones personales.

- **Interacción máquina –humano.** La interacción de humanos con equipos ha crecido en la última década, el uso de teléfonos móviles, el uso de lentes de RV permite generar realidades diferentes para el modelamiento y la toma de decisiones.
- **Conversión de digital a físico.** El uso de equipos autónomos permite dar instrucciones en función de algoritmos que procesan información en los equipos y en computadores centrales para adaptarse totalmente a un sistema de agentes.

En minería el uso de equipos teleremotos, y equipos asistidos por computadores son bastante comunes actualmente se encuentra la introducción de equipos autónomos en transporte, carguío y perforación. Al integrar estas tecnologías se facilita el flujo de información reduciendo la variabilidad en el proceso de toma de decisiones, operando de manera central y mecanizada para reducir la variabilidad en la ejecución.

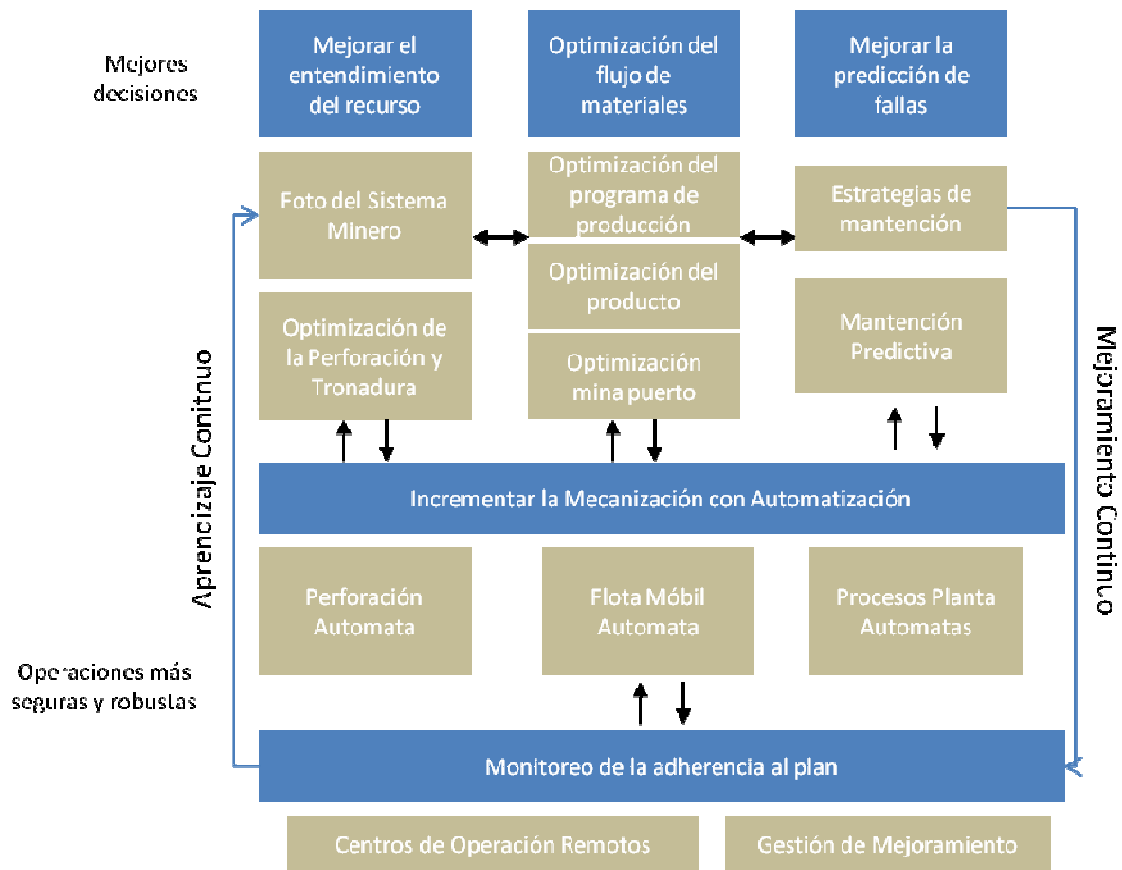
La Figura 5-11 muestra 5 áreas críticas donde la incorporación de la digitalización puede generar significativas mejoras en la forma de gestionar el negocio minero:

1. **Mejorar el entendimiento del recurso.** Actualmente el proceso de reconocimiento del recurso hasta lograr planificar su extracción es un proceso lento, lleno de diferentes procesos que entorpecen la toma de decisiones. El reconocimiento del recurso en tiempo real a partir de la información de perforación y manejo estadístico de patrones se puede generar modelos en función de la información incremental de manera de tomar decisiones de qué hacer con el recurso en tiempo real, sin necesidad de generar procesos lentos de planificación minera. Esto requiere integrar información geológica, patrones de reconocimiento de mineralogía, entre otros.
2. **Optimización del flujo de materiales.** Los procesos productivos mineros son interdependientes por lo tanto la búsqueda constante de optimizar el OEE del sistema minero permite mejorar el comportamiento productivo de la cadena como un todo. Esto se logra integrando información de los diferentes equipos, de los procesos y del recurso para alimentar un proceso de machine learning que permite en segundos definir la mejor opción de envío o manejo de materiales, en función de sus características.
3. **Mejorar la anticipación a la falla.** Con la información de los componentes de los equipos se pueden construir curvas de falla de componentes y con métodos de confiabilidad se puede estimar la probabilidad de falla de un determinado equipo o proceso, lo cual permitiría sacarlo de la operación de manera anticipada mejorando el comportamiento del sistema minero como un todo. Esto permite bajar los costos de mantención y optimizar el proceso de mantención.
4. **Incrementar la mecanización con Automatización.** La incorporación de equipos autónomos al transporte, carguío y perforación de minas a cielo abierto y subterráneas permite optimizar el costo de operación aumentando la utilización del activo, bajando los costos de reparación de falla, y bajando el costo operadores. Sin embargo la inserción de estas tecnologías requiere de un diseño, una planificación y una filosofía de operación ad hoc a la tecnología. La automatización permite hacer diseños mineros y políticas de extracción más agresivas asegurando la vida de las personas.
5. **Monitoreo de la adherencia al plan.** La introducción de sensores en los equipos permite saber en tiempo real donde y que actividades se encuentran realizando todos los activos que

Estudio de demanda de infraestructura de telecomunicaciones en el área geográfica de la Gran Minería del Norte y la Astronomía

se encuentran interactuando en el sistema minero. Esto permite identificar las desviaciones, y mejorar los planes para integrar estas desviaciones en el proceso de planeamiento. De esta forma se puede maximizar la eficiencia del uso del capital en tiempo real integrando toda la cadena de producción, bajando los costos de operación consistentemente con el estado de los procesos y el recurso mineral

Figura 5-11 Áreas de mejoras producto de la digitalización.



Fuente: (Hugh, Ryan, Ferran, & Richard, 2015)

En la actualidad estudios muestran que solamente el 1% de los datos recolectados en minería son utilizados para la toma de decisiones. Sin lugar a dudas el integrar la digitalización en las operaciones mineras posee el potencial de poder operar y gestionar las operaciones de manera diferentes con un fuerte énfasis en productividad y mejoramiento en el uso de los activos de capital. A continuación, se muestra un cuadro esquemático de las brechas a cubrir en el proceso de digitalización de la industria minera.

Tabla 5-5 Brechas a cubrir en el proceso de digitalización de la industria minera

Proceso	Brecha	Mitigación
Captura de datos	Datos no capturados por falta de acceso o por manejo de terceras partes	Se debe tener un proceso esquematizado y regular para la captura de datos que soportan el proceso de toma decisiones y planificación minera
Infraestructura	Falta de transmisión y falta de almacenamiento	Las compañías mineras deben comenzar a hacerse cargo de la transmisión y almacenamiento de datos es parte del proceso minero.
Gestión de datos	Datos sin acceso y en computadores aislados	Se debe mantener una nube con datos actualizados y estos conectados en línea
Análisis y Automatización	No producen análisis producto de falta de integración y herramientas estadísticas	Se debe generar el proceso de data análisis en el proceso de toma de decisiones y de planificación minera.
Visualización	Datos no comunicados Los datos no se utilizan en el proceso de toma de decisiones	Se deben generar protocolos estándares para el tratamiento de los datos y proveer la infraestructura de comunicaciones que permita el flujo de datos y la integración con los procesos de toma de decisión.

Fuente: elaboración propia.

Para el correcto funcionamiento de la digitalización en minería se debe contar con una infraestructura de comunicaciones y transferencia de datos tal que permita a las operaciones mineras interna y externamente utilizar sus datos y centralizarlos en centros de toma de decisiones donde modelos de toma de decisiones con diferentes niveles de automatización y análisis facilite la toma de decisiones robusta y que generen valor al negocio. Es por este motivo que se propone la generación de una estructura de bolsa que permita ofrecer a las empresas mineras diferentes protocolos y frecuencias para la transferencia de datos.

De acuerdo a la definición de la CORFO, “El Programa Estratégico Nacional-Diseño de Industrias Inteligentes” está basado en el concepto de “internet industrial” (IoT, comunicaciones machine-to-machine y sistemas ciberfísicos, analítica avanzada, infraestructura y servicios definidos por software, y otras tendencias de punta), que permita el monitoreo, análisis y procesamiento de información en tiempo real.”.

La minería en Chile tiene tradición en la incorporación de sistemas M2M cuya base es la comunicación entre dispositivos y sistemas electrónicos.

El concepto de IoT aporta nuevos estándares desde el nivel de capa física de los sistemas de sensores, actuadores, comunicaciones de corto alcance, hasta el nivel de comunicación a grandes distancias.

6 DEMANDA ACTUAL DE SERVICIOS DE TRANSPORTES DE DATOS DE ALTA VELOCIDAD EN LA INVESTIGACIÓN ASTRONÓMICA EN CHILE

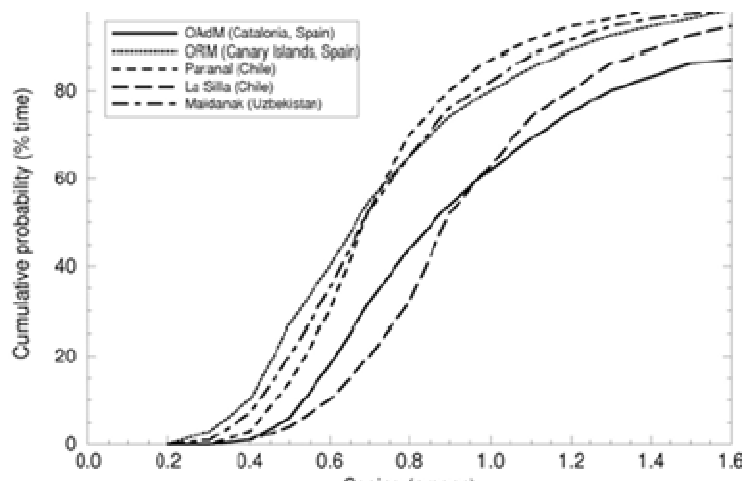
6.1 Análisis general

6.1.1 Los observatorios astronómicos en Chile

Los grandes centros astronómicos de Chile se concentran en tres principales zonas. La primera zona históricamente explotada por la astronomía es el área en torno a la ciudad de La Serena, donde los primeros observatorios astronómicos fueron instalados. En la actualidad operan el Observatorio Cerro Tololo (1966), La Silla (1969), Las Campanas (1971) y Cerro Pachón (Gemini, 2002). Esta zona fue seleccionada históricamente por su excelente estadística de noches despejadas, buena infraestructura caminera, y por su cercanía a centros poblados.

Posteriormente se identifica la zona al sur de la ciudad de Antofagasta de se instaló el VLT (1998) en el Cerro Paranal. Muy cerca de Cerro Paranal se encuentra el Cerro Armazones, donde se encuentra en construcción el Telescopio Europeo Extremadamente Grande o E-ELT por sus siglas en inglés. Esta zona, aunque más remota, y con pocos centros urbanos cercanos posee, además de una bajísima estadística de nubes, una atmosfera sumamente estable, lo que en astronomía se conoce como un muy bajo '*Astronomical seeing*'. Un bajo '*seeing*' significa que las imágenes tomadas por los telescopios pueden distinguir detalles más finos, es decir que se logra una mejor *resolución angular*.

Figura 6-1 Comparación de estabilidad atmosférica (astronomical seeing)



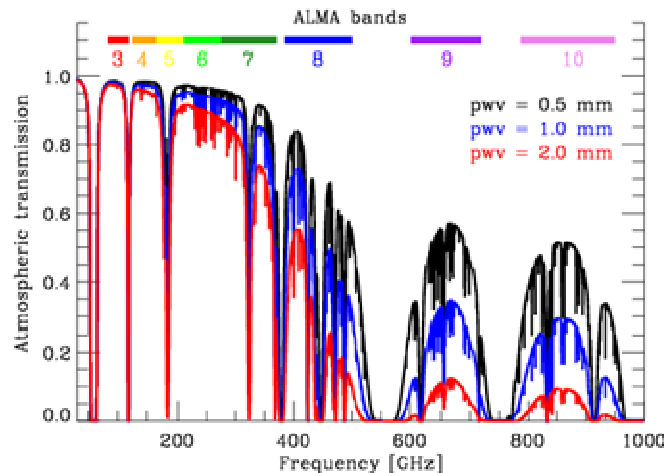
Menor '*Seeing*' significa una mejor calidad de la imagen astronómica. (Fernández & Casteels, 2015)

La tercera zona de concentración de telescopios es el Llano de Chajnantor. Esta meseta, que se encuentra a 50 Km del pueblo de San Pedro de Atacama, tiene una altura promedio de 5.100 msnm (metros sobre el nivel del mar). Junto a la zona aledaña denominada Pampa La Bola, representan un sitio ideal para observaciones en longitudes de onda milimétricas, sub-milimétricas, y de infrarrojo, debido a su gran altitud y a los bajísimos niveles de vapor de agua precipitable en la atmosfera.

La combinación de una atmosfera delgada, y muy bajo contenido de agua reduce la absorción de las ondas electromagnética, particularmente a frecuencias superiores a 100 GHz, haciendo el cielo del llano de Chajnantor sumamente transparente para la radiación, y por tanto una zona ideal para la radioastronomía de alta frecuencia.

Esta zona aloja múltiples radiotelescopios y particularmente el telescopio APEX (2005) y el arreglo interferométrico ALMA (2012).

Figura 6-2 Transmisión atmosférica en el Llano de Chajnantor



Transmisión atmosférica en la Llano de Chajnantor para tres niveles de vapor de agua precipitable.
Fuente: (Maiolino, 2008)

Las estimaciones respecto de la inversión en los grandes proyectos astronómicos que se materializarán en Chile son del orden de los 3.000 millones de dólares.

Tabla 6-1 Costos de Construcción de los Grandes Observatorios en Chile

En Operación	Costo aproximado (millones de USD)
Magellan Telescopes	100
Gemini	300
VLT	700
ACT	40
ALMA	1.500
TOTAL CONSTRUIDO	2.640
En construcción y Proyectado	
TAO	100
LSST	500
CCAT	200
GMT	800
E-ELT	1.500
CTA (South)	100
TOTAL EN CONSTRUCCIÓN Y PROYECTADO	3.200

Fuente: elaboración propia a partir de (ADDERE, 2012)

Se trata de grandes proyectos que corresponden al concepto de “big science¹⁰” y en donde los componentes cruciales son elementos de alta tecnología, fabricados uno por uno, cuya responsabilidad recae en entidades académicas y en empresas de los países que financian la construcción. Se destaca que la prioridad de los contratos la tienen los proveedores que pertenecen a los países que aportan los recursos para el diseño, construcción y operación de los observatorios.

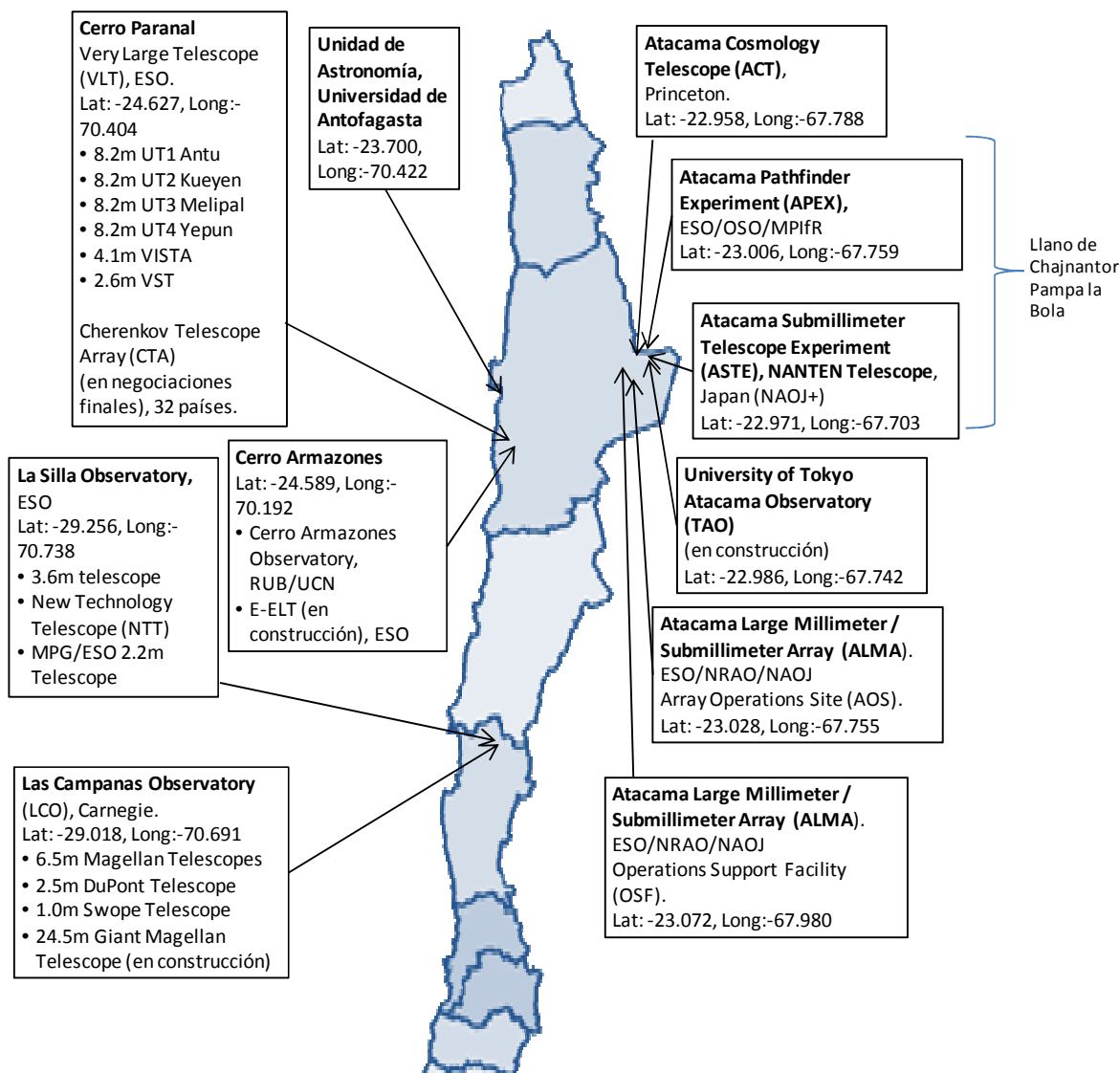
De acuerdo a un estudio anterior (ADDERE, 2012), de los miles de millones de dólares de inversión en proyectos astronómicos anunciados para Chile en los próximos años, se destaca que en lo que concierne al diseño y la fabricación, una parte importante de la inversión se materializa en los mismos países que financian la construcción del observatorio. Esto es particularmente relevante en el caso de los instrumentos científicos, de los espejos y de las antenas que históricamente se han construido en los países miembros de los consorcios. A Chile llegan los sistemas una vez fabricados. Localmente, se ensamblan, se calibran, actividades que tienen costos inferiores a los que representa el diseño y construcción.

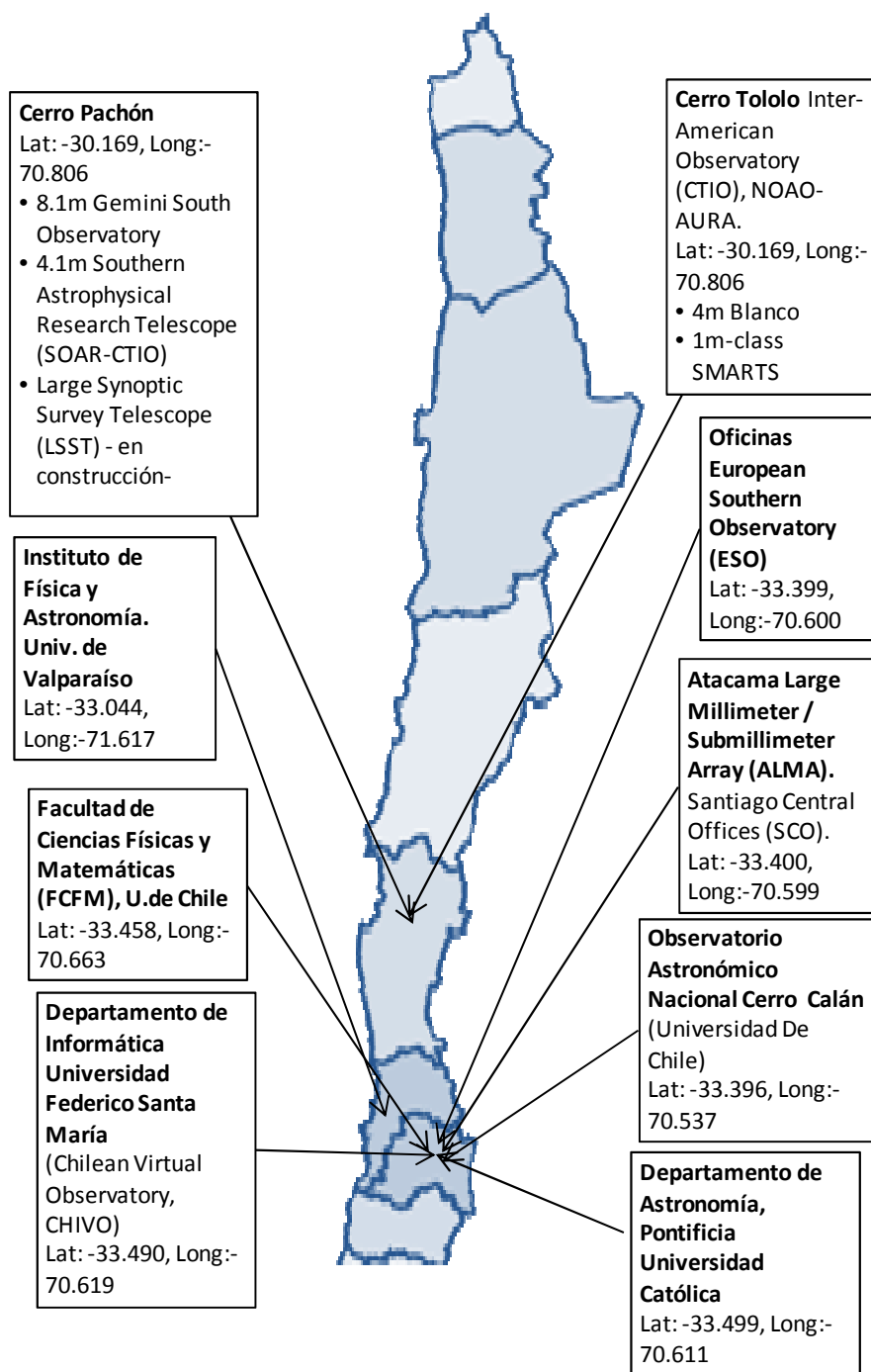
Los montos señalados son en gran parte ejecutados en los países miembros de los consorcios y no significan capitales que ingresan al país sino equipamiento de alta tecnología que llega ya fabricado al país, mientras que en Chile los gastos se concentran en bienes y servicios no transables tales como construcción de caminos, de edificios, suministro eléctrico y otros ítems no diferenciados.

¹⁰ “Investigación científica de alto costo dado que necesita una gran cantidad de equipos e investigadores y por lo tanto es apoyada por o por los gobiernos, grandes instituciones o grandes empresas”.. Macmillan dictionary
[Estudio de demanda de infraestructura de telecomunicaciones en el área geográfica de la Gran Minería del Norte y la Astronomía](#)

A continuación se presenta un diagrama que resume la posición de los principales centros astronómicos del norte de Chile, incluyendo las oficinas de los observatorios y principales universidades relacionadas a la Astronomía.

Figura 6-3 Principales centros astronómicos del norte de Chile





Fuente: elaboración propia.

6.1.2 Capacidad actualmente disponible

Todos los grandes observatorios (Tololo, La Silla, Las Campanas, Paranal y ALMA) han sido conectados, o serán conectados en un futuro cercano por enlaces de fibra óptica a sus respectivas oficinas en Santiago o La Serena.

Los anchos de banda dependen de cada tramo de la interconexión, por cuanto un análisis detallado requiere un levantamiento de las redes que conectan a cada centro, incluyendo las características y el desempeño efectivo de los enlaces. No obstante, y para efectos de otorgar una idea general de las capacidades actuales, se incluye en este informe de avance una tabla resumen de los anchos de banda disponibles entre los centros estudiados hasta la fecha.

Telescopio menores, especialmente los ubicados en el Llano de Chajnantor (APEX, ASTE, NANTEN, Mini-TAO, ACT), aún satisfacen sus necesidades de conectividad con enlaces de microondas, con capacidades que normalmente no superan los 200 Mbps. En un futuro se espera que estos telescopios puedan usar la red óptica instalada por ALMA.

Los observatorios que más ancho de banda contratado tienen actualmente son ALMA, Paranal, y Tololo, con anchos de banda de 2.5, 2.5 y 4 Gbps respectivamente. Todos estos observatorios reciben el servicio a través de redes parcial o totalmente operadas por REUNA.

El Observatorio las campanas tiene actualmente un ancho de banda de 300 Mbps, el cual obtiene mediante un contrato con Telefónica

Tabla 6-2 Enlaces de centros astronómicos

Centro Astronómico ->	Chajnantor (ALMA) ^(1,2)	Paranal ⁽³⁾	Armazones ⁽³⁾	Las Campanas	La Silla
Propiedades del enlace					
Capacidad actualmente disponible (Gbps)	2,5 Gbps	2,5 Gbps	1 Gbps	0,3 Gbps	
Gestión de la red	REUNA	REUNA	REUNA	Telefonica	
Capa física (Fibra/Microondas)	Fibra	Fibra	Fibra	Fibra	
Tráfico Promedio [Mbps]	50-100				
Tráfico Máximo -Rush Hour- [Mbps]	200-400				
Disponibilidad (%)	99.58%				
Latencia promedio a Santiago (milisegundos)	24 msec	20 msec		13 msec	
% del tráfico que corresponde a datos astronómicos	~75%				
% del tráfico administración / operaciones (voz, video, HTTP, etc)	~25%				

Centro Astronómico ->	Tololo/Pachon	ESO - Vitacura	ALMA-SCO	UTFSM (ChiVO)	Cerro Calán
Propiedades del enlace					
Capacidad actualmente disponible (Gbps)	4 Gbps	1 Gbps	2 Gbps	0.3 Gbps	0.3 Gbps
Gestión de la red	REUNA	REUNA			
Capa física (Fibra/Microondas)	Microondas + Fibra	Fibra			
Protocolo (GbE, FC, SDH, OTN)	OTU4		GbE		
Tráfico Promedio [Mbps]					
Tráfico Máximo -Rush Hour- [Mbps]					
Disponibilidad (%)					
Latencia promedio a Santiago (milisegundos)					
% del tráfico que corresponde a datos astronómicos					
% del tráfico administración / operaciones (voz, video, HTTP, etc)					

(1) (Filippi G. , 2015)

(2) (ALMA, 2016)

(3) (EVALSO, 2010)

Tabla 6-3 Capacidades de centros astronómicos por tramos

Chajnantor (ALMA)	Capacidad
Chajnantor - Calama	Fibra, hoy alumbrada en 10G
Calama-Antofagasta	Lambda de 10G
Antofagasta-Santiago	Sublambda de 2,5G

Paranal	Capacidad
Paranal - Antofagasta	Fibra, hoy alumbrada en 10G
Antofagasta-Santiago	Sublambda de 2,5G

Armazones	Capacidad
OCA-Antofagasta (UCN)	1Gbps

Tololo	Capacidad
Desde Observatorio a La Serena: MMOO	0,3Gbps
Desde La Serena a Santiago	4Gbps
Desde mediados 2017 ambos tramos cambiarán a:	
Desde Observatorio a La Serena	Fibra, alumbrada en multiples de 100G
Desde La Serena a Santiago	Lambda de 100G sobre red de REUNA (fibra)

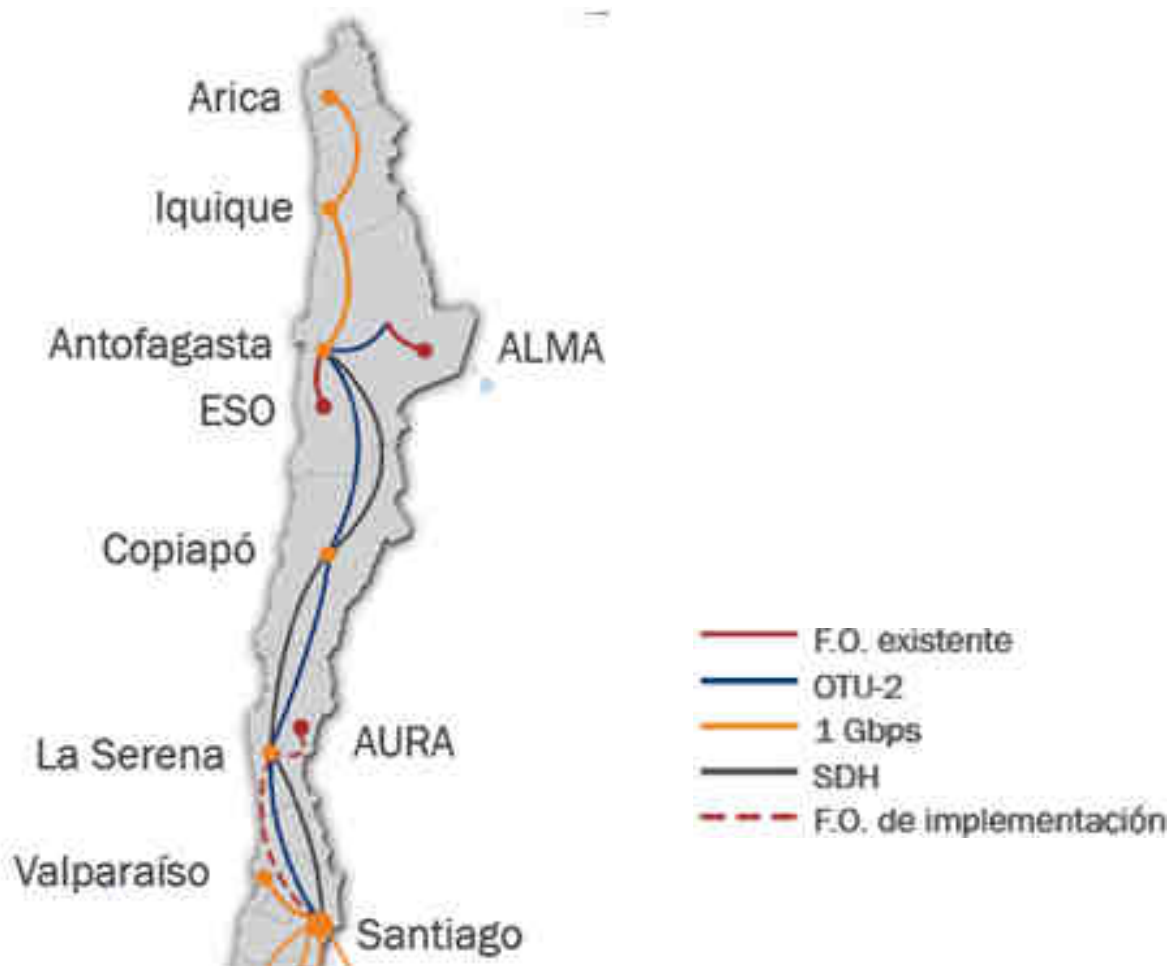
Fuentes

- [1] (Filippi, Saldias, & Ovando, 2016)
- [2] (Jaque, 2016)
- [3] (Ibarra, AmLight, & Smith, Abril) [4] (ALMA, 2016)
- [5] (EVALSO, 2010)

6.1.3 Topología de la red troncal.

La red operada por REUNA en el norte de Chile posee en la actualidad redundancia sólo en algunos de los enlaces troncales, pero los enlaces terminales a los centros astronómico están montados sobre un sólo cable de fibra.

Figura 6-4 Mapa de la red operada por REUNA



Fuente: (Memoria Anual 2015 REUNA, 2015) .

En el mapa de la Figura 6-4 se puede observar que los tramos entre las principales ciudades: Antofagasta, Copiapó, La Serena y Santiago poseen al menos dos enlaces independientes. Vale la pena mencionar que en algunos tramos estos enlaces independientes se despliegan físicamente muy cerca, es decir sobre la misma postación, o soterrados con mínima separación. Esto implica que el

riesgo de corte de servicio por eventos climáticos o por errores humanos (por ejemplo la excavación con maquinaria pesada), no está totalmente mitigado.

Los enlaces terminales a ALMA, Paranal y Tololo/Pachón están todos desplegados sobre un único cable de fibra óptica, por cuanto son más susceptibles a fallas por eventos naturales o vandalismo.

6.1.4 Requerimientos de captura, transmisión y almacenamiento de datos en astronomía en Chile

La Astronomía ha sido siempre una ciencia dirigida por los datos (data-driven). Ahora es una ciencia de datos intensivos, en donde surge la Astroinformática y se hará aún más intensivo en datos en la(s) siguiente(s) década(s) (ADDERE, 2012).

Los telescopios del observatorio Paranal producen más de 100 TBytes de información por año, lo que equivale a más de 20.000 DVDs de archivos comprimidos. Los observatorios, al encontrarse aislados de la ciudad, no tenían acceso a las redes de alta capacidad, por lo que estaban obligados a depender de una conexión de microondas para enviar información científica a una estación situada cerca de Antofagasta o bien enviar por correo aéreo a la sede central en Alemania los discos con el material grabado, lo que ocasionaba una espera de días o incluso semanas antes de que las observaciones pudieran ser analizadas.

Tabla 6-4 Necesidades de transmisión y de almacenamiento de datos de observatorios:

Telescopio	Tamaño	Observatorio	TB/día
VISTA	4.0m	Paranal	1.4
ALMA	66x12m	Chajnantor	1
DES/DECam	4.0m	CTIO	0.4
LSST	8m	Pachón	30
Telescopio	Almacenamiento de Datos		
VLT	20 TB/año		
ALMA	200 TB/año		
LSST	1000 TB/año ¹¹		

Fuente: (ADDERE, 2012)

Un análisis preliminar del volumen de datos que son generados por los telescopios de la Figura 6-4 , muestra que los observatorios de mayor envergadura en cuanto a la generación de datos, y por ende que requieren mayor capacidad de transmisión de datos son:

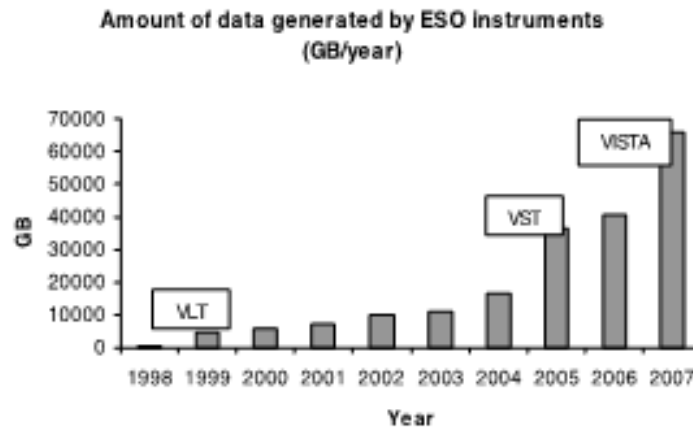
- 1.-) *Atacama Large Millimeter/submillimeter Array* (ALMA), que se encuentra operativo desde marzo 2013, aunque aún no en operación completa hasta después del 2018;
- 2.-) *Large Synoptic Survey Telescope* (LSST), que está en construcción en Cerro Pachón (La Serena), proyectado para ver su primera luz en 6 años más, el año 2022;

¹¹Equivalente a 1 Petabyte, lo que significa 2x LHC (Large Hadron Collider)

3.-) *Cherenkov Telescope Array* (CTA), que está proyectado para iniciar su construcción en Paranal (Antofagasta), y concluir el proyecto el año 2024.

Por esta razón, se presentará en detalle la información relacionada con estos 3 telescopios de gran envergadura.

Figura 6-5 Datos generados por telescopios ESO



Fuente: (Zampieri, 2004)

6.2 ALMA

ALMA es un observatorio que consta de varios tramos con diferentes capacidades de transmisión de datos desde las mismas antenas en *ALMA Operation Site* (AOS) a 5.000 msnm hasta los *ALMA Regional Center* (ARC) en Garching (Alemania), Charlottesville (EEUU), y Tokio (Japón), que requieren de enlaces internacionales.

Los tramos en territorio nacional son:

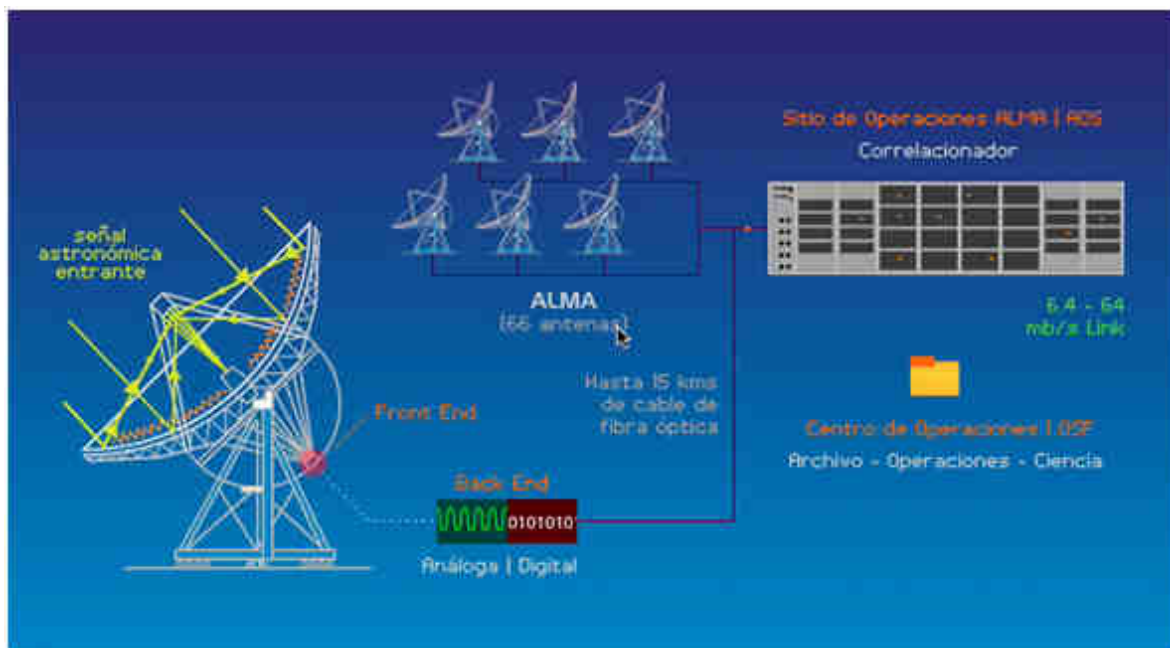
- 1.- ALMA Operation Site (AOS) – Operation Site Facilities (OSF).
- 2.- OSF-Calama.
- 3.- Calama-Antofagasta.
- 4.- Antofagasta – Santiago Central Operation (SCO).

Los tramos internacionales son:

- 1.- SCO-ARC *European Union* (EU) en Garching-Alemania,
- 2.- SCO-ARC *United States* (US) en Charloteville-Estados Unidos,
- 3.- SCO-ARC *East Asia* (EA) en Tokio-Japón.

En AOS se tienen las 66 antenas que captan los datos analógicos, los digitaliza, los integra en un correlacionador, y los envía al OSF. AOS tiene un enlace propio hacia OSF para la transferencia de datos que se realiza utilizando 48 fibras dedicadas que tienen una capacidad total de 1 Gbps, que es actualizable a 10 Gbps. La Figura 6-6 muestra el flujo de los datos desde el AOS hacia el OSF.

Figura 6-6 ALMA: flujo de los datos desde el AOS hacia el OSF



Fuente: Información facilitada por el proyecto ALMA

En el OSF se tiene un *data center* con una capacidad de 700 TB (actualización de 300 TB a 700 TB adquirida) de *storage*, donde se pre-procesan los datos en un *pipeline* y son transmitidos hacia el SCO a través de un enlace OSF-Calama-Antofagasta-SCO.

El 2013 ALMA OSF-SCO operaba con un enlace de micro-ondas (MW) a 100 Mbps. En operación completa se proyectaba 300 Mbps. Actualmente cuenta con 2,5 Gbps.

6.2.1 Capacidad de los enlaces de comunicación

La infraestructura de comunicación entre el Observatorio ALMA cerca de San Pedro de Atacama (entiéndase AOS y OSF) y las oficinas de la *Joint ALMA Office* (JAO) en Santiago es capaz de:

- Proporcionar una infraestructura de solución a largo plazo (> 15 años).
- Hacer frente a las necesidades de operaciones proyectadas (> 1 Gbps) y escalable.
- Minimizar la latencia entre los sitios finales.
- Tener un CAPEX (del inglés *Capital Expenditure*) inicial razonable y un OPEX (del inglés *Operating Expense*) futuro muy bajo.
- Y si es rentable, aprovechar la capacidad existente de EVALSO (El proyecto EVALSO implementó una infraestructura de red de alta velocidad de 10 Gbps, que conectó a los observatorios de ESO Paranal y Cerro Armazones con Europa, generando un rápido acceso

a los datos capturados en Chile. Gracias a este proyecto los astrónomos en Europa tienen acceso rápido a los datos obtenidos en los observatorios ubicados en Chile.)

La Arquitectura del sistema de comunicación de los distintos tramos se resume en lo siguiente:

6.2.1.1 AOS - Calama

Entre AOS y Calama (unos 150 km), se tiene un par de fibras oscuras en un cable de fibra recién construido que sigue la ruta de la Figura 6-7:

Figura 6-7 Fibra AOS - Calama



Fuente: (Filippi G. , 2015)

6.2.1.2 Calama – Antofagasta:

Entre Calama y el Punto de Presencia (PoP por sus siglas en inglés) de REUNA en Antofagasta (unos 200 km) se tiene un lambda dedicado que es proporcionado por Telefónica (figura 6-8). Como ésta es parte del *backbone* del proveedor (Telefónica en este caso), la solución incluye una copia de seguridad automática a nivel óptico (1 + 1). La interfaz cumple con las regulaciones para un enlace OTU2 (10 Gbps).

Este año 2016, se incluyó en este enlace un par de fibras oscuras entre AOS y la ciudad de San Pedro.

Figura 6-8 Fibra Calama – Antofagasta



Fuente: (Filippi, Saldias, & Ovando, 2016)

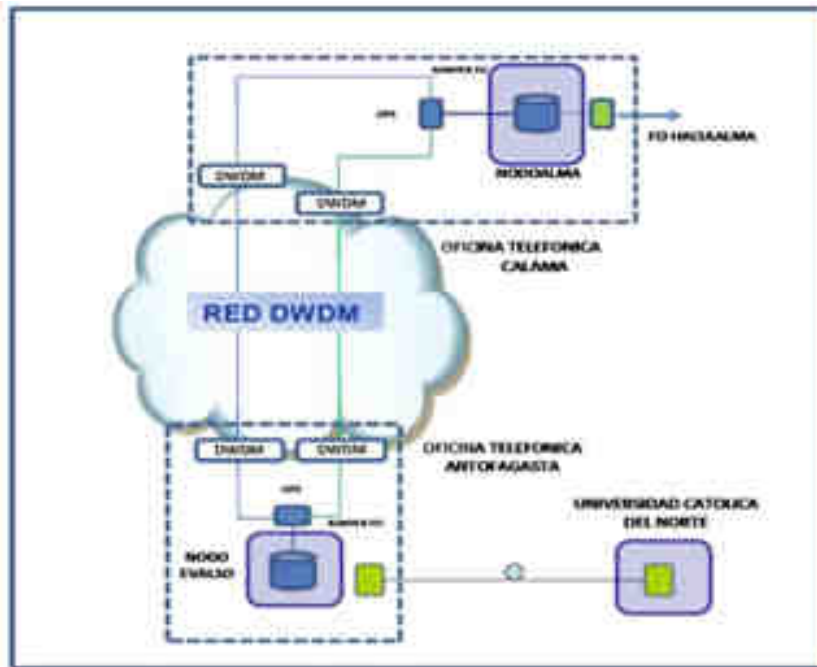
El equipamiento DWDM, que es operado por REUNA, considera nuevas instalaciones que son:

- En la frontera de ALMA AOS se gestiona el tráfico que genera ALMA y se envía utilizando un canal OTU2 al nodo de Antofagasta.
- En el PoP de Telefónica en Calama se recibe el tráfico desde el Observatorio (AOS) y se alimenta el OTU2 al lambda de Telefónica hacia Antofagasta Figura 6-8.

Las actualizaciones en el nodo EVALSO se resumen en la Figura 6-9:

- En Antofagasta, el lambda proveniente de AOS a través de Calama tiene que ser reasignado al *backbone* de EVALSO.
- En SCO (en Vitacura), la actualización es mínima y consiste en habilitar los dos puertos de 1 Gbps en los que la comunicación está interconectada con la LAN de SCO.

Figura 6-9 Nodo EVALSO

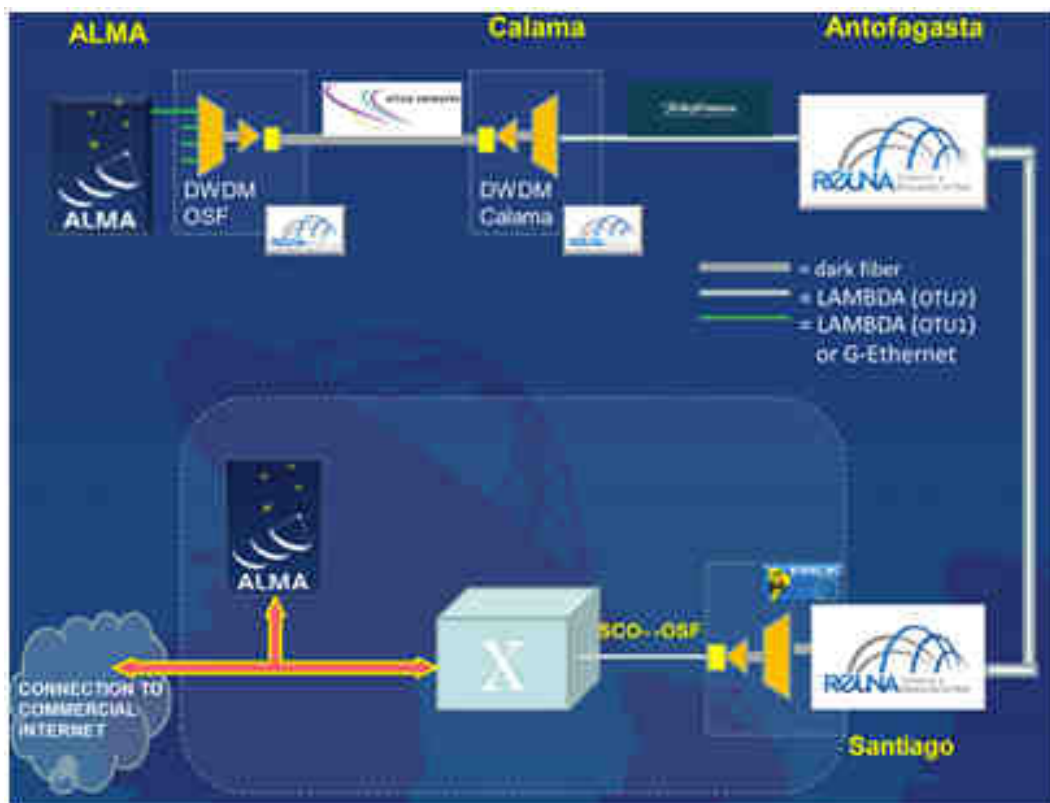


Fuente: (Filippi, Saldias, & Ovando, 2016)

6.2.1.3 Antofagasta – SCO:

Entre el PoP de REUNA en Antofagasta y el SCO en el Campus de Vitacura en Santiago se tiene un sub-lambda dedicado que de hecho está configurado en el *backbone* existente de EVALSO con una capacidad de 2.5 Gbps Figura 6-10.

Figura 6-10 Fibra Antofagasta – SCO



Fuente: (Filippi, Saldias, & Ovando, 2016)

Entre OSF y Antofagasta se tiene un enlace con redundancia.

Entre AOS y Santiago se tienen un enlace redundante vía Argentina con un lambda dedicado (Figura 6-11).

Figura 6-11 Fibra AOS - Santiago



Fuente: (Filippi, Saldias, & Ovando, 2016)

6.2.1.4 SCO – ARCs:

La transferencia internacional de datos desde Chile (SCO) hacia los ARCs pasan por elaborar contratos individuales con REUNA y los proveedores internacionales de servicios de internet, tales como NRENs (*National Research and Education Network*).

En el caso del ARC –US se tiene un acuerdo conjunto AURA - AUI para que NRAO (socio estadounidense del consorcio de ALMA) tenga 100 Mbps comprometidos (con capacidad de carga) de los 622 Mbps del enlace que tiene AURA a Chile a través de Sao Paulo y Miami (FIU / AmLight) al *backbone* de la red de investigación estadounidense (NREN).

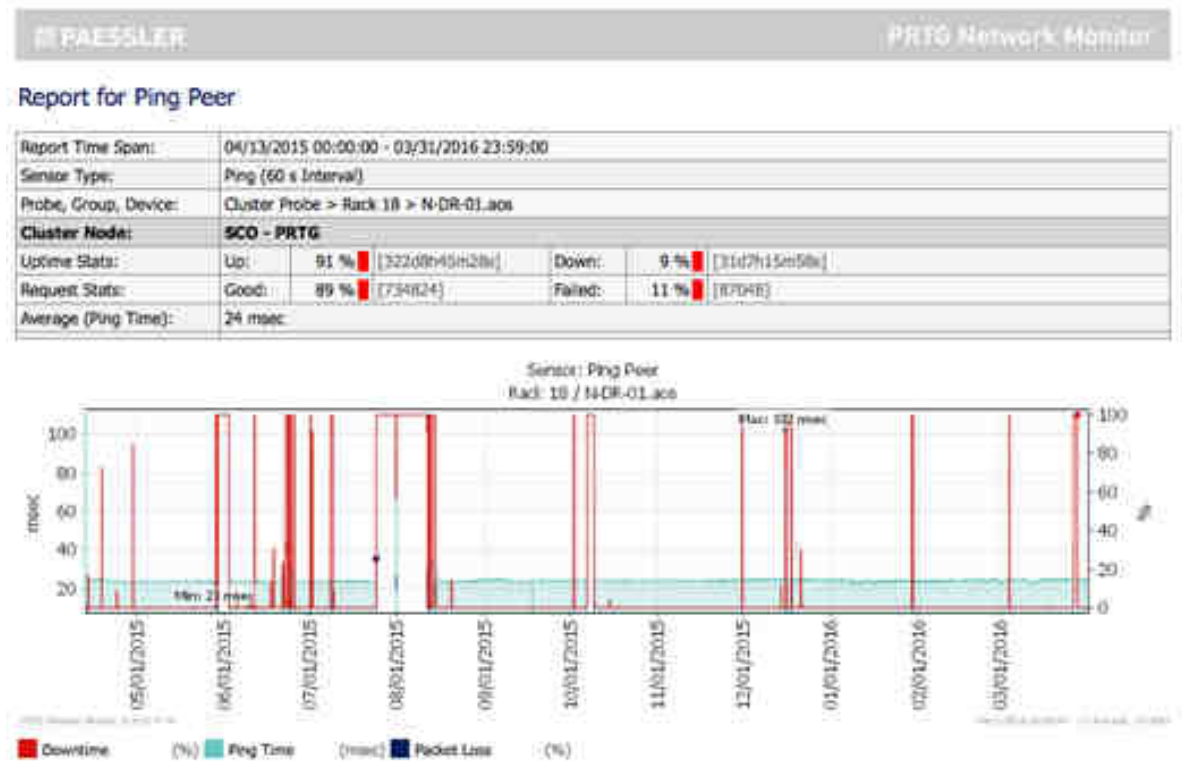
Se firmó un MoU (Memorando de Entendimiento) entre AUI y REUNA para proveer de enlace local a SCO e implementar los enlaces internacionales.

Por lo que se tiene dos MOUs firmados, AURA/AUI y AUI/REUNA, lo cual también es una oportunidad para mejorar el acceso de los astrónomos chilenos.

6.2.2 Tipología de fallas técnicas más recurrentes:

El retardo (PING) entre OSF y SCO (para ambos enlaces es el mismo) se tiene un *delay* de alrededor de 24 msec (Figura 6-12), lo cual confirma las expectativas iniciales. El siguiente cuadro muestra la latencia entre los meses de abril 2015 y marzo 2016 (12 meses).

Figura 6-12 Retardos entre OSF y SCO



Fuente: (Filippi, Saldias, & Ovando, 2016)

Los reportes operacionales que provee REUNA desde septiembre 2015 informan sobre el rendimiento del sistema, eventos de tiempo de inactividad únicos, planificados y no planificados, y proporciona estadísticas sobre disponibilidad según la siguiente tabla.

Figura 6-13 Estadísticas de disponibilidad (REUNA)

Periods:

- Month: February 2015, 29 days, 696 hours
- Trimester: December 2015 to February 2016
- Year: September 2015 to February 2016, 182 days, 4368 hours

Service	Monthly			Yearly		
	Uptime [hours]	Downtime [hours]	Availability [%]	Uptime [hours]	Downtime [hours]	Availability [%]
1	696	0	100%	4350	18	99,58%

Table 3: Availability

Fuente: (Jaque, 2016)

6.2.3 Generación de Datos

Los datos de ciencia de ALMA han tenido la siguiente evolución:

- Ciclo 0 de ALMA completado (Oct 2011 – Ene 2013)
 - 16 a 24 antenas utilizadas de 50 antenas (tasa de datos es proporcional al cuadrado del número de antena)
 - Aproximadamente 5 - 10% del tiempo del arreglo de antenas para ciencia
 - Datos aumentados para suministrar productos intermedios a los usuarios
 - El volumen total de datos fue de unos 20 TB
- Ciclo 1 de ALMA completo (Aproximadamente Ago 2013 - Jun2014)
 - 32 a 40 antenas usadas de las 50, además de 7 antenas del arreglo compacto de 12 antenas.
 - Aproximadamente 10% del tiempo del arreglo de antenas para ciencia
 - Los usuarios no obtienen productos intermedios, un mejor software significa no tomar datos innecesarios.
 - 40 TB después de 1 año (el archivo de ALMA alcanzó los 50 TB en marzo de 2014)
- Ciclo 2 de ALMA completo (Jun 2014 - Set 2015)
 - Aproximadamente 34 antenas principales, 10 del arreglo compacto
 - Aproximadamente 15% del tiempo del arreglo para ciencia (con algunas viniendo del ciclo 1)
 - 70 TB en un ciclo de 17 meses.
- Ciclo 3 de ALMA comenzó en octubre de 2015, hasta septiembre de 2016.
 - 36 antenas principales del arreglo, 10 del arreglo compacto.
 - Aproximadamente 25% del tiempo del arreglo para ciencia
 - Se estima un total de 80 TB en 1 año.
 - Tasa media de datos de 40 Mbps durante las observaciones.

Para los ciclos futuros las tasas de datos aumentarán a medida que se pase a operaciones completas. Se espera que los ciclos completos de ciencias (aproximadamente 2018 en adelante) tengan tasas de datos promedio de aproximadamente 100 Mbps durante las observaciones, pero podrían ser un 50% más grandes.

El "ciclo de servicio" de observaciones también aumentará (aproximadamente un factor de dos) a medida que mejoren los procedimientos de prueba y mantenimiento.

Es importante tener en cuenta que las tasas de datos varían según la configuración del ciclo. Cuando se programan configuraciones de línea de base largas, la tasa de datos sube por dos razones:

- El muestreo de datos debe ser más rápido para evitar que el haz manche los bordes del campo.

- Los productos de datos, reflejados en SCO, también aumentan de tamaño, para ser comparables a los datos crudos en las configuraciones más grandes.

Las grandes configuraciones tienden a ser programadas de junio a noviembre debido a las mejores condiciones climáticas.

El Archivo principal de ALMA se encuentra en Santiago (SCO), por lo que el *pipeline* corre en SCO para producir productos de datos L2/L3, lo que aumenta el tamaño de los datos en 10 a 30%.

En diciembre del año pasado (2015) el archivo de ALMA en EEUU llegó a 150 TB, todo transferido desde Chile.

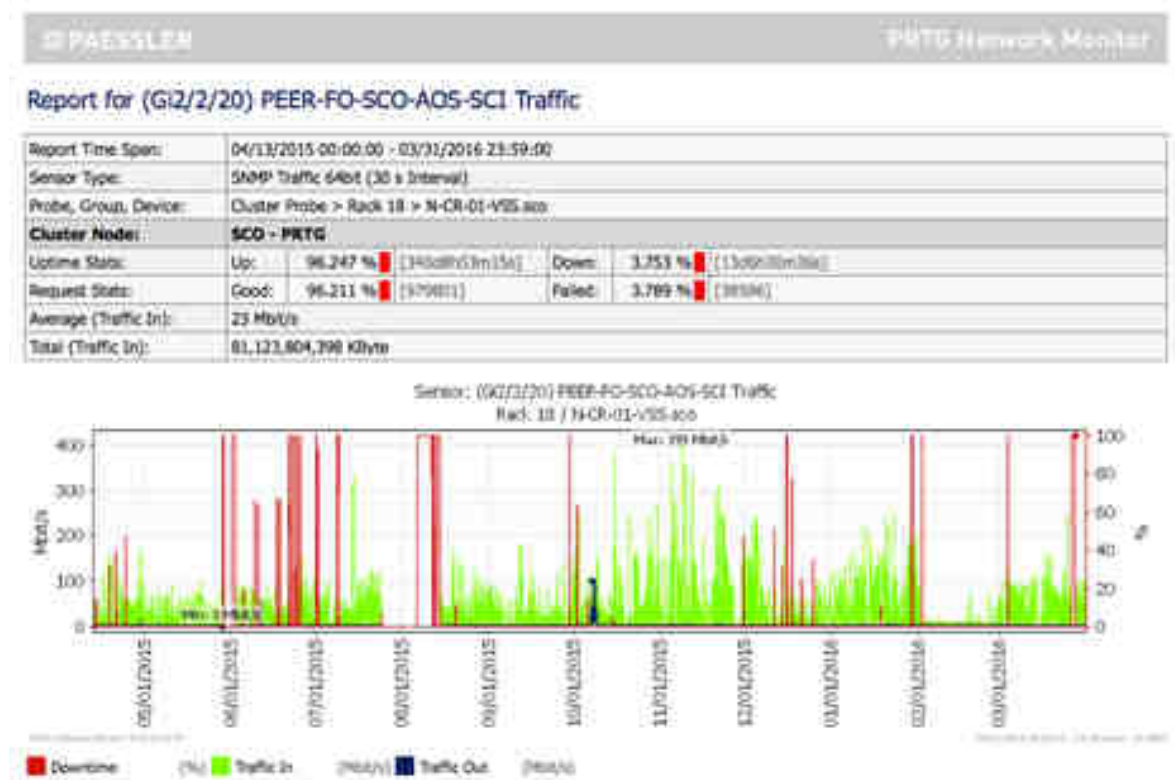
6.2.4 Transferencia real y proyectada

El tráfico de datos de ciencia va desde 50 Mbps hasta 100 Mbps, con *peaks* entre 200 y 400 Mbps.

La tasa típica obtenida durante los períodos *peak* de transferencia de datos es de 2 - 300 Mbps, con ráfagas de hasta 600 Mbps, donde el 90% son datos en masa con baja QoS.

La transferencia de datos científicos entre los meses de febrero de 2015 y marzo de 2016 se ven en el siguiente cuadro (12 meses).

Figura 6-14 Transferencia de datos científicos entre los meses de febrero de 2015 y marzo de 2016.

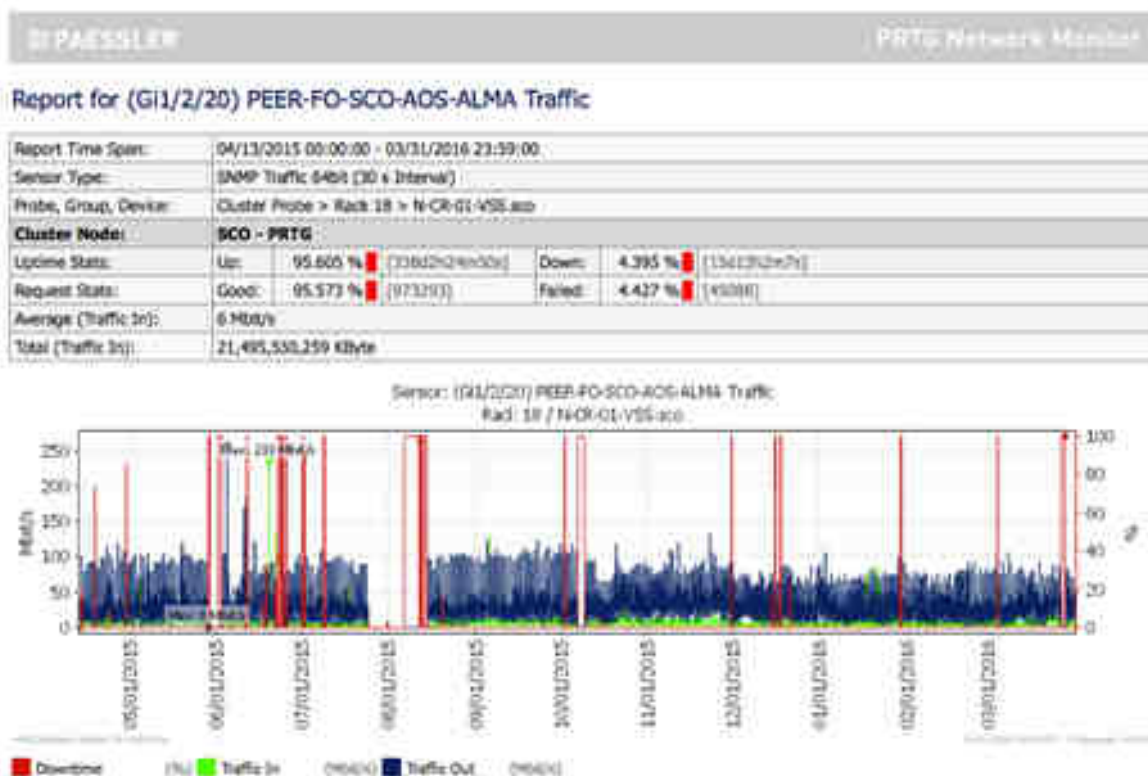


Fuente: (Filippi, Saldias, & Ovando, 2016)

El resto del tráfico de ALMA es de alrededor de 50 Mbps, con *peaks* diarios de 100-130 Mbps, que corresponden a sincronización de la base de datos y videoconferencias, mayormente.

Este tráfico de IP se muestra en el siguiente cuadro.

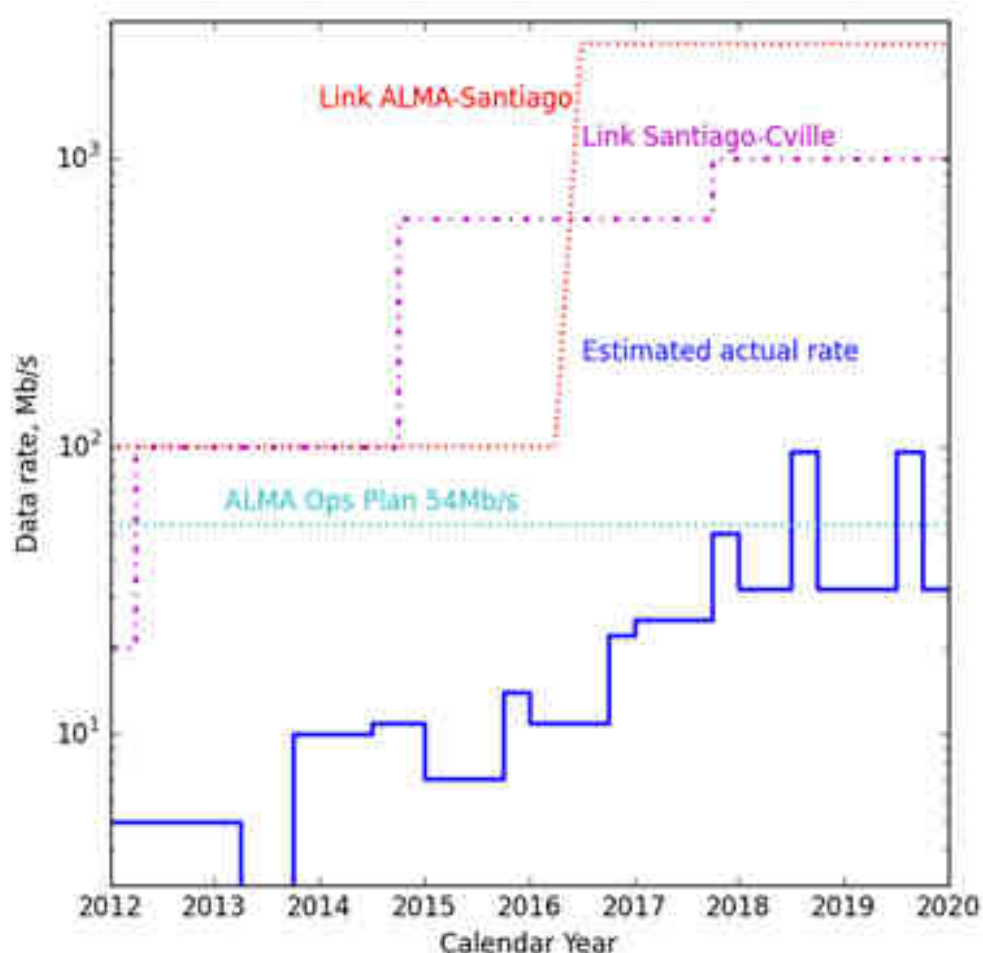
Figura 6-15 Tráfico de IP (ALMA)



Fuente: (Filippi, Saldias, & Ovando, 2016)

La proyección actual de la tasa de datos no asume ningún límite impuesto sobre la tasa de datos. En la figura 6-16, la línea roja es la tasa actual del plan de operaciones, la línea azul es la generación de datos, siendo que la transmisión de datos es por cada ARC.

Figura 6-16 Tasa de transmisión de datos



Fuente: (Halstead, 2016)

6.3 Association of Universities for Research in Astronomy (AURA)

Association of Universities for Research in Astronomy (AURA) es un consorcio de 42 instituciones estadounidenses y 5 afiliados internacionales que opera observatorios astronómicos de clase mundial, entre ellos, algunos de los que se encuentran instalados en Chile son El Tololo, Gemini, LSST, SOAR, etc.

En este sentido es importante analizar el *backbone* de la red de AURA, ya que tiene entre sus grandes usuarios a NOAO/CTIO, Gemini (operado en forma remota), SOAR, LSST, Carnegie (La Serena), NRAO/ALMA (Santiago), GMT (aunque aún pendiente), y muchos otros usuarios menores.

6.3.1 Capacidad de los enlaces de comunicación

Las características principales de la solución en infraestructura de comunicaciones para AURA se requiere cumplir con los requisitos más exigentes para las operaciones del LSST y cumplir con las necesidades actuales de las instalaciones de AURA, con espacio para la expansión (incluyendo las de afiliados como Carnegie, GMT, etc.).

Además AURA tiene un compromiso con los chilenos de hacer el mayor esfuerzo para invertir en ancho de banda a través de la infraestructura de red chilena de investigación y educación, y proporcionar a REUNA un segmento importante en su estrategia nacional de red de alta velocidad, incluyendo posibles conexiones con observatorios internacionales del norte.

La arquitectura del sistema de comunicación de los cuatro segmentos se resume en tres tramos nacionales, donde el segmento Cumbres - La Serena, se sub-dividió en dos tramos, quedando:

- 1.-) Cumbres (Tololo y Pachón) – Gatehouse,
- 2.-) Gatehouse - La Serena,
- 3.-) La Serena–Santiago.

Y un tramo internacional:

- 3.-) Santiago–Proveedores de internet internacionales (RENS) en EEUU.

6.3.2 Cumbres (Tololo+Pachón) - Base (La Serena)

El “Segmento 1”, también conocido como Montaña - La Serena, tiene actualmente un enlace microondas de 2 x 155 Mbps, pero el tráfico ha superado esta capacidad por lo que se agregaron otros dos enlaces de radio adicionales, que en este caso son un enlace de 300 Mbps de Cambium, y otro enlace de 300 - 400 Mbps de Ubiquity.

Para el LSST, en este tramo desde Cerro Pachón al Data Center en La Serena se proyecta tener una capacidad de 2 x 100 Gbps (además de un enlace de 100 Gbps compartido de AURA).

Los caminos de luz y el tráfico son gestionados por AURA, en coordinación con REUNA. La mantención estándar de los enlaces de fibra es realizada por Telefónica a través de un contrato con REUNA. Ya existe un acuerdo de operaciones / Nivel de Servicio (SLA en fase de operaciones), en la que REUNA gestionará la mantención y reparación del enlace La Serena-Cumbres por \$ 25.000 USD/año.

Este segmento tiene dos tramos que son (figura 6-17):

- 1.-) Cumbres – Gatehouse (AURA Gate) (30 km)
- 2.-) Gatehouse – La Serena (55 km).

Figura 6-17 Enlace La Serena - Cumbres



Fuente: (Smith, 2015)

6.3.3 Cumbres (Pachón y Tololo)– Gatehouse

Para el LSST este tramo requiere al menos 300 Gbps, por lo que Telefónica instalará 12 pares de fibras aéreas (por postes eléctricos), que son de propiedad de AURA.

En la conexión desde el Gatehouse a Cumbres hay opción de actualizar la topología a una de anillo, pero aún no está implementada en la línea base. Se está negociando con Telefónica un contrato por \$ 331,500 USD (Jaque, 2016).

Figura 6-18 Enlace Cumbres (Pachón y Tololo)– Gatehouse



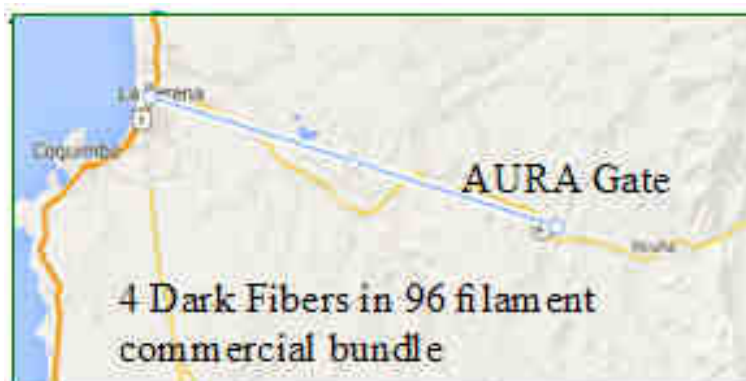
Fuente: (Smith, 2015)

6.3.4 Gatehouse – La Serena

AURA tiene un contrato con REUNA por 18 años (2016-2034) de Uso Irrevocable y Exclusivo (IEU por sus siglas en inglés) por 96 filamentos en 2 pares de fibra oscura. Este par de fibra óptica está instalada en forma aérea con algunos trayectos enterrados y son provistos por Telefónica a REUNA en un haz T3 compartido.

El plan de línea base es "iluminar" 2 canales por par, uno nominalmente y específicamente para el LSST y otro nominalmente para el *backbone* de AURA y respaldo del LSST. Esto debe agregar \$ 868.500 USD en el contrato AURA-REUNA ya firmado.

Figura 6-19 Enlace Gatehouse – La Serena



Fuente: (Kantor J. , 2017)

6.3.5 La Serena – Santiago

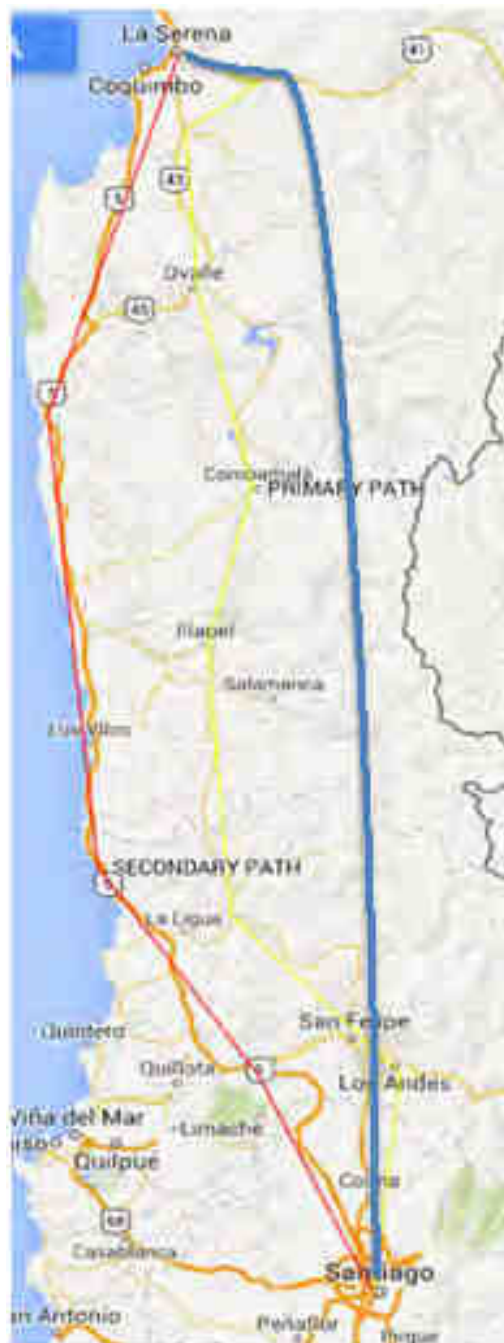
Se firmó un contrato con REUNA por 18 años de Uso Irrevocable y Exclusivo (IEU por \$ 5,760,000 USD). La fibra principal del backbone de AURA ya fue instalada (en azul en la figura siguiente), es un par de fibra oscura sobre un haz T3.

AURA/LSST y REUNA utilizarán cada uno un circuito de 100 Gbps. El LSST ocupará un circuito de 100 Gbps, y el resto del tráfico de AURA fluirá sobre el circuito de 100 Gbps de REUNA. AURA/LSST tendrá un adicional opcional de 9 longitudes de onda dentro de este par, cada uno de los cuales puede proveer 10, 40, o 100 Gbps y posiblemente 400 Gbps en el corto plazo.

Además se tiene un contrato IEU de un enlace de respaldo en una trayectoria diferente con una capacidad superior a 40 Gbps (línea roja en la figura 6-20). Esta línea es el legado de la ruta de Pan American donde AURA/LSST tendrá 4 Gbps entre el 2016 y el 2019, cuando será incrementada a una capacidad de 40 Gbps en una ruta redundante alternativa. Con esto se tendrá una capacidad de 140 Gbps (4 Gbps en estos momentos, 100 + 40 Gbps en el corto plazo).

El mantenimiento estándar de los enlaces de fibra es realizado por Telefónica a través de contrato REUNA. Los caminos de luz son gestionados por REUNA, con un (1) lambda dedicado al tráfico exclusivo del LSST (hasta 9 más reservados). REUNA realizará la operación completa del enlace Santiago-La Serena por \$ 60,000 USD/año.

Figura 6-20 Enlace la Serena - Santiago



Fuente: (Kantor J. , LSST Long Haul Networks, 2016)

6.3.6 Santiago -Proveedores de internet internacionales (RENs) en EEUU

Actualmente, AmLight y LAUREN proveen una capacidad de 1 Gbps, que puede llegar hasta 10 Gbps. Se muestra en la Figura 6-21 el anillo Ethernet de 100G por dos vías, una por el Pacífico y otra por el Atlántico que se tendrá el 2032.

Figura 6-21 Enlace Santiago -Proveedores de internet internacionales (a)



Fuente: (Kantor J. , 2017)

Los enlaces internacionales son provistos por Amlight, RNP (Rede Nacional de Ensino y Pesquisa), y RedCLARA. En la Figura 6-22, a la izquierda se tiene RedCLARA2 en Abril 2016, y a la derecha RedCLARA 2018.

Figura 6-22 Santiago -Proveedores de internet internacionales (b)



(a) RedCLARA a abril 2016 (b) RedCLARA 2018

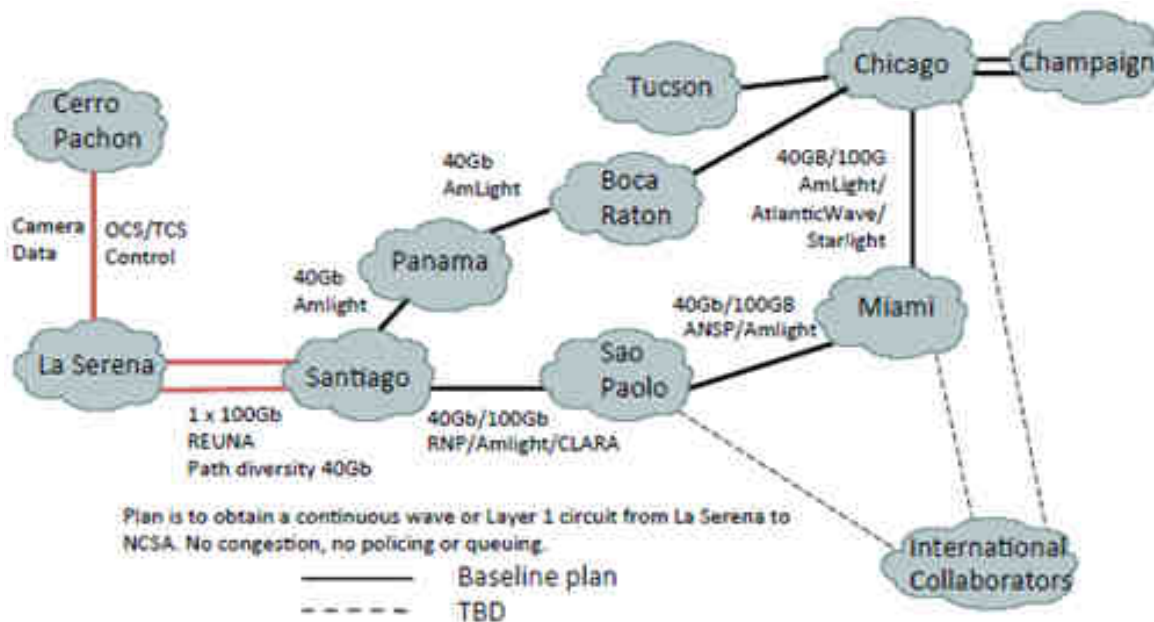
Fuente: (Utreras, 2016)

El enlace Santiago – Sao Paulo – Costa Este Miami tiene una línea base de 40 Gbps, proyectada a 100 Gbps. El enlace Santiago - Panamá – Costa Oeste Boca Ratón tiene una línea base de 40 Gbps.

Los enlaces internos en EEUU son de Internet-2 y ESnet con capacidades de 100 Gbps.

En la figura 6-23 se observa un resumen de las capacidades disponibles y proyectadas para la operación del LSST.

Figura 6-23 Capacidades disponibles y proyectadas para la operación del LSST.

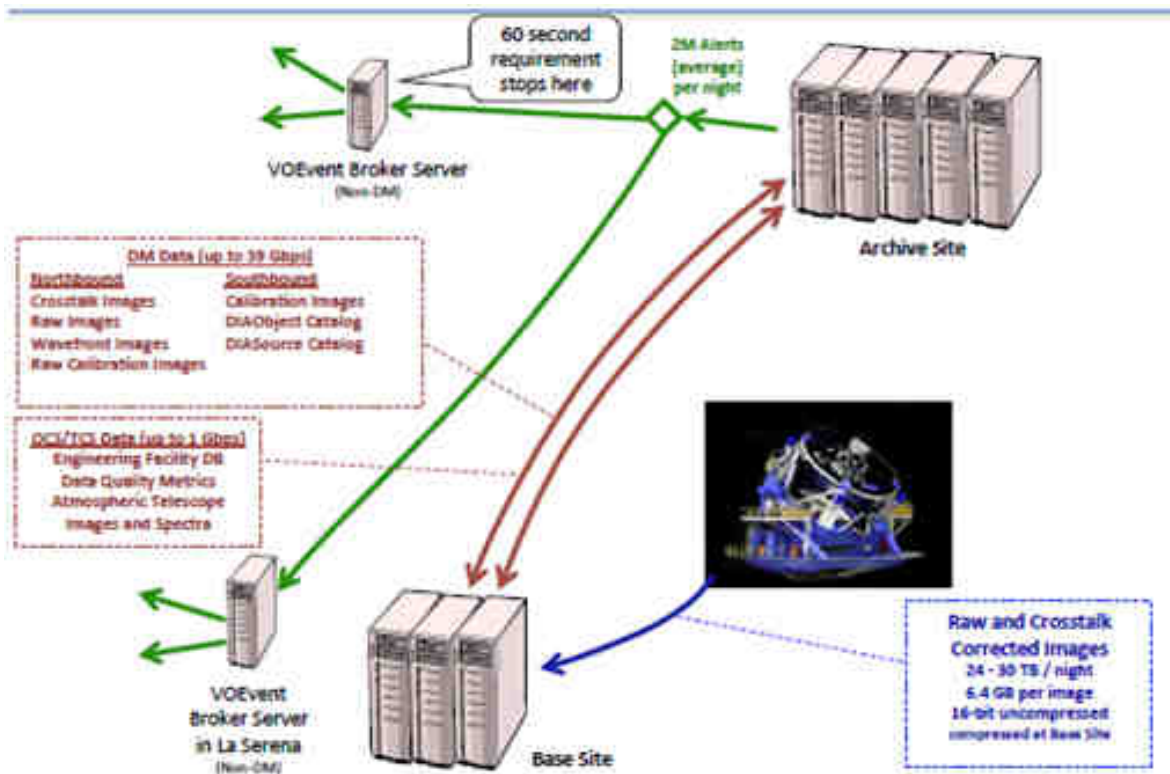


Fuente: (Kantor J. , LSST Project Update, 2015)

6.3.7 Generación de datos:

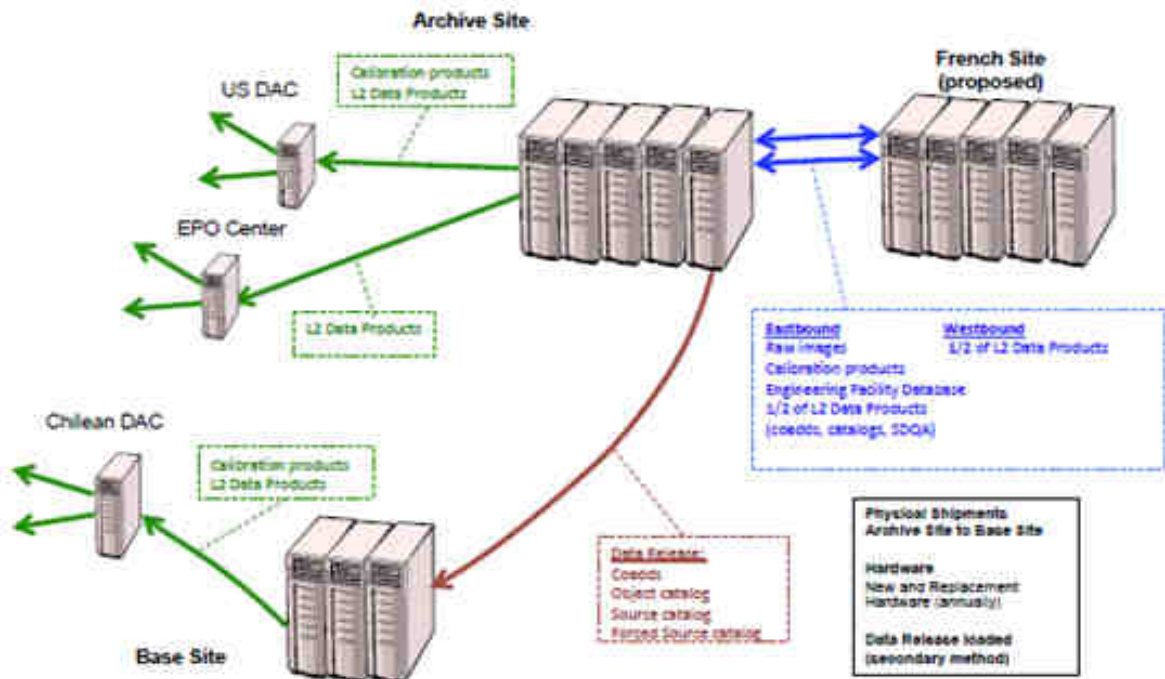
El flujo de datos se separa en dos tipos de flujos: nocturno y diario.

Figura 6-24 Flujo nocturno



Fuente: (Kantor J. , LSST Project Update, 2015)

Figura 6-25 Flujo diario



Fuente: (Kantor J. , LSST Project Update, 2015)

Figura 6-26 Enlaces asignados para la transferencia de datos

<u>SUMMIT"TO"BASE</u>	"	"	"	"	"	<u>"ALLOCATED"BANDWIDTH</u>
"Crosstalk"corrected"images"within"1"seconds"						"100Gb"
"TCS/OCS"command"and"control"	"	"	"	"	"	"100Gb"
"						
"						
BETWEEN"BASE"AND"ARCHIVE"						
"Crosstalk"in"5"seconds"	"	"	"	"	"	"40Gb"
"Raw"data"24"hours"						
"						
"Data"Releases"once"a"year	"	"	"	"	"	"40Gb"
"Operational"traffic	"	"	"	"	"	"10Gb"
"						
<u>CHILEAN"OPORTUNISTIC"TRAFFIC</u>	"	"	"	"	"	"As"available"

Fuente: (Kantor J. , LSST Project Update, 2015)

6.3.8 Capacidad disponible y proyectada

En la Tabla todos los valores están en Gbps, y se indica el valor del ancho de banda garantizado mínimo disponible. Todos permiten ráfagas de datos usando capacidad ociosa. El peor de los casos es que solo pueda atender al LSST.

Figura 6-27 Capacidad disponible y proyectada

FISCAL YEAR	Construction							Commissioning		Operation
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Mountain - Base	0	0	0	100	100	200	200	200	200	200
Base - Santiago	1	1	1	4	4+100	4+100	40+100	200 best case (1) 100 likely case 40 worst case	200 best case (1) 100 likely case 40 worst case	200 best case (1) 100 likely case 40 worst case
Santiago - Miami	1	1	1	10	100	100	100	100 best case (1) 40 likely case 10 worst case	100 best case (1) 40 likely case 10 worst case	100 best case (1) 40 likely case 10 worst case
Miami - Chicago	1	1	1	10	10	10	10	100 best case (1) 40 likely case 10 worst case	100 best case (1) 40 likely case 10 worst case	100 best case (1) 40 likely case 10 worst case
Chicago - Archive	1	1	1	1.5	2	100	100	100 best case (1) 40 likely case 10 worst case	100 best case (1) 40 likely case 10 worst case	100 best case (1) 40 likely case 10 worst case
Santiago - Boca Raton	1	1	1	1	40	40	40	100 best case (1) 20 likely case 10 worst case	100 best case (1) 20 likely case 10 worst case	100 best case (1) 20 likely case 10 worst case
Boca Raton - Chicago	0	0	0	0	0	0	0	100 best case (1) 20 likely case 10 worst case	100 best case (1) 20 likely case 10 worst case	100 best case (1) 20 likely case 10 worst case
Chicago - Lyon	0	10	10	10	10	10	10	100 best case (2) 20 likely case 10 worst case	100 best case (2) 20 likely case 10 worst case	100 best case (2) 20 likely case 10 worst case
Chicago - Tucson	0	0	0	0	0	0	0	100 best case (1) 20 likely case 10 worst case	100 best case (1) 20 likely case 10 worst case	100 best case (1) 20 likely case 10 worst case

NOTES:
 All bandwidths are in gigabits/second (Gbit/s).
 Bandwidths are guaranteed minimum available.
 All other bandwidths are to be confirmed.
 (1) Best case assumes all equipment (BNC, International BNC, and International BNC) is available.
 (2) This is projected. (BNC) provides this and will match the other links in capacity to the degree possible.

Fuente: (Kantor J. , LSST Project Update, 2015)

6.4 Cherenkov Telescope Array (CTA)

Las operaciones del CTA (*Cherenkov Telescope Array*) se llevarán a cabo en los *data centers in situ* (OSDC por sus siglas en inglés) en los sitios del CTA: CTA-Sur(en Paranal en el norte de Chile) y CTA-Norte (en Las Palmas de Gran Canaria, España). Cada OSDC comprende hardware computacional para ejecutar el software ACTL, para almacenamiento masivo, y está conectado al arreglo local del CTA (para lectura y control) y al mundo exterior (para exportar datos y control). ACTL provee el hardware y software que es necesario para:

- monitorear y controlar todos los telescopios y dispositivos auxiliares en los arreglos del CTA,
- programar y realizar observaciones y calibraciones, y
- fechar (colocar fecha y hora), leer, filtrar y almacenar datos.

Además del control de los numerosos dispositivos asociados a los telescopios y de las instalaciones de calibración comunes, la tarea más importante del sistema ACTL es la activación, el marcado temporal (fechar) y el almacenamiento de la lluvia de datos (de los rayos gamma). El flujo de datos general con el que el sistema ACTL tiene que lidiar está dominado por las cámaras del telescopio cuya activación local selecciona eventos que generan tasas de datos que se supone varían entre 10 Mbps y cerca de 5 Gbps. El requerimiento de estereoscopia (es decir, se deben disparar simultáneamente 2 o más telescopios) dará como resultado tasas de disparo del orden de 30 kHz y una tasa de datos del orden de 3 Gbps. Estos datos deben almacenarse en caché en un repositorio de

datos *in situ* durante unos dos meses para permitir (i) suprimir datos fuera de línea y seleccionar eventos y (ii) exportar datos a *data centers* fuera del sitio.

La Tabla 6-5 muestra un resumen de las instalaciones de ACTL en los OSDC para CTA-Sur (Chile) y CTA-Norte (España). El espacio en disco es el espacio total en disco para archivos y bases de datos. Los núcleos de cómputo comprenden todas las máquinas del OSDC que no atienden el uso de espacio en disco, sino que cubren tareas de ACTL (adquisición de datos, activación, supervisión), tareas de servicio de TI y tareas de análisis de datos (análisis de nivel A y B).

Tabla 6-5 Requerimientos del CTA-Sur en Chile.

Computing Resources		Server Cat.	No of servers	No of cores
Purpose				
	Data Acquisition	Compute node	35	400
	Slow Control and Central Array Control	Compute node	13	208
	Scheduler	Compute node	1	16
	Software Array Trigger	Compute node	2	32
	IT Services	Service node	2	32
	Level A/B Analysis	Compute node	50	800
Total Computing Cores				1552
Storage resources		Server Cat.	No of servers	TB / Server
Purpose				
Cherenkov + misc. data		Storage server	51	60
Total storage capacity for the on-site repositories				3,000 TB

	CTA-South	CTA-North
disk space	3 PB	1.5 PB
computing cores	1550	870

Fuente: (CTA, 2017)

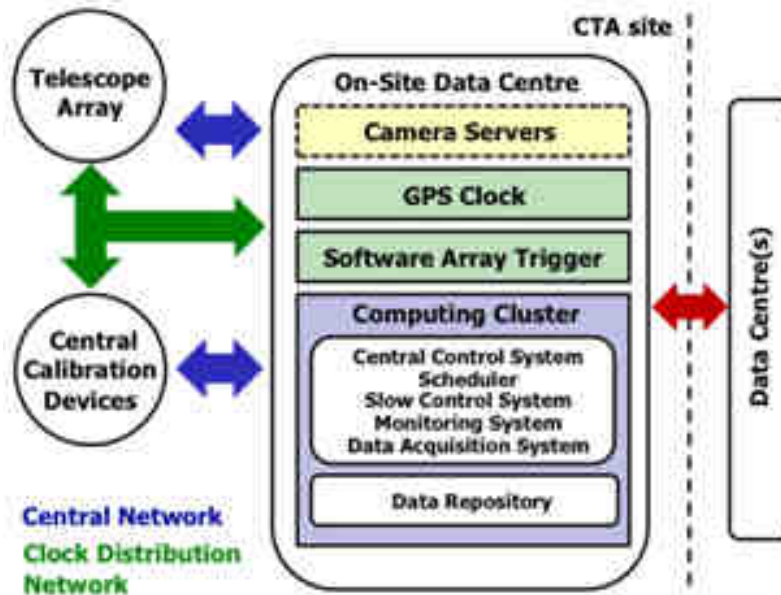
El hardware ACTL comprenderá (Figura6-28):

- Una red de área amplia (WAN) Ethernet de fibra monomodo (varios 10 Gbps) que conecta los telescopios con el OSDC (*On-Site Data Centre* en la figura 6-28) y facilita la transferencia de datos, el nivel de disparo del arreglo y la distribución del reloj. Además, cerca de cada telescopio se tendrá disponible una WLAN local para facilitar el acceso con *laptops* y tabletas para depuración y puesta en marcha.
- Computadores (también llamados servidores de cámara) ubicados en el OSDC y asignados a un telescopio para recibir los datos después que una cámara se dispara. Los servidores de cámara son proporcionados por los proyectos del telescopio y almacenan los datos de Cherenkov mientras el disparador del arreglo toma su decisión.
- Un clúster de computación central (también ubicado en el OSDC en la figura 6-28) para ejecutar el software ACTL, construcción y filtrado de eventos, y la operación del repositorio de datos. La Tabla anterior muestra la estimación para el número de núcleos

computacionales y la capacidad del repositorio de datos que son aproximadamente 1550 (870) y 3 PB (1,5 PB) para CTA-Sur (CTA-Norte), respectivamente.

- Algunos pocos equipos de Hardware para el software de disparo del arreglo (SWAT por sus siglas en inglés *Software Array Trigger*), también ubicado en el OSDC. El SWAT inspecciona las marcas de tiempo de los eventos del telescopio y selecciona los eventos estereoscópicos.

Figura 6-28 Hardware ACTL



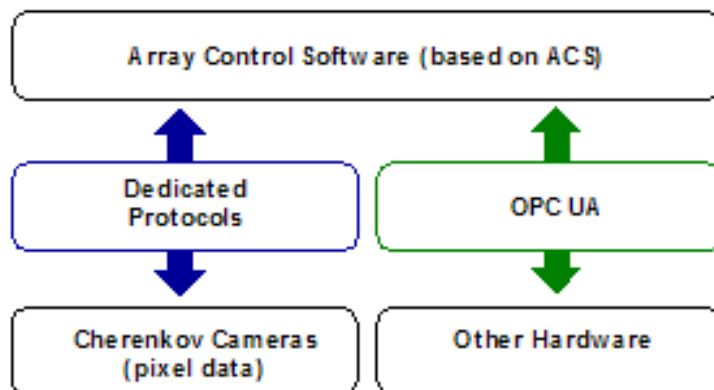
Fuente: (CTA, 2017)

El diseño no menciona intencionalmente estándares de hardware para la transferencia de datos y control (como el bus VME o CAN). Se usan protocolos dedicados y Ethernet para la transferencia de ráfagas de datos (los datos de la cámara de Cherenkov). Para todas las demás aplicaciones se aplica el uso de un estándar de software en particular (OPC UA) para garantizar la conectividad con los diferentes dispositivos de hardware.

La figura 6-29 muestra el esquema del acceso de hardware en el sistema ACTL. La adquisición de datos basada en ACS (*ALMA Common Software*) y el software de control del arreglo central se comunicarán con la mayoría de los dispositivos de hardware a través de OPC UA (rama derecha en la figura 6-29). OPC UA es un estándar de la industria, por lo que los servidores OPC UA pueden ser proporcionados por los proveedores de dispositivos o por los equipos de desarrollo del dispositivo. En la mayoría de los casos, la funcionalidad de los servidores OPC UA (variables, métodos, etc.) define la interfaz entre ACTL y un dispositivo de hardware (por ejemplo, una estación meteorológica o cámara CCD) que debe controlarse y leerse. Debido a los altos requerimientos de ancho de banda,

la lectura de los datos de la cámara empleará protocolos dedicados (rama izquierda en la figura 6-29).

Figura 6-29 Acceso de hardware en el sistema ACTL



Fuente: (CTA, 2017)

El CTA como la próxima generación de observatorios de rayos gamma de muy alta energía en tierra está creando nuevas demandas en el sistema ACTL. En la actualidad los diseños de arreglos consideran un despliegue del orden de 100 (20) telescopios en un área de aproximadamente 10 km² (1 km²) en el sitio sur en Chile (norte en España). Por los datos hasta aquí presentados, y por el foco de este estudio, se enfatizará principalmente en los detalles del CTA-sur en Chile.

Los requerimientos de desempeño del CTA y la mayor complejidad en el funcionamiento, control y monitoreo de un gran arreglo de multi-telescopios distribuidos, conducen a nuevos retos en el diseño y desarrollo del sistema de software de control CTA.

El observatorio CTA estará compuesto por telescopios Cherenkov de tres tamaños diferentes (con diámetros de 23m (*Large Size Telescope*-LST), 12m (*Medium Size Telescope*-MST) y 4m (*Small Size Telescope*-SST)) cuyas cámaras incluirán 1.000-10.000 píxeles. Una de las principales tareas del sistema ACTL para CTA es transportar, procesar y almacenar estos datos. Se utilizará un filtrado de eventos en línea para suprimir el fondo mientras se seleccionan las duchas electromagnéticas con alta eficiencia. Para la activación y posterior asociación, el sistema ACTL necesita proporcionar un mecanismo para registrar los datos de los diferentes telescopios con precisión de nanosegundos en un arreglo cuya extensión implica tiempos de ida y vuelta de una señal superior a 10 µs.

6.4.1 Tasa de eventos y volumen de datos

Las tasas de eventos con las que el sistema ACTL tiene que lidiar son dominadas por:

- Adquisición de imágenes seleccionadas por el disparo de la cámara local durante las observaciones,
- Selección de eventos estereoscópicos con la ayuda del SWAT, y
- Filtrado, compresión, procesamiento y almacenamiento de eventos a nivel de arreglo.

Todos los demás tipos de eventos (por ejemplo, eventos de calibración de cámara o datos de dispositivos de monitoreo atmosférico) se producen a una tasa mucho menor.

El tiempo de ida y vuelta de la señal sobre una distancia de 1 km es de aproximadamente 10 μ s a velocidad de fibra, es decir, mucho más largo que la profundidad típica del *buffer* (pocos microsegundos) en una cámara de Cherenkov.

Las tasas de disparo de un solo telescopio inducido por lluvias hadrónicas (protones y núcleos más pesados) son de unos pocos kHz para los MST y los LST. Se supone que los telescopios deben ser leídos a tasas de aproximadamente 0,5- 10 kHz.

Las simulaciones de Monte Carlo de arreglos candidatos de CTA predicen que los hadrones que cumplen los requisitos estereoscópicos (≥ 2 telescopios) darán lugar a tasas de disparo de 39 kHz (17 kHz) para CTA-Sur (CTA-Norte). Las multiplicidades típicas de telescopio para tales eventos estereoscópicos son aproximadamente 3,6 (3,4). La Tabla 6-6 resume los resultados de simulación relevantes para una instalación típica del sur y del norte. Los datos de la tabla se han utilizado para estimar conjuntamente tasas de datos y volúmenes de datos.

Los resultados de Monte Carlo son parámetros de entrada para el cálculo de las tasas de datos. Las multiplicidades del telescopio (columnas 3-6) se refieren a eventos estereoscópicos en los que se activan al menos dos telescopios.

Tabla 6-6 Resultados de simulación para una instalación típica del sur y del norte

Site	Trigger Rate for Hadrons (Hz)	LST/event	MST/event	SST/event	SCT/event
CTA-South	39941	0.5421*	1.8260	0.6149	0.6523
CTA-North	17017	1.1895*	2.2048	-	-

Fuente: (CTA, 2017)

6.4.2 Volúmenes de datos

Los diferentes proyectos de cámara apuntan a la lectura de eventos de disparo de cámara a tasas objetivo en el rango de 0,6 - 15,0 kHz. Las tasas requeridas son en general un factor inferior de 2. La traducción de las tasas de lectura hacia las tasas de datos requiere suposiciones sobre la cantidad de datos que necesitan ser leídos por píxeles de la cámara.

La siguiente tabla muestra la longitud (en el tiempo) de la ventana de lectura, el número de muestras por unidad de tiempo y el número de bytes utilizados por muestra. Es la base para la traducción de las tasas de eventos hacia las tasas de datos. Se muestran las características de lectura de los diferentes proyectos de cámara (LST, MST, SST y SCT). La lectura ocurrirá para una ventana de tiempo entre 30 y 100 ns (columna 3). Durante la lectura, las señales serán muestreadas a una frecuencia dada (columna 4), y cada muestra será decodificada en unos pocos bytes (columna 5). El número total de bytes por píxel (columna de la derecha) es el producto de las columnas 3-5 más 5 bytes de información de encabezado (columna 6). Las cámaras SST-2M-AS sólo proporcionarán señales integradas, por lo que las columnas 3-6 no se aplican en este caso.

Tabla 6-7 Proyectos de cámara – volúmenes de datos (a)

Telescope type	Pixels per camera	Window (ns)	Samples (per ns)	Bytes/sample	Bytes for header	Bytes/pixel
LST	1855	30	1	4	5	125
MST-NectarCAM	1855	60	1	4	5	245
MST-FlashCAM	1764	60	0.25	2	5	35
SST-2M-G	2048	100	1	2	5	205
SST-2M-AS	2048	N/A	N/A	N/A	N/A	7
SST-1M-DG	1300	100	0.25	2	5	55
SCT	11328	60	1	2	5	125

Fuente: (CTA, 2017)

En el diseño actual de línea de base para el CTA, los telescopios Schwarzschild-Couder (SCT) de tamaño mediano se tratan como una extensión, por lo que no se incluyen en los diseños de arreglos usados aquí. En lo que sigue, el impacto de los SCTs se presenta separadamente.

Transferencia entre la cámara y el servidor de cámara: La estimación de las tasas de datos que deben transferirse entre una cámara individual y su servidor de cámaras se basa en las siguientes suposiciones:

1. La transferencia debe ser posible a las tasas de lectura objetivas.
2. Se debe leer toda la cámara y enviar los datos sin ninguna compresión.
3. Se agrega una información de encabezado de 5 bytes de longitud a los datos de cada píxel según la Tabla 6-7.

La combinación multiplicativa del número de bytes por píxel de la Tabla anterior con las tasas objetivo da entonces las tasas de datos (en Gbps) listadas en la columna más a la derecha de la

siguiente Tabla. Las tasas estimadas no incluyen la sobrecarga del protocolo, por lo que debe aumentarse en un margen de al menos un 25%. Queda claro que las necesidades de todos los proyectos de cámaras se pueden atender con 4 líneas de 10 Gbps. La Tabla muestra las tasas de lectura de los diferentes tipos de cámaras. La lectura de todos los píxeles (columna 2 de la Tabla anterior) de una sola cámara a la tasa objetivo (columna 2 de la Tabla siguiente) da como resultado las tasas de datos mostradas en la columna de la derecha. Los datos se deben transferir a esta velocidad de la cámara al servidor de la cámara. Las cámaras SCT pueden leer a 10 kHz, pero serán reguladas por un disparador de hardware a 2,5 kHz.

Tabla 6-8 Cámaras – volúmenes de datos (b)

camera type	goal rate	data rate
LST	15.0 kHz	27.8 Gb/s
MST-NectarCAM	9.0 kHz	32.7 Gb/s
MST-FlashCAM	9.0 kHz	4.4 Gb/s
SST-2M-G	0.6 kHz	2.0 Gb/s
SST-2M-AS	0.6 kHz	0.07 Gb/s
SST-1M-DG	0.6 kHz	0.34 Gb/s
SCT	2.5 kHz	28.3 Gb/s

Fuente: (CTA, 2017)

En el escenario de línea de base, la tasa total de datos movidos entre todas las cámaras y sus servidores asciende a unos 80 Gbps para CTA-Sur.

Adquisición de eventos estereoscópicos: La siguiente Tabla proporciona una visión general de las tasas de datos esperadas que se producirán después de la SWAT para CTA-Sur. La columna de más a la derecha entrega la tasa de transferencia de datos de píxeles de todos los servidores de cámaras a un lugar central cuando se mantiene la forma de onda completa para todos los píxeles en aquellas cámaras que estuvieron implicadas en el disparo de nivel del arreglo. La tasa total es de 32 Gbps para CTA-Sur.

Las tasas de datos en las dos columnas más a la derecha se refieren a la suma de todos los telescopios de un tipo dado que contribuyen a un disparo del arreglo. La tasa bruta (columna 5) resulta cuando se mantiene la forma de onda completa para cada píxel. Se calculó la tasa reducida (columna más a la derecha) con la suposición de que la información de píxeles completa (número de bytes por píxel en la columna 4) se mantiene para 3% de los píxeles (imagen) mientras que 15 bytes/píxel (7 bytes por píxel para SST-2M-AS) se almacenan para el 97% restante de los píxeles.

Tabla 6-9 Tasas de datos esperadas para CTA

Telescope type	Qty for CTA-South	Nb Tel. /Trig.	Bytes /pixel	raw rate (GB/s)	red. rate (GB/s)
LST	4	1.00*	125	9.3	1.34
MST-NectarCAM	12	0.91	245	16.5	1.48
MST-FlashCAM	12	0.91	35	2.2	1.00
SST-2M-G	24	0.20	205	3.4	0.34
SST-2M-AS	24	0.20	7	0.11	0.11
SST-1M-DG	24	0.20	55	0.57	0.17
SCT	26	0.65	125	36.8	5.38
Total without SCTs				32	4.5
Total with SCTs				69	9.8

Fuente: (CTA, 2017)

Procesamiento y filtrado de eventos estereoscópicos: Se necesita un procesamiento adicional de los eventos seleccionados en el sistema ACTL para disminuir las tasas de eventos y los volúmenes de datos involucrados. Se supone que el volumen de datos disminuye debido al hecho de que la forma de onda completa se mantiene solamente para píxeles seleccionados (importantes), mientras que para los otros píxeles sólo se almacena información básica (por ejemplo, integral de carga, tiempo máximo). Este tipo de reducción de datos resulta en las tasas de datos mostradas en la columna 6 de la tabla anterior. La tasa se reduce a 4,5 Gbps para CTA-Sur. Se observa que esta tasa es más de 10 veces mayor que la velocidad a la que el experimento ATLAS almacena datos permanentemente. Se prevé un factor de supresión de 10 antes de que los datos puedan ser exportados fuera del sitio.

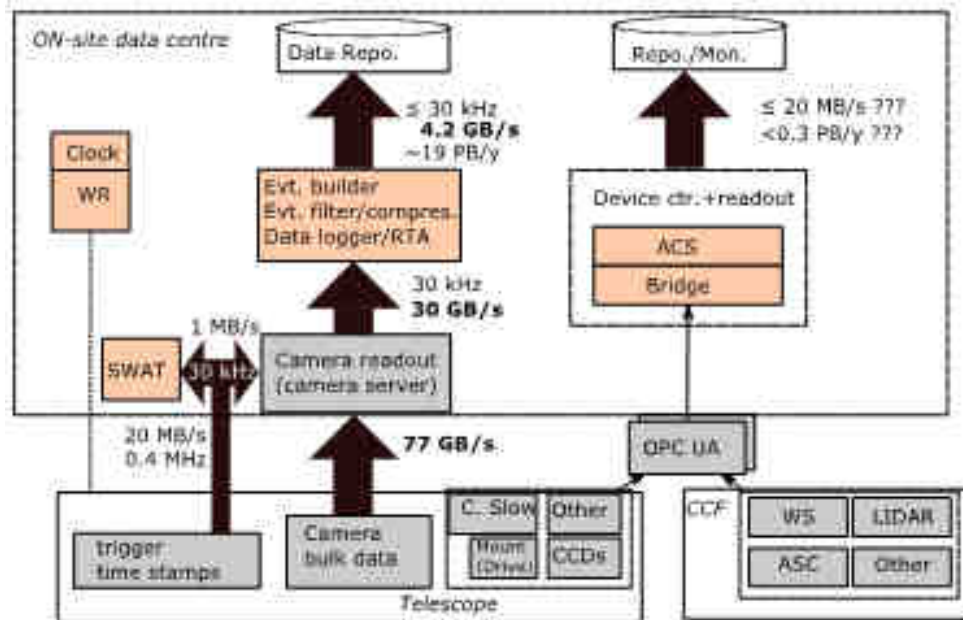
Extensión de CTA-Sur con SCTs de tamaño mediano: La inclusión de SCTs en CTA-Sur aumentaría las tasas de datos con las que el sistema ACTL tiene que lidiar. Las estimaciones presentadas aquí (en la Tabla anterior) muestran un aumento de la tasa reducida de 4,5 Gbps a 9,8 Gbps.

Almacenamiento de datos CTA en el repositorio de datos: El volumen de datos observacionales se ha estimado bajo el supuesto de que el tiempo típico de observación es 1314 h por año (15% de ciclo de trabajo). Una tasa de datos de 1 Gbps durante los resultados de las observaciones luego en un volumen de datos de 4,7 PB al año, por lo que 4,5 Gbps implican un volumen total de 21 PB. El almacenamiento de datos durante 2 meses requiere 3,5 PB. La inclusión de SCTs doblaría aproximadamente todas estas estimaciones a menos que los datos de SCT fueran más comprimidos que los de otras cámaras.

Exportación de datos: Con una línea de 1 Gbps y suponiendo que aproximadamente el 75% de la capacidad de línea teórica se puede utilizar para la exportación de datos, se pueden exportar unos 0.12 Gbps = 3PB / año. Evidentemente, se necesitaría más filtrado y compresión de eventos durante la adquisición de datos o un repositorio temporal de datos en línea. Se espera que los algoritmos para el filtrado de eventos y la compresión de datos mejoren durante la operación de CTA, por lo que el procesamiento en el sitio es una opción.

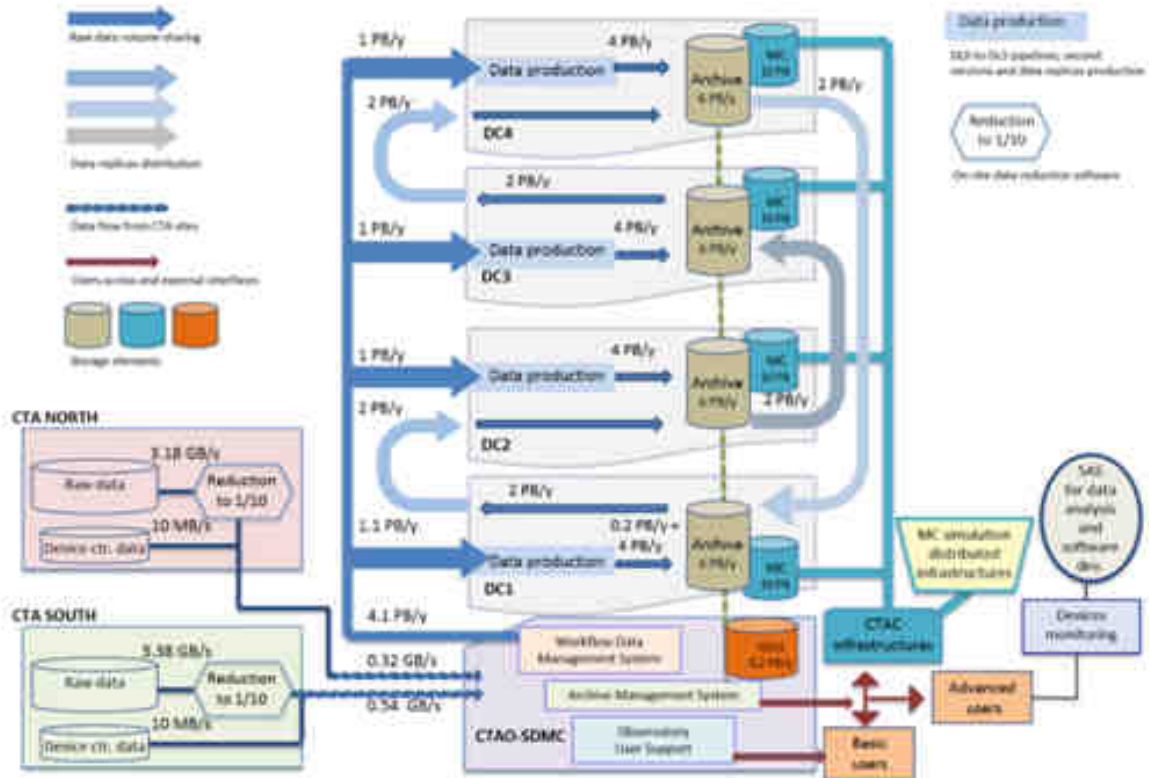
La figura 6-30 muestra una vista esquemática del flujo global de datos del sistema ACTL, incluyendo la dirección del flujo y las tasas y volúmenes estimados involucrados.

Figura 6-30 Flujo global de datos del sistema ACTL



Fuente: (CTA, 2017)

Figura 6-31 Resumen CTA.



Fuente: (CTA, 2017)

Como una solución para evitar sesgos causados por datos limitados, los astrónomos estudian ahora sistemáticamente el cielo, barriéndolo con estudios llamados Sky Surveys, que plantean nuevos desafíos.

6.5 LSST (Large Synoptic Survey Telescope) el Survey de esta década.

LSST está planificado para operar entre el 2020 y el 2030 en Cerro Pachón (Chile). Con este telescopio se obtendrá una serie de tiempo de diez años de imágenes del cielo nocturno - mapeando el Universo con unos 100,000 eventos cada noche (LSST) . La primera luz del LSST está planificada para mayo, 2019, y el inicio de las operaciones para mayo, 2022.

La Estrategia de Observación del LSST es capturar un par de imágenes cada 40 segundos para cada punto en el cielo, luego sigue a través del cielo continuamente cada noche durante 10 años (2020-2030), con el muestreo de dominio del tiempo en intervalos de $\log(\text{tiempo})$ (para capturar el rango dinámico de los transientes).

El arreglo plano focal del LSST es una cámara con 189 sensores CCDs de 4096x4096 pixeles cada uno. Esto da origen a 3 Gigapíxeles, es decir, 6 GB por imagen, cubriendo 10 grados cuadrados. Esto significa unas 3000 veces el área de una imagen del telescopio espacial Hubble.

Los desafíos de los datos en LSST se pueden resumir en las propias características técnicas del plano focal de la cámara y la tasa de datos de la cámara (LSST-camera).

Plano focal (FPA):

- Arreglo del plano focal de 189 sensores CCD de 4K x 4K, cada uno con 16 salidas

☐ Un total de 3024 canales de video

- Sensores organizados en grupos idénticos de 3 x 3 sensores
- El reloj de los CCDs de Ciencia es sincrónico y global a lo largo de todo el FPA

☐ $500 \text{ kpix/seg} * 16 \text{ salidas/CCD} * 189 \text{ CCDs} = 3.2 \text{ Gpix/2seg}$

- A raft es un objeto autónomo y puede funcionar como una cámara completa

☐ 144 canales/raft

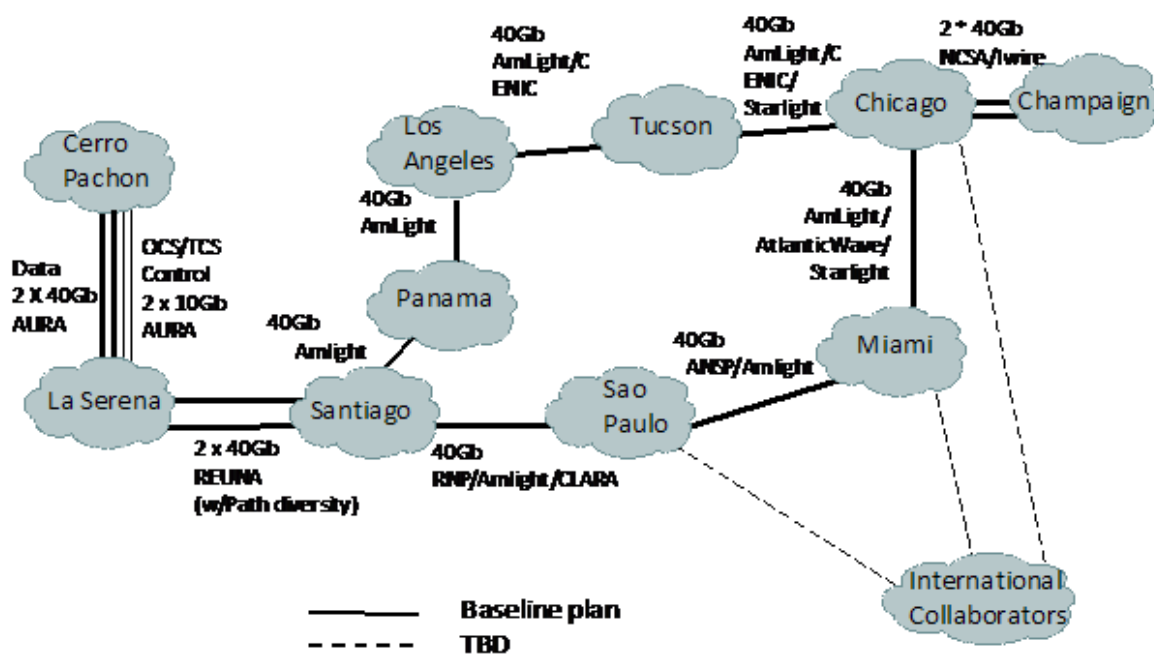
☐ la electrónica de lectura encaja en la "sombra" de los sensores

- Rango dinámico de 16-bit es manipulado por una única lectura

Tasa de datos de la Cámara:

- Peak de data raw sobre 3 GBytes/seg. desde la cámara
- 1 pixel = 2 Bytes (raw)
- 3.2 billones de pixels leídos en 2 seg. (15 seg. integración)
- Rango Dinámico: 18 bits / pixel
- > 0.6 GB/seg de promedio en el pipeline
- ~15 TBytes/noche
- 2 TFlops/s promedio, 9 TFlops/s peak

Figura 6-32 Enlaces definidos por el proyecto LSST



Fuente: elaborado a partir de (Kantor J. , LSST Project Update, 2014)

Figura 6-33 Evolución de los enlaces para el LSST

	R&D		Construction					Commissioning		Operations	
FISCAL YEAR	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022 - 2034	
Mountain - Base	0	0	1	1.5	2	100	100	100	100	100	
Base - Santiago	1	1	1	1.5	2	2.5	3	200 best case [1] 100 likely case 40 worst case	200 best case [1] 100 likely case 40 worst case	200 best case [1] 100 likely case 40 worst case	
Santiago - Miami	1	1	1	1.5	2	2.5	3	100 best case [1] 40 likely case 10 worst case	100 best case [1] 40 likely case 10 worst case	100 best case [1] 40 likely case 10 worst case	
Miami - Chicago	1	1	1	1.5	2	2.5	3	100 best case [1] 40 likely case 10 worst case	100 best case [1] 40 likely case 10 worst case	100 best case [1] 40 likely case 10 worst case	
Chicago - Archive	1	1	1	1.5	2	2.5	3	100 best case [1] 40 likely case 10 worst case	100 best case [1] 40 likely case 10 worst case	100 best case [1] 40 likely case 10 worst case	
Santiago - Los Angeles	1	1	1	1.5	2	2.5	3	100 best case [1] 20 likely case 10 worst case	100 best case [1] 20 likely case 10 worst case	100 best case [1] 20 likely case 10 worst case	
Los Angeles - Tucson - Chicago	0	0	0	0	0	0	0	100 best case [1] 20 likely case 10 worst case	100 best case [1] 20 likely case 10 worst case	100 best case [1] 20 likely case 10 worst case	
Chicago - Lyon	0	10	10	10	10	10	10	100 best case [2] 20 likely case 10 worst case	100 best case [2] 20 likely case 10 worst case	100 best case [2] 20 likely case 10 worst case	

NOTES:

All bandwidths are in gigabits/second (Gbps)

Bandwidths are guaranteed minimum available, except as noted in table

All allow burst up to unused capacity

[1] best/likely cases presume continued IRMC, international REN investments, and industrial partnerships through AMPATH/AMLEHT

[2] INEP3 provides this and will match the other links in capacity to the degree possible.

Fuente: elaborado a partir de (Kantor J. , LSST Project Update, 2014)

6.6 Modelo de financiamiento de la infraestructura

El principal proveedor de infraestructura de transporte para la Astronomía en Chile es la Red Universitaria Nacional (REUNA). Si bien la ‘última milla’ a los observatorios es suministrada por proveedores de servicio de conectividad residencial/industrial, o en ocasiones por enlaces propios, las redes troncales son implementadas y operadas por REUNA.

Las principales instituciones operadoras de telescopios en Chile son socios de REUNA. Entre estos se cuentan: Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), Atacama Large Millimeter / sub-Millimeter Array (ALMA), Observatorio Europeo Austral (ESO), National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ) y National Radio Astronomy Observatory (NRAO).

REUNA es una corporación sin fines de lucro, que financia sus gastos de operación y administración mediante el cobro de cuotas y contratos de servicios. Además obtiene una parte menor de su presupuesto anual mediante la adjudicación de proyectos. Los gastos operacionales contemplan el costo propio de la explotación de las redes, así como los gastos de administración.

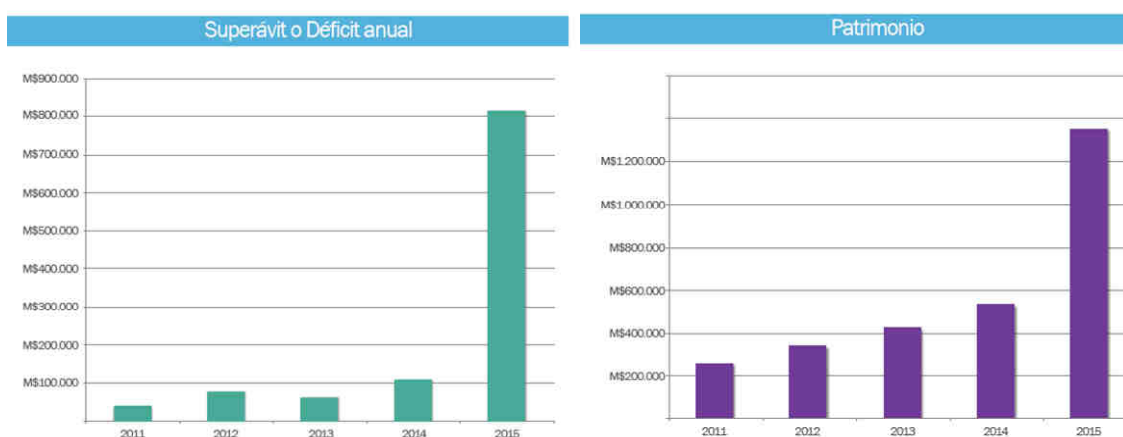
Figura 6-34 Ingresos y gastos operacionales de la Red Universitaria Nacional (REUNA)



Fuente: (Memoria Anual 2015 REUNA, 2015)

REUNA exhibe un superávit estructural lo que, en los últimos años, ha sido materializado como un aumento de su patrimonio. La incorporación de nuevos socios y contratos en los años 2014 y 2015 ha fortalecido este superávit mostrando a fines de 2015 un patrimonio superior a los 1.300 millones de pesos.

Figura 6-35 Superávit anual y Patrimonio de la Red Universitaria Nacional (REUNA)



Fuente: (Memoria Anual 2015 REUNA, 2015)

Las últimas millas de los observatorios son implementadas por fibra óptica o mediante enlaces de microondas. En general los grandes observatorios poseen enlaces de fibra óptica propios cuya instalación fue financiada como gasto de capital (CAPEX), mientras los pequeños observatorios poseen enlaces de microondas contratados en modalidad de servicio (OPEX) a proveedores de servicio locales.

6.7 Modelo futuro

6.7.1 Red troncal

Basados en el éxito del modelo actual, así como considerando las particulares necesidades de los observatorios creemos que, en el horizonte de tiempo del presente estudio, no habrá cambios importantes respecto al modelo actual asociado a la instalación y explotación de infraestructura de telecomunicaciones para la astronomía. Es decir, en general seguirá existiendo una (o unas pocas) redes troncales con financiamiento público-privado que proveerán el servicio de comunicaciones de alta velocidad que necesita la astronomía.

Este modelo, basado en una o más corporaciones sin fines de lucro se ajusta al tamaño, número de actores, y espíritu del quehacer de los observatorios, resultando en mayores sinergias que el uso de redes privadas, o la contratación de servicios a empresas de telecomunicaciones.

6.7.2 Posible evolución del modelo actual

Cambios al modelo actual podrían incluir un mayor financiamiento estatal (directo) para el desarrollo y operación de infraestructura de telecomunicaciones, ya sea mediante una asociación con REUNA o mediante la creación de otra institucionalidad similar. El aporte estatal directo estaría justificado por el desarrollo científico y tecnológico local asociado a la existencia de redes de alta velocidad, lo que tendría externalidades positivas para el país.

Los pequeños telescopios se verán beneficiados en el futuro cercano con el desarrollo de las redes de fibra óptica de los grandes observatorios y podrían lograr acuerdos de cooperación o contratos de servicio con estos últimos. De este modo debiéramos esperar menos observatorios usando enlaces inalámbricos, excepto en zonas muy apartadas.

Organismos que fomenten la colaboración entre los distintos actores en astronomía serán necesarios. El Parque Astronómico Atacama (CONYCYT) y el Chajnantor Working Group (ALMA) , son ejemplos de estos esfuerzos.

La existencia de cobertura nacional de tráfico de datos de alta velocidad sería sin duda un factor positivo relevante en la toma de decisiones sobre la instalación de nuevos observatorios u otras instalaciones científicas en Chile.

7 MODELO DE DEMANDA PROSPECTIVA DE TRANSPORTE DE DATOS DE LOS PRINCIPALES OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS DEL NORTE DE CHILE

7.1 Introducción

Los observatorios astronómicos profesionales modernos requieren de grandes inversiones, desde las decenas a los miles de millones de dólares, montos comparables con otras actividades económicas en Chile como la minería o la industria forestal.

A diferencia de estas últimas, los productos generados por los observatorios son intangibles, principalmente datos, en forma de observaciones científicas de fuentes específicas o archivos de grandes zonas del cielo (surveys) para ser analizados en el futuro.

Los observatorios, en general, no producen publicaciones científicas en sí mismos, sino que proveen los insumos para que investigadores de otras instituciones analicen los datos y publiquen los resultados.

7.2 Escenarios Probables

El proceso de diseño y construcción de los observatorios genera también desarrollo tecnológico de frontera, que en el pasado ha demostrado su potencial de convertirse en servicios o productos con aplicaciones fuera de la astronomía, y en algunos casos de alta penetración en la sociedad. (ADDERE, 2012).

Los grandes observatorios astronómicos son en su gran mayoría financiados por estados o consorcios internacionales que administran los presupuestos de ciencia y tecnología de sus países. Sus especificaciones técnicas son definidas por equipos expertos en las etapas de diseño conceptual, comúnmente asociado al interés particular de una comunidad científica (caso científico), una oportunidad tecnológica, y una oportunidad de financiamiento.

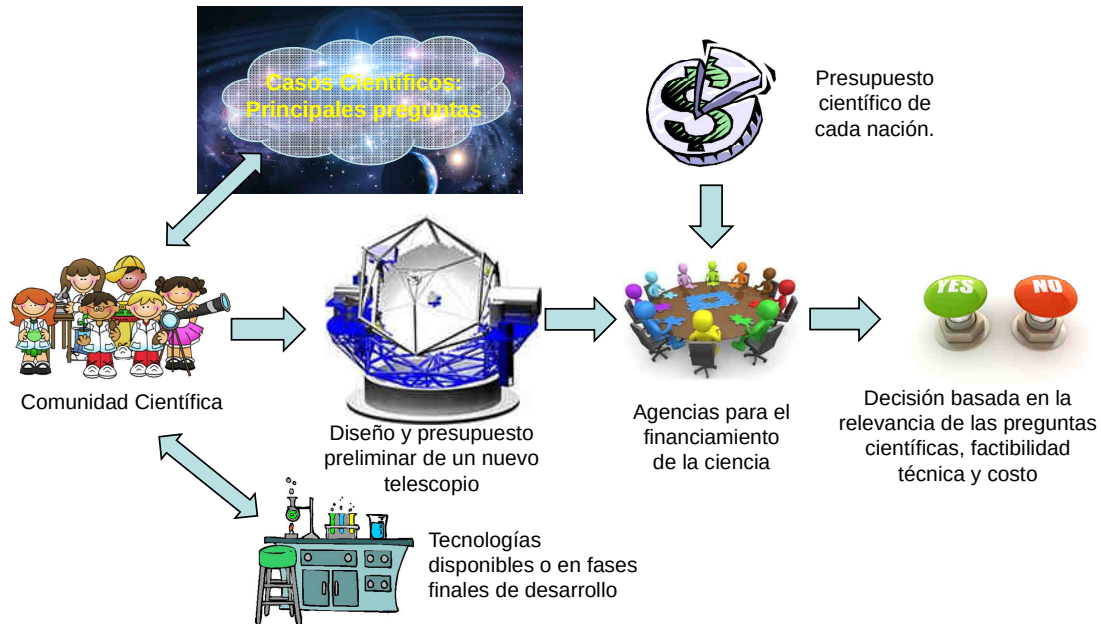
Cada nuevo instrumento implementa, o intenta implementar la mejor tecnología disponible al alcance, para lograr ventajas competitivas con sus predecesores.

7.3 Modelo de estimación de la demanda

En este sentido, las principales variables que pueden ayudar a predecir el desarrollo de nuevos telescopios, y por tanto la demanda futura de tecnología y comunicaciones en astronomía son:

1. Los principales casos científicos (preguntas fundamentales).
2. Las tecnologías necesarias y disponibles para dar respuestas a estas preguntas científicas.
3. Presupuesto para el financiamiento de la ciencia.

Figura 7-1 Ciclo de vida de las propuestas para nuevas instalaciones científicas

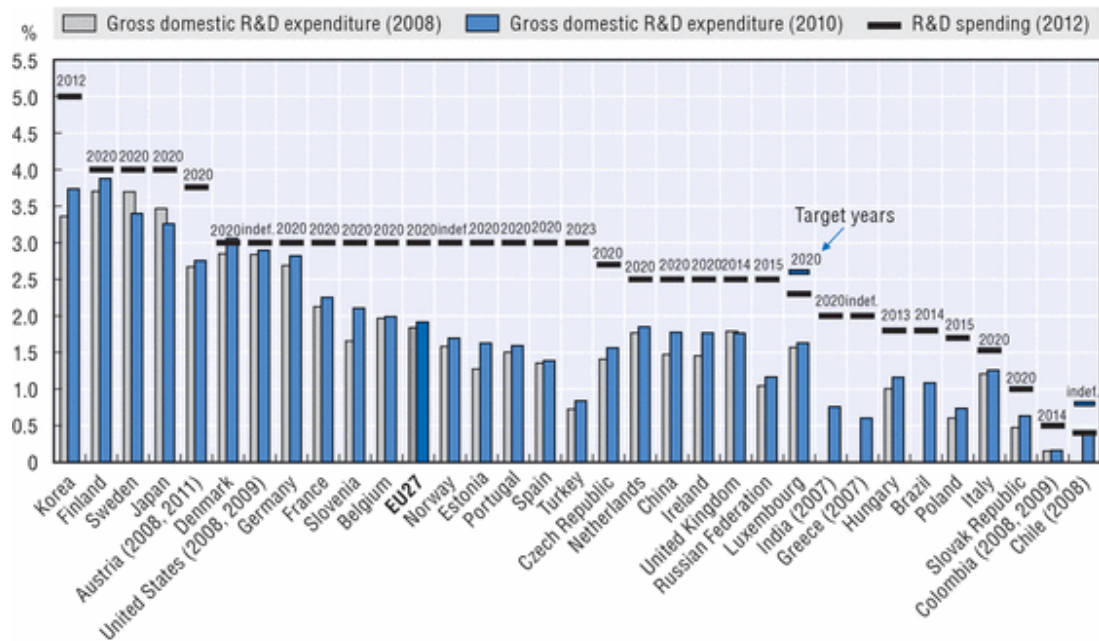


Fuente: elaboración propia

7.3.1 Financiamiento de la Ciencia

De las tres variables mencionadas la que resulta más fácil de predecir es el nivel de financiamiento de la ciencia (3), ya que en general este está indexado al Producto Interno Bruto (PIB) de los países, el cual varía poco (más o menos un 2%) año a año en el mundo desarrollado. Por otro lado el porcentaje del PIB destinado a ciencia de los principales países que desarrollan grandes observatorios tiene también una variación lenta o es casi estático, por cuanto es razonable suponer que, descontando el escenario de una recesión mundial severa, el presupuesto para ciencia y tecnología se mantendrá constante (en valor real), o crecerá moderadamente durante los próximos 20 años.

Figura 7-2 OECD: Porcentaje del PIB destinado a Investigación Científica en los años 2010, 2012 y objetivo futuro declarado



Fuente: (OECD)

En particular la demanda de ancho de banda, al menos en las etapas iniciales de un proyecto científico, responde a la necesidad de lograr un conjunto mínimo de objetivos científicos fundamentales declarados por el proyecto astronómico (Key Science Goals), y no a variables exógenas inmediatas.

7.3.2 Proyectos en etapas finales de diseño o en construcción

La mayoría de los telescopios en etapa de diseño final o en construcción estiman el ancho de banda que requerirán para lograr sus objetivos fundamentales, por tanto, la primera y más segura fuente para evaluar el tráfico demandado por la astronomía son los reportes de diseño de los instrumentos. Estos anchos de banda declarados son una buena estimación a 5 o incluso 10 años plazo. Cabe señalar que estos reportes de diseño preliminar no siempre son públicos.

Todas las instalaciones científicas de gran magnitud están normalmente actualizando sus instrumentos, por cuanto las estimaciones iniciales de ancho de banda no necesariamente representan el ancho de banda que los mismos observatorios tendrán más allá de 10 años en el futuro.

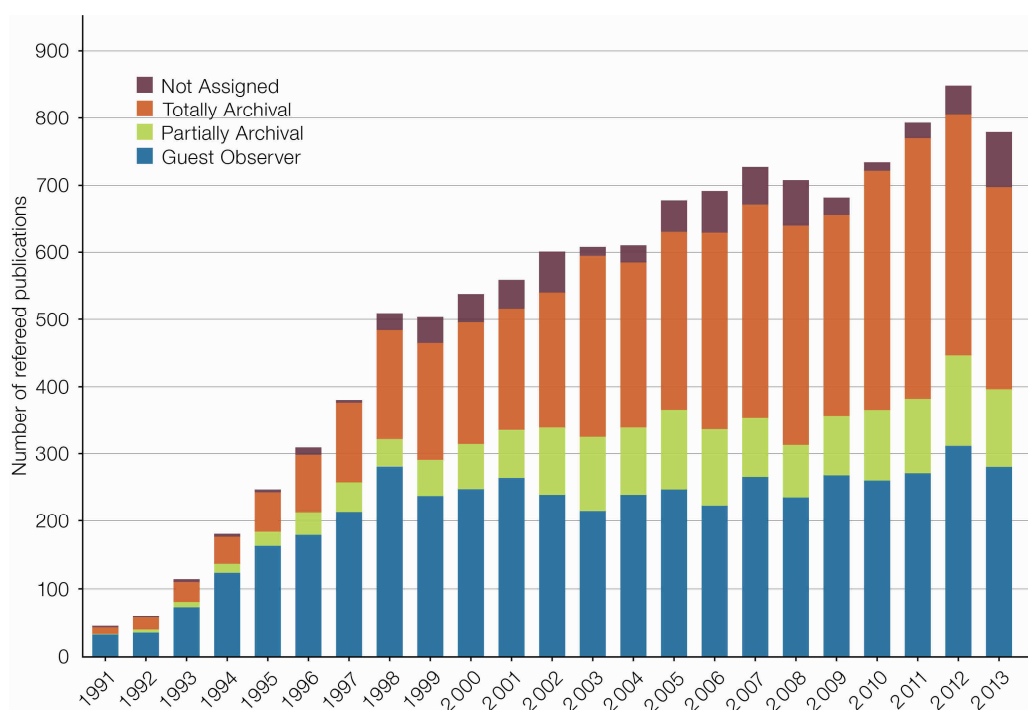
7.3.3 Proyectos en etapas de diseño conceptual y proyectos aun no conceptualizados

Esta área es, sin duda, el área más difícil de proyectar, pues requiere hacer una suposición de cuáles serán las principales preguntas científicas abordadas por la comunidad astronómica a 10 y 20 años en el futuro. Además requiere conocer el estado del arte del desarrollo tecnológico, pues las capacidades tecnológicas definen que preguntas se pueden responder con desarrollos instrumentales y cuales están aun fuera de nuestra capacidad técnica inmediata. En este último caso sólo se puede hacer una estimación educada basada en la literatura científica y las opiniones expertas.

7.3.4 Ciencia impulsada por datos y ciencia de oportunidad

Un nuevo modo de hacer astronomía es el liderado por el desarrollo de observatorios virtuales. Estas instalaciones agrupan los datos existentes de uno o múltiples observatorios y ofrecen herramientas que permiten obtener nuevo conocimiento del mismo conjunto de observaciones. Esta modalidad se contrapone al modo convencional de solicitar una observación particular para verificar una hipótesis previa (propuestas de observación). La imagen abajo muestra que en el caso del telescopio espacial Hubble, a partir del año 2000, más artículos científicos fueron publicados basados en datos de archivo, que los publicados a partir de nuevas observaciones.

Figura 7-3 Número de Publicaciones basadas en observaciones del telescopio Hubble



Fuente: (spacetelescope.org)

Por último es interesante mencionar que aunque no esté declarado en los objetivos científicos, la disponibilidad de alto ancho de banda puede abrir la puerta a otros tipos de ciencia no identificados preliminarmente. Por ejemplo se puede mencionar:

Hacer disponible en línea los registros (logs) de los parámetros de los instrumentos científicos, podría abrir la posibilidad de hacer minería de datos y anticipar fallas, o bien hacer estudios de largo plazo de la estabilidad de semiconductores, superconductores, sistemas de vacío, criogenia y otros materiales o dispositivos.

Todos los observatorios tienen alguna capacidad de medición del medioambiente, desde estaciones meteorológicas convencionales (presión, humedad, temperatura), hasta monitores de seeing o radiómetros de vapor de agua atmosférica. Hacer disponibles estos datos en tiempo real podría ser de utilidad para otras comunidades como la de las ciencias de la tierra.

Muchas observaciones astronómicas necesitan observar fuentes de calibración durante el proceso de captura de datos. Estas pueden ser estrellas, planetas o cuásares, entre otros. Las fuentes de calibración no son, normalmente, parte del paquete de datos confidencial, que se entrega al investigador responsable, sino que son datos extra que algunos observatorios hacen públicos.

Publicar estas fuentes de calibración en tiempo real podría ser útil a otros astrónomos o a otras disciplinas científicas.

Estos son sólo algunos ejemplos que muestran que, independiente de las necesidades esenciales de los observatorios, el tener más ancho de banda disponible puede expandir el impacto científico de cada observatorio de formas indirectas, que de otra forma no serían explotadas.

En términos generales, más ancho de banda es siempre mejor.

7.4 Productividad científica de los principales observatorios astronómicos en Chile.

Es importante destacar que la principal misión de los observatorios astronómicos no es publicar artículos científicos sino que generar datos en forma de observaciones específicas o exploraciones de gran cobertura (surveys) que luego son analizados por investigadores en universidades e institutos alrededor del mundo para extraer conocimiento. Este nuevo conocimiento se ve reflejado en forma de publicaciones científicas. La afiliación de los autores de un artículo es mayoritariamente con institutos o universidades, y no con un observatorio en particular, lo que hace una tarea difícil el relacionar telescopios y artículos científicos. Más aún, cada vez más artículos están basados en datos de más de un telescopio.

El número de publicaciones científicas por sí sólo, no da cuenta cabal de la productividad científica de un observatorio (o investigador), también es importante el número de citas que estos artículos han generado pues esto da cuenta del impacto o relevancia de los descubrimientos. Para que el número de citas tenga sentido (en valor absoluto) también debe ser corregido (calibrado) por el tamaño de la comunidad científica en la disciplina particular, pues artículos en áreas con mayor número de investigadores activos tienden a tener más citas.

El problema de la idoneidad de los indicadores de productividad científica está más allá del alcance de este estudio, no obstante el presente capítulo aporta la estadística disponible de publicaciones científicas basadas, total o parcialmente, en datos de los mayores observatorios en Chile. Por publicaciones científicas nos referimos a publicaciones sometidas a arbitraje de pares en revistas de corriente principal.

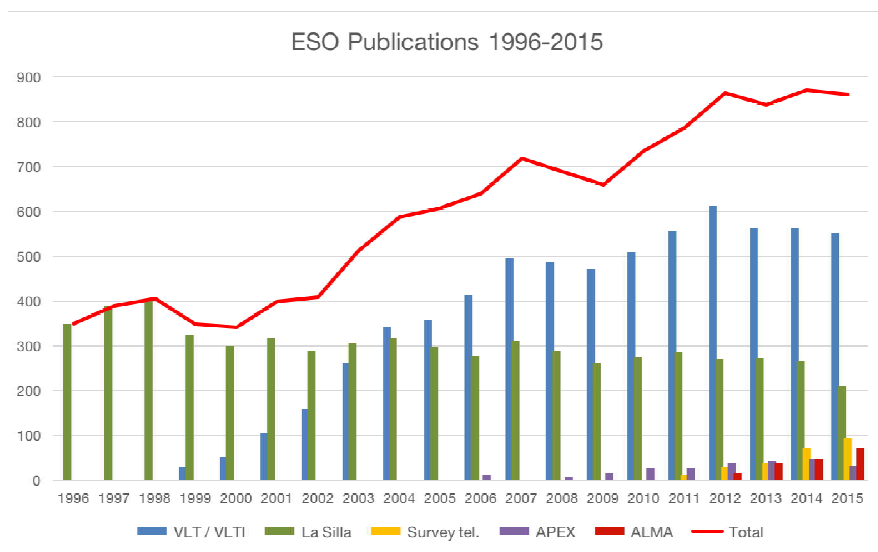
7.4.1 VLT/VLTI (Paranal), La Silla, VISTA, VST y APEX

La siguiente figura muestra las publicaciones anuales de los principales telescopios administrados por ESO en Chile, entre los años 1996 y 2015.

El VLT/VLTI está en un régimen estable de alta producción científica. El observatorio La Silla muestra una moderada tendencia en descenso en los últimos años, pero es aún uno de los principales observatorios en Chile y el mundo, con una alta productividad.

Los telescopios de exploración (survey) VISTA+VST están en sus fases tempranas de operación. En la medida que las bases de datos de VISTA+VST crezcan en volumen, se espera también una mayor producción científica.

Figura 7-4 Publicaciones de los telescopios administrados por la European Southern Observatory (ESO)



Fuente (U.Grothkopf, 2016):

La tabla a continuación compila los artículos publicados con datos de los telescopios administrados por la ESO (en **negrita**) entre los años 1996 y 2015. Todos los telescopios en **negrita** se encuentran en Chile. También incluye una selección de los principales telescopios internacionales a modo de comparación. Se observa que a partir del año 2004, el telescopio más productivo de la ESO es el VLT/VLTi (ubicado en Cerro Paranal). Cabe mencionar que el VLT/VLTi son en efecto 4 telescopios que pueden operar de forma independiente o conjunta. El telescopio más productivo en el mundo continúa siendo el Telescopio Espacial Hubble (HST).

Tabla 7-1 Artículos publicados con datos de los telescopios administrados por la entre los años 1996 y 2005

1996		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Bibliograph
ESOttotal	349	389	405	348	342	399	408	512	587	606	ESOTelbib
VLT/VLTI				29	52	105	159	260	341	359	ESOTelbib
LaSilla	349	389	405	324	300	316	288	305	316	296	ESOTelbib
ESO surveytel.											ESOTelbib
APEX (ESO)											ESOTelbib
ALMA (Europe)											ESOTelbib
APEX(all)											ESOTelbib
ALMA(all)											ESOTelbib
Chandra					56	198	332	432	399	445	ChandraBibliography
Gemini					2	2	25	27	54	78	GeminiviaADS
HST	307	378	508	502	537	558	602	607	611	681	HST
Keck	53	68	109	127	169	176	194	212	214	232	KeckScienceBibliography
NRAO								256	317	311	NRAO PublicationStats
Spitzer									90	138	SpitzerBiblio. DB
Subaru					17	23	52	52	73	68	SubaruviaADS
XMM					1	85	107	242	357	350	XMM

Fuente: (U.Grothkopf, 2016)

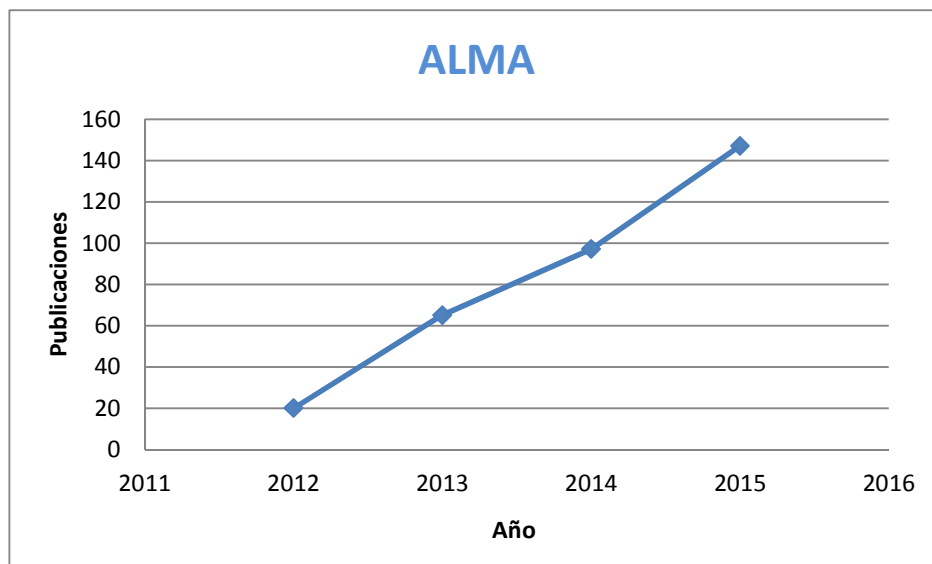
Tabla 7-2 Artículos publicados con datos de los telescopios administrados por la entre los años 2006 y 2015

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Bibliograph
ESOttotal	640	718	689	658	735	786	864	838	870	861	ESOtlib
VLT/VLTI	413	495	486	472	509	555	612	563	562	550	ESOtlib
LaSilla	279	312	288	260	275	285	271	273	267	211	ESOtlib
ESO surveytel.					2	13	30	38	73	94	ESOtlib
APEX (ESO)	12	1	8	15	28	27	40	43	47	33	ESOtlib
ALMA (Europe)							16	40	47	73	ESOtlib
APEX(all)	22	5	19	29	49	50	66	74	74	63	ESOtlib
ALMA(all)							20	65	97	147	ESOtlib
Chandra	553	493	523	430	422	434	447	407	379		ChandraBibliography
Gemini	101	122	135	150	129	189	169	205	228	203	GeminiviaADS
HST	714	728	705	678	734	787	845	785	826	846	HST
Keck	277	313	262	269	289	300	335	319	291	293	KeckScienceBibliography
NRAO	352	407	419	463	413	518	451	501	420	428	NRAO PublicationStats
Spitzer	322	503	527	681	698	659	717	694	649	635	SpitzerBiblio. DB
Subaru	92	103	106	122	139	141	166	119	125	138	SubaruviaADS
XMM	441	389	438	472	418	450	414	438	398	371	XMM

Fuente: (U.Grothkopf, 2016)

7.4.2 ALMA

El observatorio ALMA muestra una relativamente baja productividad, pero esto se explica por qué fue recientemente puesto en marcha. Los años 2012 a 2015 de ALMA debieran compararse con los años 1999 a 2002 de VLT/VLTI (ambos telescopios son de similar inversión). En esta comparación se observa una pendiente (ramp-up) muy similar entre el número de publicaciones totales de ALMA y VLT/VLTI en sus primeros años de operación.



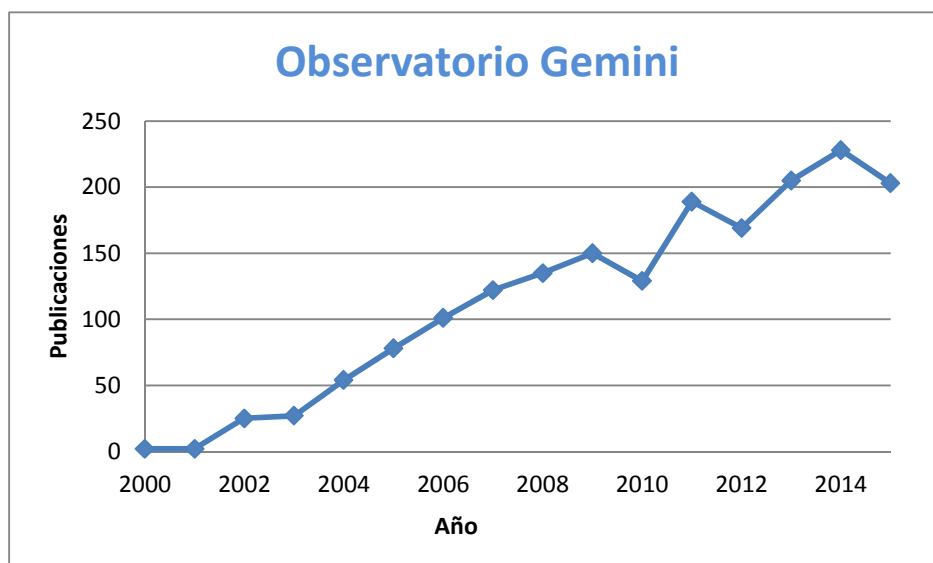
Publicaciones científicas basadas en datos del telescopio ALMA

Fuente: (U.Grothkopf, 2016)

7.4.3 Telescopios Gemini

El observatorio Gemini posee dos telescopios iguales, uno en Hawaii y otro en Chile. El número de publicaciones en la tabla arriba se refiere al observatorio Gemini en conjunto. Los telescopios Gemini son instalaciones altamente competitivas con espejos primarios de 8.1 m de diámetros e instrumentos en el óptico e infrarrojo. Abajo se grafica la evolución de las publicaciones basada en datos de los telescopios Gemini entre los años 2000 y 2015. Aproximadamente el 50% de las publicaciones reportadas en la figura corresponden al telescopio Gemini-South localizado en Chile.

Figura 7-5 Evolución de las publicaciones basada en datos de los telescopios Gemini



Fuente (Grothkopf, Meakins, & Bordelon, 2016)

7.4.4 Telescopios Magallanes (Observatorio Cerro Las Campanas)

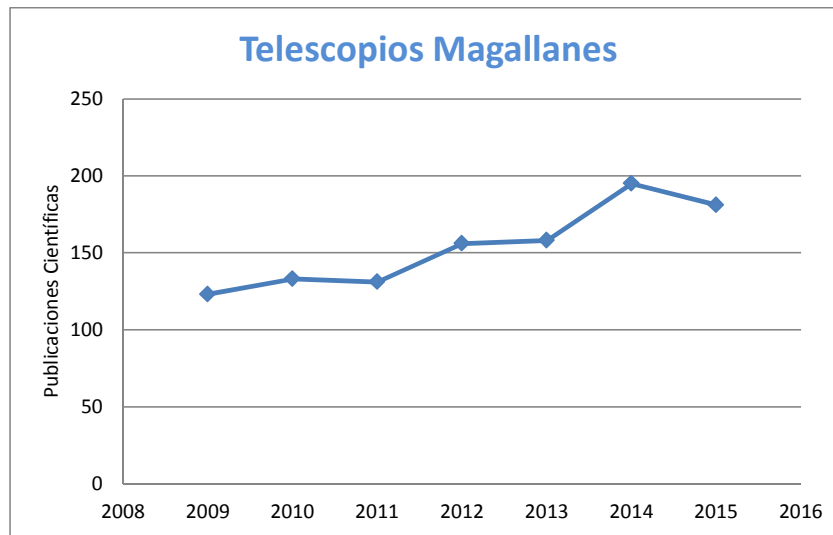
Los telescopios Magallanes son los más potentes y productivos del observatorio Cerro Las Campanas. Corresponde a dos telescopios de 6.5 metros de diámetro cada uno. La tabla e imagen a continuación muestra los artículos científicos indexados publicados con datos de estos telescopios entre los años 2009 y 2015.

Tabla 7-3 Publicaciones basadas en datos de telescopio Magallanes

Telescopios Magallanes							
Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
N Publicaciones	123	133	131	156	158	195	181

Fuente: elaboración propia

Figura 7-6 Evolución de las publicaciones basada en datos de los telescopios Magallanes



Fuente: (magellantech)

Como se puede apreciar en los datos presentados, las publicaciones científicas basadas en datos observados por telescopios en suelo chileno supera con creces los mil artículos indexados anuales en el año 2015.

7.5 Modelo de demanda prospectiva

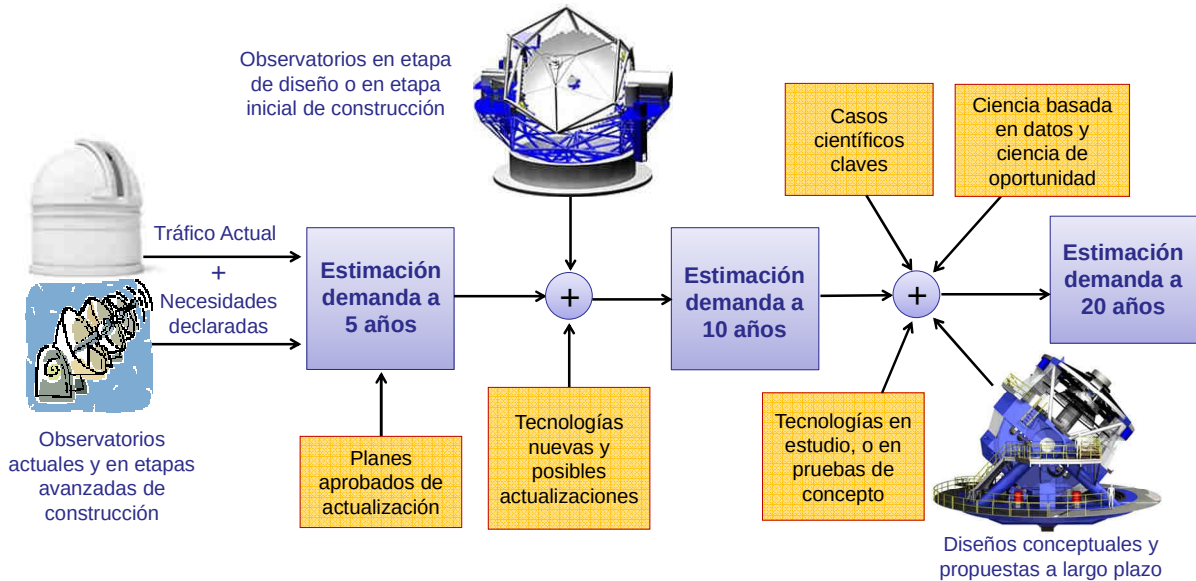
El modelo de estimación de demanda está basado en conocimiento y opinión experta, más que en modelos basado en información pasada.

- Primero se requiere un levantamiento de los observatorios actuales y de sus principales proyectos de mejoras (upgrades), donde el ancho de banda declarado se tomará como punto de partida y como estimación para los primeros 5 años.
- Luego se incluyen los proyectos en etapas finales de diseño o en construcción, donde también se estudiará el ancho de banda declarado, el cual será revisado en función de los posibles avances tecnológicos, basados en tecnologías probadas en laboratorio. Estos

proyectos en diseño avanzado, sumados a los observatorios actuales y prontos a entrar en operaciones definirán la estimación de demanda a 10 años.

- Por último se estudiarán los principales casos científicos que podrían ser abordados en las próximas dos décadas, y se propondrá un escenario plausible de nuevos instrumentos, con su respectiva estimación de tráfico de datos.

Figura 7-7 Resumen de metodología de estimación de demanda de transporte de datos en astronomía.



Fuente: elaboración propia

8 ESTIMACIÓN DE DEMANDA DE TRÁFICO DE DATOS EN ASTRONOMÍA A 5, 10 Y 20 AÑOS

8.1 Variables que impactan en la demanda de tráfico

Cómo se describió en el modelo de demanda prospectiva, para estimar la demanda en un horizonte de 20 años se hace necesario estudiar los principales casos científicos y las tecnologías que eventualmente estarán disponibles para la construcción de instrumentos.

Dentro de las principales preguntas de la astronomía contemporánea se encuentran las siguientes:

1. ¿Cómo se forman y evolucionan las galaxias?
2. ¿Cuál es la naturaleza y distribución de la materia oscura?
3. ¿Cómo se forman los agujeros negros supermasivos en el centro de las galaxias?
4. ¿Cómo es la física y química del medio interestelar?
5. ¿Cómo se forman y evolucionan las estrellas y planetas?
6. ¿Cuáles son las características de los planetas solares y extrasolares, y cuáles son las condiciones para el nacimiento de la vida?
7. ¿Cuál es la naturaleza de la energía oscura?

Para dar respuesta a estas preguntas fundamentales se necesita desarrollar instrumentos que expandan las posibilidades de los existentes. En particular se requieren instrumentos que puedan de forma independiente o en conjunto medir:

- a) Grandes porciones del cielo
- b) Alta resolución angular
- c) Alta resolución espectral
- d) Alta sensibilidad

En general los grandes observatorios como VLT o ALMA fueron diseñados para ser lo más versátiles posibles, y por tanto ayudar a resolver varias de estas preguntas, pero no se destacan por su campo

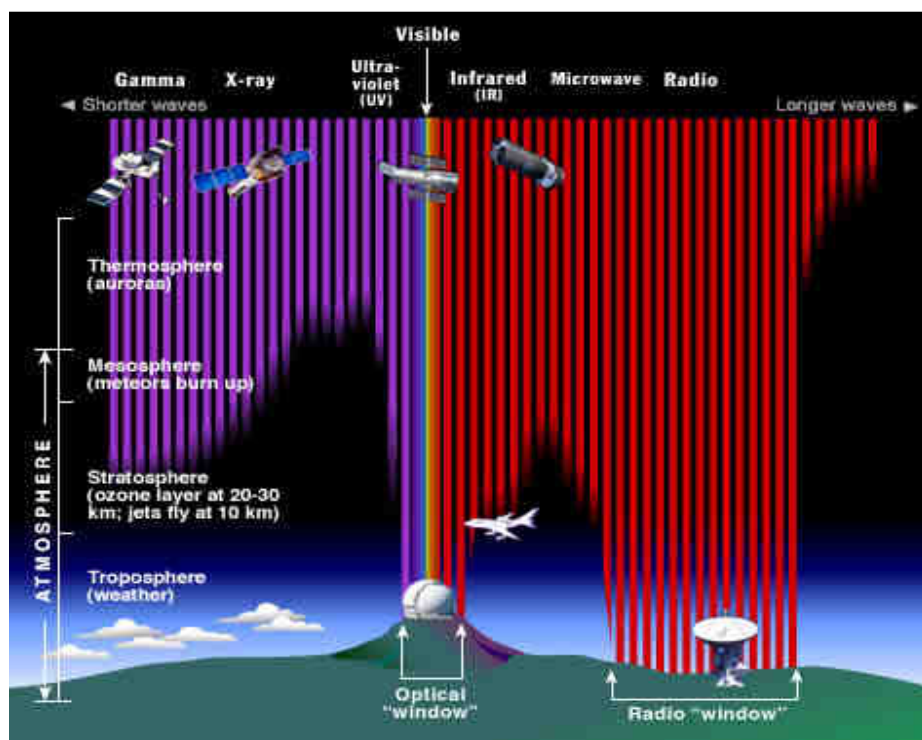
de visión instantáneo. Otros telescopios (como los experimentos cosmológicos –ver telescopio ACT-) son diseñados con un propósito específico, a veces con una sola pregunta científica como objetivo.

La primera división de telescopios normalmente se basa en la **longitud de onda** en la que observan.

Radio-milimétrico, Infrarrojo-óptico-ultravioleta, rayos X y rayos Gamma. Todo ellos observan distintos tipos de radiación electromagnética. Los rayos X y Gamma son sólo observables directamente desde el espacio, pero se pueden diseñar telescopios de superficie que pueden observarlos indirectamente (CTA)

La siguiente imagen muestra los distintos tipos de radiación electromagnética y los tipos de instrumentos necesarios para detectarla.

Figura 8-1 Profundidad de penetración de la radiación en la atmosfera terrestre



Fuente: (NASA)

Sólo las banda de óptico y radio son completamente detectables desde la superficie. Parte del infrarrojo, ultravioleta y microondas son también detectables en condiciones excepcionales.

Una segunda división comúnmente usada para catalogar telescopios da cuenta del tamaño de cielo que puede observar de forma instantánea. Esta medida se denomina **campo de visión** (*Field of View*). Normalmente los telescopios de gran campo de visión son denominados **telescopios de inspección**

(**survey**) pues son, entre otras cosas, útiles para la detección de fuentes que luego pueden ser exploradas en detalles con telescopios de alta resolución angular. También son esenciales para la detección de fenómenos transcientes, es decir cambios en el cielo, ya sea por movimiento (asteroides) o por variación intrínseca de los objetos astronómicos (supernovas, núcleos activos de galaxias, etc). Los de mayor sensibilidad permiten también construir grandes bases de datos de fuentes astronómicas, sobre las cuales se pueden utilizar herramientas de minería de datos.

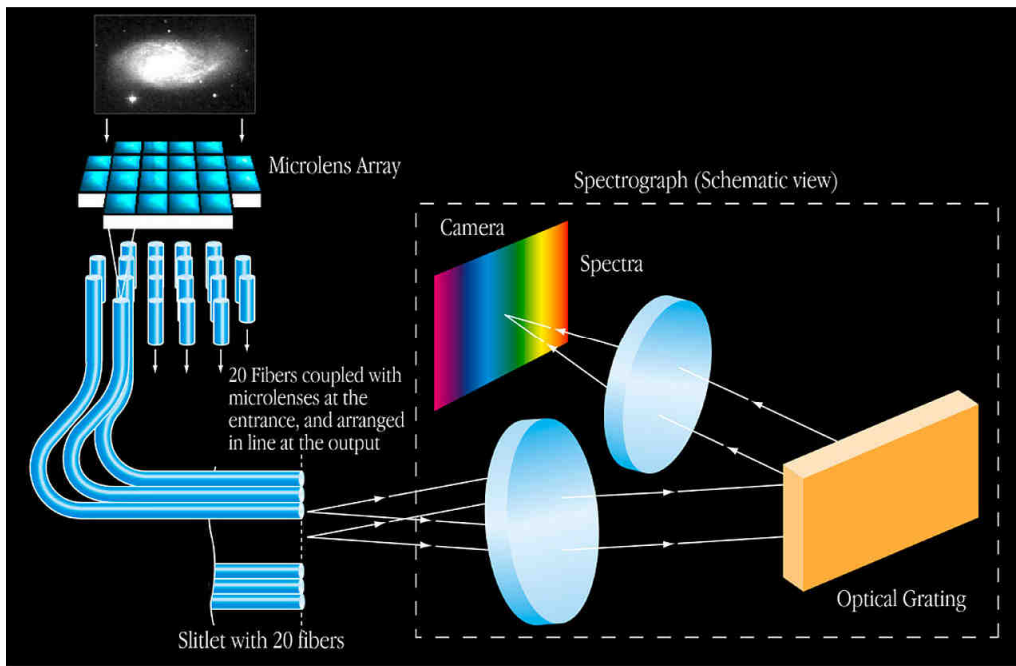
Los **telescopios de alta resolución angular** pueden ver detalles muy finos de los objetos astronómicos, pero en un campo de visión reducido. Es equivalente a una cámara con un lente de muchos aumentos o zoom.

8.2 Espectrógrafos, Imagers y Unidades de Campo Integral

Tradicionalmente los instrumentos astronómicos en longitudes de onda ópticas y cercanas al óptico se subdividen como espectrógrafos o *imagers* (*cámaras*). Los espectrógrafos analizan las distintas componentes de la luz proveniente de un punto a una región acotada del cielo, mientras los *imagers* pueden crear una imagen de una región del cielo, pero con reducida información espectral. Las cámaras generan, en general, una mayor cantidad de datos que los espectrógrafos. El caso extremo es la cámara de gran campo de visión del LSST.

En la última década esta separación está empezando a hacerse difusa, pues nuevos instrumentos que tienen ambas capacidades están siendo diseñados y operados con éxito. Estos instrumentos son conocidos como “Multi-Object Spectrographs”, “Imaging Spectrometers” o “Integral Field Units (IFU)”

Figura 8-2 Esquema de funcionamiento de una Unidad de campos Integral (IFU).



Cada microlente captura la luz de una región del cielo desde el plano focal del telescopio, la que es transmitida por fibras ópticas hasta un espectrógrafo. Fuente: (ESO)

A pesar que el número de píxeles de las IFU es aún pequeño comparado con los imagers, al contener detallada información espectral, las IFUs generan gran cantidad de datos los que en la actualidad pueden alcanzar 100 a 200 GB por noche de observación, para una instrumento con un equivalente a 300x300 píxeles. (ESO)

En comparación, las cámaras actualmente tienen una cuenta de píxeles en el orden de 4000x4000 (por cada chip CCD).

Si bien aún no contamos con una tecnología capaz de crear un instrumento con el número de píxeles de una cámara y la información espectral de un IFU, este instrumento tendría un potencial científico enorme, y podría ser tecnológicamente realizable en algunas décadas.

Escalando los tamaños de archivos actuales, un instrumento de estas características podría generar **18 – 36 TB por noche**. Cada telescopio que opere un instrumento de este tipo necesitaría enlaces del orden de **10 Gbps** para descargar estos datos en la medida que son generados.

8.3 Arreglos interferométricos

Los arreglos interferométricos son telescopios compuestos de múltiples antenas que actúan en conjunto. Las tasas de datos generados en cada antena son altísimas. En el caso de ALMA cada

antena genera una señal digital de 120 Gbps, por tanto la tasa total de generación de datos del arreglo es del orden de 8 Tbps. Estas señales son transportadas por fibras ópticas dedicadas a un supercomputador (llamado correlacionador), que reduce esta información a una ínfima fracción de la tasa de datos original mediante un proceso de correlación e integración. Una observación típica de ALMA puede tomar cerca de 1 hora y el resultado es un archivo en torno a los 20 GB. Es decir la reducción de los datos crudos generados por las antenas y el archivo final de la observación es de un factor 1/180000 o un 0,0005%.

La enorme cantidad de datos crudos generados por las antenas obliga a localizar el correlacionador en el centro del arreglo, y conectar cada antena con fibras ópticas dedicadas. Lo anterior limita el tamaño práctico de los arreglos interferométricos a algunas decenas de kilómetros en diámetro. A mayor distancia entre antenas se logra mayor resolución angular, por tanto en la actualidad la conectividad en parte es una limitante a la resolución angular.

8.4 Interferometría de Base Muy Larga (Very Long Baseline Interferometry: VLBI)

VLBI es una técnica de observación en la que se utilizan múltiples radiotelescopios ubicados a grandes distancias. A diferencia de los arreglos interferométricos como ALMA o VLA, que conectan sus antenas con fibras ópticas en tiempo real, VLBI requiere “conectar” antenas a cientos o miles de kilómetros de distancia, haciendo impracticable la conexión por fibras dedicadas. La solución es grabar en cintas magnéticas o arreglos de discos duros la señal recibida por cada telescopio para luego combinarlas en un sitio común. En este sentido no es una observación en tiempo real, sino que hay una demora de días o semanas entre que los datos son adquiridos por los telescopios y logran ser procesados. Aunque aún presenta limitaciones, VLBI es la técnica de observación que ha logrado la mayor resolución angular en astronomía, y es por tanto la técnica más promisoría para el estudio de pequeños y lejanos objetos como los agujeros negros que se cree podrían existir en el centro de cada galaxia. Ver (eventhorizontelescope)

Figura 8-3 Posición de los tres telescopios utilizados en la observación tipo VLBI



Posición de los tres telescopios utilizados en la observación tipo VLBI de mayor resolución angular realizada hasta la fecha (28 microarcoregundos). La distancia entre las antenas es de: 9447 km Chile a Hawái, 7174 km Chile a Arizona y 4627 km Arizona a Hawái.

Fuente: (ESO)

Una de las limitaciones principales de las observaciones tipo VLBI es la gran cantidad de datos que deben ser almacenados y luego combinados en el proceso de correlación. Actualmente el rango de frecuencias que se pueden observar de forma simultánea en el cielo (conocido como el ancho de banda instantáneo) es pequeño (del orden de MHz) en comparación con las observaciones de los radiotelescopios modernos que pueden observar decenas de GHz de forma simultánea. Esta limitación reduce la sensibilidad de los instrumentos, así como la información que se puede extraer de las observaciones.

En un futuro mediano (10 años) podríamos requerir redes capaces de conectar antenas en modo VLBI, aunque sea con anchos de banda menores a los usados en los arreglos interferométricos convencionales. Esto demandaría múltiples puntos de conexión con anchos de banda de orden de 10 Gbps por cada antena. Dependiendo del número de antenas y la topología de la red, los enlaces troncales podrían requerir anchos de banda del orden 100-300 Gbps.

La disponibilidad de una red global con velocidades en escalas 100 GB a 1TB, que conecte los principales centros astronómicos del mundo, podría abrir la puerta a una nueva etapa de observaciones del tipo VLBI, con un gran potencial de descubrimiento científico. Una red de estas características, aunque estuviera limitada al territorio nacional, podría permitir conectar antenas tipo

ALMA, a cientos de kilómetros de distancia, mejorando su resolución angular en un factor de 10 o más. (Ver (Llama Observatory)).

Desplegar un arreglo como ALMA en modo VLBI está más allá de la capacidad técnico-económica actual pues requeriría redes con capacidad troncal entorno a 10 Tbps a nivel nacional o continental, y múltiples enlaces de 'última milla' de 120 Gbps.

8.5 Evolución de Capacidad de Almacenamiento, Transmisión y Procesamiento de Datos Astronómicos

En diversos artículos relacionados con *Big Data* se hace referencia al volumen de datos que se generan en diferentes áreas, y en general las que destacan son cuatro dominios (Stephens ZD, 2015) Twitter, YouTube, astronomía y genómica. Cada una de estas áreas tiene sus propias características y peculiaridades, pero si se entra en el detalle de la forma en que la astronomía genera sus datos, se puede mostrar que astronomía es el área más exigente en términos de generación de datos, almacenamiento de datos, procesamiento de datos, y transmisión de datos.

8.5.1 Generación de datos:

La mayoría de los datos de astronomía se obtienen de unas instalaciones altamente centralizadas. Por el contrario, YouTube y Twitter adquieren datos de una manera altamente distribuida, pero bajo unos (pocos) protocolos estandarizados. Se espera que astronomía, YouTube y Twitter continúen el dramático crecimiento en el volumen de datos adquiridos. Por ejemplo, el proyecto ASKAP (*Australian Square Kilometre Array Pathfinder*) adquiere actualmente 7,5 TB/seg de muestra de datos de imagen, una tasa proyectada a aumentar 100 veces a 750 TB/seg (aproximadamente 25 zettabytes (ZB)/año) en 2025. En YouTube actualmente se suben unas 300 horas de video cada minuto, y si se extrapola la tendencia actual esto podría crecer a 1.000-1.700 hrs/min (1-2 EB de datos de video por año) para el 2025. Hoy en día (2017), Twitter genera 500 millones de tweets/día, cada uno de aproximadamente 3 KB incluyendo metadatos. Aunque esta cifra comienza a estabilizarse, una tasa de crecimiento logarítmico proyectada sugiere un crecimiento de 2,4 veces para 2025, es decir, 1,2 mil millones de tweets por día, o bien 1,36 PB/año. En resumen, la generación de datos en estos 4 dominios se espera que crezca en hasta dos órdenes de magnitud en la próxima década.

En particular, los datos astronómicos se duplican cada año, lo que significa 1.000x en 10 años, y 1.000.000x en 20 años. Un ejemplo de esta evolución es el del *National Center for Supercomputing Applications* (NCSA), que en los primeros 19 años generó 1 **Petabytes (PB)** de datos, al año 20 (el 2007) generó 2 PB, el año 21 (2008) 4 PB, por lo que se proyecta que al 2020 será aproximadamente 20 Exabytes (EB), y en el año 2025, 10^{156} PB. Este crecimiento en los datos generados trae consigo el problema de almacenamiento.

8.5.2 Almacenamiento de datos:

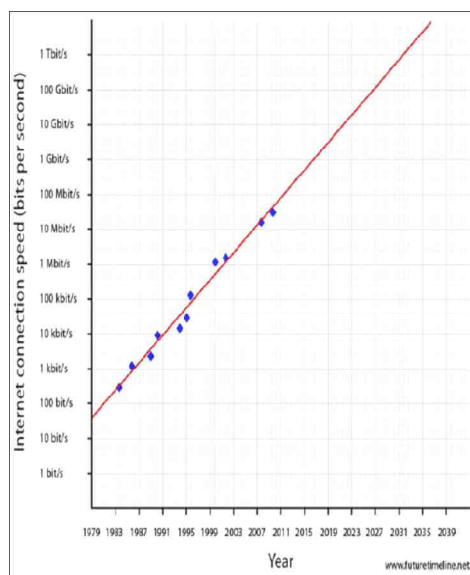
Los requerimientos de almacenamiento de datos para los 4 dominios se proyectan para ser enormes. Hoy en día, el mayor centro de datos de astronomía dedica aproximadamente 100 PB al almacenamiento, y se espera que la finalización del proyecto *Square Kilometer Array* (SKA) genere una demanda de almacenamiento de 1 EB al año. YouTube actualmente requiere de 100 PB a 1 EB para el almacenamiento y se puede proyectar que requerirá entre 1 y 2 EB de almacenamiento adicional por año para el 2025. Las necesidades de almacenamiento de Twitter de hoy se calculan en 0,5 PB por año, lo que puede aumentar a 1,5 PB en los próximos 10 años. En estas estimaciones se ignora el "factor de replicación" que multiplica las necesidades de almacenamiento por aproximadamente 4, para la redundancia. Para la genómica, se ha determinado que más de 100 PB de almacenamiento son utilizados actualmente por 20 de las instituciones más grandes.

Asumiendo que se resuelve el problema de la capacidad de almacenamiento disponible para estos grandes volúmenes de datos nuevos, entonces se presenta el problema de disponer de un ancho de banda (BW) adecuado para transferirlos. Sin embargo, la evolución histórica sobre el ancho de banda de I/O muestra que éste se incrementa aproximadamente 10% por año, siendo menor que 3 veces en 10 años, y solo 9 veces en 20 años, lo que se transformaría en el "cuello de botella" de cualquier sistema. Un cálculo simple muestra que subir/bajar datos de un archivo del orden de 100-200 TB tomaría alrededor de 2 a 5 días en un enlace de 10 Gbps (o algunas horas en un enlace de 100 Gbps). Mover 30 PB de datos tomaría del orden de 3,5 días en un enlace de 1 Tbps.

8.5.3 Transmisión de datos:

Astronomía, YouTube, Twitter y genómica también difieren mucho en los patrones de distribución de datos. El mayor requerimiento de ancho de banda del proyecto SKA es obtener datos desde sus 3.000 antenas a un servidor central, requiriendo hasta 600 TB por segundo. El uso de ancho de banda de YouTube es relativamente pequeño para una sola descarga y es bien soportado por una conexión de 10 Mbps del consumidor medio, pero las necesidades agregadas en todo el mundo son enormes, con estimaciones de hasta 240 PB/día. Los patrones de distribución de los datos en genómica son mucho más heterogéneos con elementos de ambas situaciones.

Figura 8-4 Evolución de conexión de Internet



Fuente: (futuretimeline.net)

8.5.4 Procesamiento de datos:

Astronomía, YouTube, Twitter y genómica difieren más en los requisitos de computación para el análisis de datos. Los datos astronómicos requieren un amplio análisis especializado, pero la mayor parte de este requerimiento es para procesamiento *in situ* y para la reducción de datos en computadores ubicados cerca de los telescopios, lo cual exige muchas veces procesamiento en tiempo real de enormes volúmenes de datos, que debe realizarse de manera efectiva en paralelo con algunos miles de núcleos. Los videos de YouTube están destinados principalmente a ser vistos, junto con algunos análisis automatizados para anuncios o infracciones de derechos de autor. Los datos de Twitter son objeto de intensas investigaciones en ciencias sociales, especialmente para la minería de temas y sentimientos, que se realiza principalmente en "tweets" textuales en el contexto de metadatos asociados (por ejemplo, datos demográficos de usuarios e información temporal).

La conocida Ley de Moore dice que el poder computacional se duplica cada 18 meses, esto es 100x en 10 años, y 10.000x en 20 años (resumen en siguiente tabla).

Tabla 8-1 Resumen de evolución tecnológica (y en astronomía)

Parámetro	Actual (dic/2016)	5 años	10 años	20 años
Procesamiento computacional	10 PFLOPS	10x 100 PFLOPS	100x 1 EFLOPS	10.000x 100 EFLOPS
Número de cores	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ¹⁰
Resolución en pixels	1 Gpix	3,2 Gpix	9 Gpix	81 Gpix
Transmisión (Ancho de Banda)	100 Gbps	150 Gbps	300 Gbps	~ 1Tbps

Fuente: elaboración propia.

La generación de datos astronómicos ha aumentado especialmente de los estudios sistemáticos del cielo, barriéndolo con estudios llamados ***Sky Surveys***, que plantean nuevos desafíos.

Estos ***Sky Surveys*** son usados para medir y recoger datos de todos los objetos que están contenidos en grandes regiones del cielo, en una manera sistemática, controlada, y repetible. Estos estudios incluyen, entre otros, los siguientes en los que se indica la cantidad de datos capturados, donde se demuestra el paso de una ciencia *data-driven* hacia una del tipo *data-intensive*:

- Digitized Palomar Sky Survey (DPSS): 3 Terabytes (TB)
- 2-Micron All-Sky Survey(2MASS): 10 TB
- GALEX (ultraviolet all-sky survey): 30 TB
- Sloan Digital Sky Survey (1/4 del cielo): 40 TB
- Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System (Pan—STARRS): 40 PB
- El gran *survey* de esta década: *Large Synoptic Survey Telescope* (LSST): 100 PB.

Desde mediados de la década de los 80 del siglo pasado prácticamente todas las imágenes astronómicas se tomaban con detectores de silicio llamados *Charged Coupled Devices* (CCD), que son esencialmente circuitos integrados que responden a la luz creando una corriente, gracias al efecto fotoeléctrico. Estas imágenes se guardan como ceros y unos en un archivo que no se degrada como las placas fotográficas (basadas en emulsiones de plata). Hoy en día, desde los grandes telescopios en Tierra a los satélites espaciales como el Hubble, todos usan cámaras CCDs en el plano focal de sus telescopios. Unas cámaras son más precisas que otras, e igual que las cámaras fotográficas de bolsillo, miden su resolución en términos del número de megapíxeles que poseen. Las cámaras más potentes desde el año 2012 tienen del orden de 1.000 Megapíxeles (Mpix), como la *Hyper Supreme Cam* del telescopio japonés Subaru en Mauna Kea, Hawaii.

Ahora es posible construir mosaicos de CCD que cubren un área de plano focal mayor. Por ejemplo, un mosaico de 5×5 que contiene un arreglo de 25 CCD, cada uno con una resolución de 2048×2048 píxeles. El peak de la tasa de datos crudos (sin procesar) para la cámara sería de 100 GB/noche. Con la tecnología actual se puede procesar, reducir, analizar y archivar estas BDs de imágenes en tiempo real.

El arreglo del plano focal del LSST es una cámara de 201 CCDs de 4096×4096 píxeles cada uno. Esto da origen a 3 Gpíxeles, es decir, 6 GB por imagen, cubriendo 10 grados cuadrados. Esto significa unas 3000 veces el área de una imagen del telescopio espacial Hubble.

Los desafíos de los datos en LSST se pueden resumir en (Borne, 2011)

- Obtener una imagen del cielo de 6 GB en 15 seg.
- Procesar esa imagen en 5 seg.
- Obtener y procesar otra imagen co-localizada para la validación de ciencia dentro de unos 20 seg (= 15 seg la exposición + 5 seg procesando).
- Procesar 100 millones de fuentes en cada par de imagen, catalogarlas, y generar alarmas dentro de 60 seg (p.ej., la entrada de un asteroide peligroso)
- Generar 100,000 alarmas por noche (mensajes de alarmas de eventos VO).
- Obtener 2000 imágenes por noche.
- Producir unos 30 TB por noche.
- Mover diariamente los datos desde Sudamérica hacia EE.UU.
- Repetir esto cada día durante 10 años (2015-2025).
- Proporcionar un acceso rápido a las Bases de Datos (BD) a la comunidad mundial:
 - archivo de imágenes de 60-100 PB
 - catálogos de BD de 10-20 PB
- Aproximadamente 2 TB por hora deben ser extraídos en tiempo real.
- Más de 10 mil millones de objetos serán supervisados por variaciones importantes en tiempo real.
- Extracción de conocimiento en tiempo real.

Como parte de la solución al problema de desafío de datos de ciencia del LSST se requiere computación a escala Peta (*Petascale*). El encontrar una solución óptima simultánea para las 100.000.000 formas de objetos a través de 2000 planos de imágenes, cada una de las cuales tiene 201×4096×4096 píxeles (201×16 Gpíxeles), requiere la exorbitante cantidad de 10^{22} operaciones de punto flotante (10 Giga ExaFLOPS), dando origen a otros desafíos astronómicos.

Los modelos de computación *Petascale* de los fenómenos astrofísicos permitirá realizar simulaciones numéricas que generarán datos de salida del orden de los PB. En muchos casos, múltiples generaciones de modelos serán simuladas para contrastar los datos obtenidos de los telescopios de observación. Esta correspondencia modelo-a-datos (teoría-a-observación) conduce a la validación del modelo y nuevo entendimiento científico, pero también conduce a enormes desafíos combinatoriales, dado que en la medida que el número de parámetros de entrada y parámetros de salida del modelo continúa creciendo el modelo se refina.

El desafío de computación *Petascale* existe en las áreas de muestreo de Monte Carlo, optimización, la estimación de probabilidad máxima, y la gestión computacional. En la medida que las simulaciones numéricas crecen en tamaño y complejidad, también se busca métodos más rápidos de integración numérica y diferenciación sobre estructuras de datos malladas densamente.

Las áreas de la astronomía en la que se debe investigar durante los próximos 10 años se pueden resumir en:

- Escalabilidad de los algoritmos estadísticos, computacionales y de minería de datos a escalas multi-PB.
- Algoritmos para la optimización de multipunto simultáneo cruzando a través de cubos de datos masivos multidimensionales.
- Métodos jerárquicos multiresolución, multipolo, fractales, y estructuras para la exploración de las representaciones condensadas en BD a escala Peta.
- Analítica *Petascale* para el análisis de datos de exploración visual de BD masivas (incluyendo detección de características, reconocimiento de patrones, análisis de correlación, *clustering*, descomposición, descubrimiento de *eigenvector*, reducción de dimensión, etc).
- Índice y técnicas de memoria asociativa (árboles, grafos, redes) para BD PB altamente dimensionales.
- *Query* rápida y algoritmos de búsqueda para BD PB.

8.6 Proyección a 5, 10 y 20 años

La generación de datos astronómicos crecerá significativamente en 10 años, lo cual es mucho más rápido que lo crecerá en 10 años la capacidad de procesarlos. Acá se observa una brecha importante: cada día se tendrá más y más datos, y cada día se tendrá menos oportunidad de procesarlos.

Lo más complejo es que la capacidad de transmisión de datos en esos mismos 10 años crecerá sólo 3x, lo que conduce a la necesidad de depositar una mayor cantidad de esfuerzo en mejorar ese gran cuello de botella, que son las redes de interconexión de alta velocidad.

La solución natural que está ganando cada día más espacio en el mercado dada esta realidad, es cloud computing. Cloud Computing tienen la ventaja de ofrecer grandes capacidades de almacenamiento a costos razonables. Al mismo tiempo, para no tener pérdidas de tiempo en subir y bajar grandes volúmenes de datos, las soluciones cloud ofrecen tiempo de procesamiento (o

computación) en el mismo lugar donde están los datos. Esto es un tremendo beneficio, dado que sólo debe llevarse los algoritmos de procesamiento hacia los datos. Por muy alto requerimiento de tiempo de procesamiento que tenga un algoritmo, éstos son ejecutados eficientemente en los cientos de núcleos de procesamiento disponibles en la nube. Si a la alta complejidad computacional de los algoritmos se suma el que debe procesar grandes volúmenes de datos, entonces el beneficio es doble, o bien triple, porque sería impracticable bajar grandes volúmenes de archivos, que también son de gran tamaño y muy probablemente no entren en la memoria local de una máquina personal o de escritorio con 8 o 16 GB.

Como consecuencia de este análisis, se muestra la importancia de los observatorios virtuales como repositorios públicos de datos astronómicos, repositorios de grandes archivos de datos, y de gran cantidad de archivos de datos. Por otro lado, el observatorio Virtual Chileno (ChiVO) ofrecerá servicios en la nube de búsqueda de información, que en caso de encontrarse localmente en el repositorio, no requiere ser bajado a los computadores personales, dado que ChiVO también ofrecerá procesamiento inteligente de los datos.

Consecuentemente, ChiVO y los observatorios virtuales en general, resuelven el problema de almacenamiento de datos, transmisión de datos y procesamiento de datos astronómicos.

La proyección de demanda de transmisión de datos se basa en las siguientes hipótesis:

- a. Tendencia a enviar en tiempo real la totalidad de los datos generados en los observatorios, abandonando los soportes físicos para realizar los envíos.
- b. Los datos generados no se distribuyen de manera uniforme en las horas del día. Existe un factor de peak de aproximadamente 4 veces el valor promedio.
- c. Se añade a la demanda por transmitir los datos científicos, una cantidad de datos “no científicos”: comunicaciones administrativas, video conferencia, etc.
- d. A 5 años, el evento determinante será el LSST, que contribuirá con 30 TB por día.
- e. La evolución de la tecnología aumentará la cantidad de datos brutos generados en cada observatorio.
- f. Probablemente se añadirá un flujo de datos de instrumentos, cuya magnitud es semejante a los datos astronómicos.
- g. Existe la probabilidad de implementación de Interferometría de base larga VLBI que puede añadir 1 Tbps en 20 años.
- h. El dimensionamiento de las redes supone una ocupación máxima de 50% del canal.

En la hipótesis más probable, de un desarrollo tecnológico medio, añadiendo un 10% de datos de sensores y actuadores, sin interferometría de base larga, las proyecciones entregan:

Tabla 8-2 Demanda de tráfico más probable de datos astronómicos

Año	Demanda de tráfico (Gbps)
2017	10
2022	90
2027	310
2037	970

Fuente: elaboración propia

La hipótesis mínima considera una evolución tecnológica más lenta, sin transmisión de datos de sensores y actuadores, mientras que la hipótesis máxima considera 100% de transmisión datos de sensores y actuadores y la implementación de interferometría de base larga.

Tabla 8-3 Hipótesis de Demanda de tráfico de datos astronómicos

Año	Demanda de tráfico más probable (Gbps)	Demanda de tráfico mínima (Gbps)	Demanda de tráfico máxima (Gbps)
2017	10	10	10
2022	90	90	90
2027	310	190	1190
2037	970	490	3490

Fuente: elaboración propia

9 INTERNET DE LAS COSAS (IOT) EN ASTRONOMÍA.

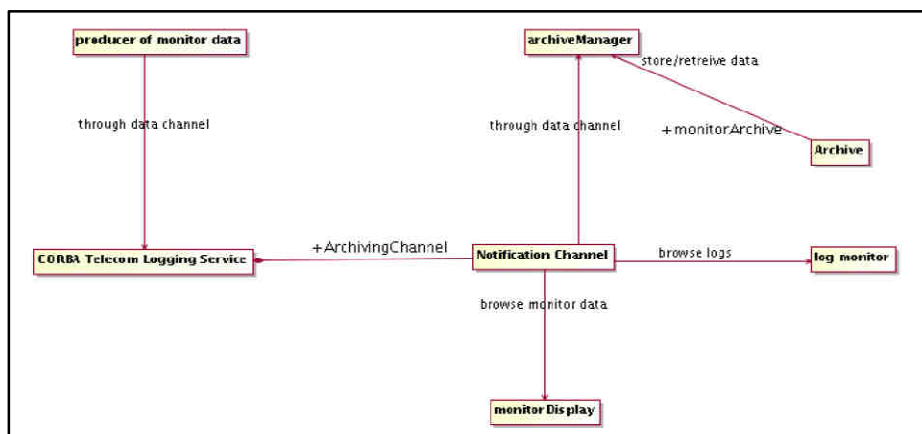
9.1 Datos de monitoreo y control en los observatorios

Los telescopios son instalaciones muy complejas, que contienen maquinaria e instrumentos que requieren constante monitoreo y control. Los puntos de monitoreo de un telescopio grande se cuentan de miles, hasta cientos de miles.

En el caso de ALMA, cada una de las 66 antenas posee alrededor de 3.000 puntos de monitoreo, los que se leen con períodos que van desde los 48 milisegundos (ms) hasta 5 minutos. Es decir en cada momento se están guardando del orden de 200.000 variables de estado del equipamiento del observatorio lo que suma del orden de 40 GB diarios. Estos datos contienen información del estado del hardware y variables de ambiente, y no son parte de los datos científicos de las observaciones astronómicas regulares. Sí pueden ser usados para descartar errores de los instrumentos durante la observación, o para hacer otros tipos de ciencia o predicciones de fallas.

Estos datos son leídos con hardware de propósito específico y transmitidos por protocolos de control industrial tipo *Controller Area Network* (CAN) o *Industrial Ethernet*. Normalmente el registro se almacena en servidores locales (*Archive*) los que en algunos casos pueden ser accedidos de forma remota mediante protocolos de autenticación de usuario seguros.

Figura 9-1 Arquitectura del sistema de almacenamiento de datos de monitoreo de instrumentos del Observatorio ALMA



Fuente: (G.Chiozzi, 2009)

El registro de los datos de monitoreo, y particularmente la ejecución de comandos de control son un tópico de mucha preocupación pues la incorrecta manipulación de los valores de control (settings) puede producir daño en el equipamiento y riesgo a las personas.

9.2 Seguridad y desempeño de las redes IP

Si bien es razonable sugerir que cada componente de un telescopio podría pensarse como un dispositivo IoT o ‘Smart Device’, en la práctica los diseñadores de los telescopios e instrumentos son mucho más conservadores en este respecto y consideran que los riesgos de implementar protocolos y terminales IoT al interior de los telescopios supera los beneficios.

Por otro lado, muchos de los puntos de monitoreo y control son sensibles a los retrasos estocásticos de las redes IP las cuales, incluso implementado protocolos de calidad de servicio (QoS), no ofrecen total certidumbre respecto la latencia y ancho de banda instantáneo. Esto motiva el uso de protocolos de comunicación conocidos y predecibles, normalmente del área de la automatización y control industrial.

Por lo anterior consideramos que IoT no será rápidamente adoptado para el monitoreo y control de infraestructura crítica (instrumentos y telescopios) en el corto plazo, pero podría tener un rol en el futuro mediano y lejano (10 a 20 años).

9.3 El futuro de IoT en los observatorios:

9.3.1 En los telescopios e instrumentos astronómicos

Una parte importante de las variables de estado de los telescopios tiene una variación relativamente lenta (en escala de segundos), y no requieren sincronía o latencia asegurada. En estos casos basta que el dato sea producido con una etiqueta de tiempo generada localmente, para luego ser analizado y almacenado. Ejemplos de este tipo de variables son: temperaturas (criogénicas y de la electrónica convencional), niveles de vacío (presión), voltajes y corrientes de polarización, potencia eléctrica total, estado de algunos actuadores mecánicos, flujos de aire, niveles de refrigerante o gases, etc.

Hacer disponibles estos datos ‘en la nube’, tanto para el diagnóstico remoto de los instrumentos como para otros tipos de ciencia, podría ser de interés de la comunidad en el futuro. Los actuales desarrollos en el área de IoT pretenden solucionar este tipo de problemas y por tanto podrían encontrar utilidad en los observatorios del futuro.

9.3.2 En la infraestructura de soporte a las actividades de los observatorios

Todos los observatorios requieren de una infraestructura de soporte a las operaciones. En los grandes observatorios esta infraestructura incluye: generación eléctrica, climatización, laboratorios, bodegas, logística, soporte de redes locales y computación, alojamiento, alimentación, salud, seguridad, recreación, etc.

Esta es el área donde se espera que IoT logre mayor penetración en los observatorios astronómicos. La infraestructura de soporte de un observatorio no es distinta (con algunas excepciones) a la de otras operaciones industriales (como la minería) y por tanto estudia y adquiere las mejores soluciones y prácticas de la industria.

La siguiente tabla describe las áreas de aplicación y soluciones IoT que podrían implementarse en el futuro cercano (5 a 10 años) en la infraestructura de soporte de los observatorios en Chile.

Tabla 9-1 Posibles soluciones basadas en IoT en la infraestructura de soporte a las actividades de los observatorios

Área de aplicación	Soluciones basadas en IOT
Administración de infraestructura de soporte y edificios	Administración del mantenimiento Monitoreo de la calidad de los servicios Control inteligente de climatización
Administración del consumo eléctrico	Optimización del consumo energético Soluciones <i>Smart-Grid</i>
Medicina y salud ocupacional	Prevención y monitoreo mediante dispositivos usables (wearable devices) Control de acceso a gran altura geográfica Respuesta ante urgencias medicas
Transporte y logística	Control de abastecimiento Administración de bodegas Trazabilidad de bienes en transito
Seguridad	Control de acceso Seguridad vial Respuesta de emergencia

Fuente: elaboración propia.

10 ELEMENTOS PARA DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES DE MINERÍA Y OBSERVATORIOS.

De las conclusiones del presente estudio, se destaca que para las empresas mineras y para los observatorios, una red de telecomunicaciones de alto flujo de datos tiene requerimientos tanto respecto de la capacidad, expresada en Gbps, como en la disponibilidad y confiabilidad que debe asegurar un nivel de 99,99%.

La opción natural resulta hasta la fecha la fibra óptica.

Para asegurar la disponibilidad, la opción es una malla redundante y topológicamente diferenciada. En el caso mencionado del radio-observatorio ALMA, ello se asegura mediante un enlace hacia Santiago que recorre el territorio chileno y un enlace también hacia Santiago que pasa por el territorio argentino.

La opción de enlaces de comunicaciones por satélite ha sido descartada hasta la fecha, explícitamente en el caso de los observatorios ("Satellites are NOT a solution" (Liello, 2010)), mientras que en la minería la selección de los canales es delegada en los operadores de telecomunicaciones.

Los fundamentos para descartar la opción satelital son en síntesis su reducida capacidad en términos de Gbps, su alto costo y una latencia significativamente mayor a, por ejemplo, la fibra óptica.

Respecto de la capacidad, la evolución de la tecnología satelital permite anchos de banda elevados en las bandas Ku y Ka, multiplicando el número de transponders. De hecho, el satélite indio GSAT-11, con 40 transponders ofrece una capacidad de 12 Gbps (GSAT-11), lo que supera levemente la capacidad actualmente instalada en Chile para transmisión a larga distancia de datos astronómicos.

En la actualidad, se espera que la tecnología HTS (High Throughput Satellites) pueda hasta 100 Gbps, lo que supera ampliamente la capacidad ofrecida por los satélites convencionales de banda Ku (Taylor & Bosworth, Analog Devices, 2016).

En lo que respecta a la latencia, los enjambres de satélites en órbita baja, ofrecen latencias un orden de magnitud más bajas respecto de los satélites geo-estacionarios.

De acuerdo a Inmarsat (Revillon, 2016) las latencias en órbita Geoestacionaria (36.000 km) son de 250 a 280 milisegundos, en órbita Media (2.000 a 20.000 km) de 110 a 130 milisegundos y en órbita baja (100 a 2.000) entre 20 a 25 milisegundos.

Respecto del costo, se espera que en los próximos años estos bajen significativamente mediante la construcción de satélites para órbitas bajas, lo que reduce los requisitos de energía (menor distancia entre emisor y receptor) permitiendo satélites más pequeños y más livianos (175- 200 kilos), a la vez que se reducen los costos de lanzamiento respecto de las lejanas órbitas geoestacionarias. (www.nsr.com)

El problema que se vislumbra para estas nuevas tecnologías es la susceptibilidad a las interferencias climáticas que es especialmente crítica en las altas bandas de frecuencia que usan estos nuevos satélites. (Vantage Point Solutions, 2013). En el caso del norte de Chile, las características climáticas hacen menos probable estas interferencias.

Es recomendable por tanto que, al momento de diseñar las nuevas redes de comunicaciones para alto flujos de datos, la opción de enlaces satelitales sea evaluada al menos como un factor de seguridad para la continuidad de las transmisiones.

11 Bibliografía

.G. Filippi, C. N. (2016). *ALMA AOS/OSF-SCO Communication Infrastructure Update*. Obtenido de Presentation for the 7th SAACC meeting Abril 2016: <http://amlight.net/wp-content/uploads/2016/02/ALMAOSFSCOOpticalInfrastructure7SAACCMeeting20160411.pdf>

¿POR QUÉ UNA RED MESH? (s.f.). Recuperado el 22 de marzo de 2017, de ¿POR QUÉ UNA RED MESH? <http://www.nodalis.es/sobre-nodalis-por-que-una-red-mesh-o-mallada.htm>

ABB. (2015). Futura evolución de la Industria. *Minería "Next Level"* , 10.

ADDERE. (2012). *“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”*. Ministerio de Economía de Chile, División de Innovación.

ADDERE. (2009). *Estudio de Identificación de Oportunidades para la Industria de Tecnologías de Información y Comunicaciones en el Cluster Minero*.

ALMA. (s.f.). *ALMASafety/CwgPresentations*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <https://wikis.alma.cl/bin/view/ALMASafety/CwgPresentations>

ALMA. (2016). *The ALMA high speed optical communication link is here*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de SPIE 2016 Presentation: <https://www.eso.org/sci/libraries/SPIE2016/9913-83.pdf>

AMIRA. (2004). *Copper Technology Roadmap*.

Andai, R. (2016). *Artículo técnico: La ruta hacia la minería del futuro*. Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <http://www.abb.com/cawp/seitp202/1b65e96751d9341983257f960052c65b.aspx>

Area Minera. (2016). *aminera.com*. Recuperado el diciembre de 2016, de <http://www.aminera.com/2016/04/26/abb-presenta-tecnologia-la-mineria-del-futuro-expomin-2016/>

Arellano, J. P. (2012). *Productividad en la Minería Chilena, Productividad Agregada y Competitividad País*. Recuperado el diciembre de 2016, de CIEPLAN, Octubre de 2012: http://www.cieplan.org/media/publicaciones/archivos/310/Notas_de_Estudio.pdf

Borne, K. (2011). *LSST Astroinformatics And Astrostatistics: Data-oriented Astronomical Research*. Recuperado el 27 de marzo de 2017, de American Astronomical Society, AAS Meeting #217, id.252.09; Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 43: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2011AAS...>

cat.com. (s.f.). Recuperado el 10 de marzo de 2017, de http://www.cat.com/en_IN/support/operations/cat-connect-solutions.html

Cesco. (2014). *PROVEEDORES Y MINERÍA: Desafíos para potenciar la Innovación de Alto Impacto*.

CISCO. (2016). *Converged Plantwide Ethernet Overview*. Recuperado el 10 de diciembre de 2016, de http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Verticals/CPwE/CPwE_DIG/CPwE_chapter1.html

COCHILCO. (2016). *Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre*. Recuperado el diciembre de 2016, de https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Estudio_Insumos_Cr%C3%ADticos_2016v2.pdf

COCHILCO. (2015). *Competitividad de la minería chilena del cobre*. Recuperado el diciembre de 2016, de http://programaaltaley.cl/wp-content/uploads/2015/10/Informe_Competitividad_de_la_mineria_chilena_del_cobre.pdf

COCHILCO Estadísticas. (2016). *Cochilco* . Recuperado el diciembre de 2016, de <https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Publicaciones/Libros-de-Recopilaci%C3%B3n-de-Estudios.aspx>

COCHILCO. (2015). *Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2015 -2024*.

COCHILCO. (2015). *Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2015 -2024*. COCHILCO Dirección de Estudios y Políticas Públicas.

CODELCO. (21 de 02 de 2011). Recuperado el 10 de diciembre de 2016, de https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20110221/asocfile/20110221184737/presentacion_4sat_danielbarria_v9.pdf

Consejo Minero. (2015). Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <http://www.consejominero.cl/chile-pais-minero/panorama-economico-de-la-mineria/>

Consejo Minero. (2016). Recuperado el diciembre de 2016, de <http://www.consejominero.cl/chile-pais-minero/panorama-economico-de-la-mineria/>

Contreras, G. &. (2014). *MODELO DE IMPLEMENTACION DE UNA RED INALAMBRICA CARRIER PARA UNA RED CORPORATIVA MINERA* . Recuperado el 10 de diciembre de 2016, de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/2168/71.0544.IS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CONYCYT. (s.f.). *administracion-de-parques-astronomicos*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <http://www.conicyt.cl/astronomia/administracion-de-parques-astronomicos/parque-astronomico-atacama/>

Corporation, IBM. (2010). *The Future of Mining*.

CTA. (2017). *CherenkovTelescopeArray*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <https://www.cta-observatory.org/project/technology>

CTA. (s.f.). <https://www.cta-observatory.org/>.

E. Rubio, M. F. (Agosto 2016). *A portfolio approach for mineplannig under uncertainty*. Santiago de Chile: Minin 2016.

ESO. (s.f.). *instruments*. Obtenido de <https://www.eso.org/sci/facilities/paranal/instruments/muse/inst.html>

ESO. (s.f.). *teles-instr/technology/ifu/*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <https://www.eso.org/public/teles-instr/technology/ifu/>

ESO. (s.f.). *usa/news/eso1229/*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <https://www.eso.org/public/usa/news/eso1229/>

EVALSO. (octubre de 2010). *A new communication infrastructure for European astronomy in Latin America*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de EVALSO A new communication infrastructure for

European astronomy in Latin America https://www.evalso.eu/evalso/wp-content/uploads/2010/10/Evalso_flyer_final_150dpi.pdf

eventhorizontetelescope. (s.f.). Recuperado el 6 de enero de 2017, de <http://www.eventhorizontetelescope.org/>

Fernández, D., & Casteels, K. (2015). *Sky quality at the Montsec Astronomical Observatory and commissioning of the Joan Oró Telescope*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de reaserchgate: https://www.researchgate.net/publication/268056968_Sky_quality_at_the_Montsec_Astronomical_Observatory_and_commissioning_of_the_Joan_Oro_Telescope

Fiérrez Aguilar, J. (2009). *Universidad Autonoma de Madrid*. Obtenido de arantxa.ii.uam.es/~sistel/T4.ppt

Filippi, G. (02 de 2015). *ALMA AOS/OSF-SCO Communication Infrastructure. Update for the 6th SAACC Meeting*. Recuperado el 20 de Marzo de 2017, de <https://amlight.net/wp-content/uploads/2015/02/ALMA-OSF-SCO-optical-infrastructure-6th-SAACC-Meeting-20150420.pdf>

Filippi, G., Saldías, C., & Ovando, N. (Abril 2016 de 2016). *ALMA AOS/OSF-SCO Communication Infrastructure Update*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de Presentation for the 7th SAACC meeting: <http://amlight.net/wp-content/uploads/2016/02/ALMAOSFSCOopticalinfrastructure7SAACCMeting20160411.pdf>

Fundación Chile. (2014). *PROVEEDORES DE LA MINERÍA CHILENA ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN 2014*.

Fundación Chile. (2016). *Roadmap Tecnológico 2015-2035*. Recuperado el 10 de diciembre de 2016, de <http://www.consejominero.cl/wp-content/uploads/2016/04/Roadmap-miner%C3%ADa.pdf>

futuretimeline.net. (s.f.). Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <http://www.futuretimeline.net/>

G.Chiozzi, H. a. (2009). *ALMA Common Software Architecture*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <http://www.eso.org/~almamgr/AlmaAcs/OnlineDocs/ACSArchitecture.pdf>

Goldcorp. (s.f.). *Soluciones-de-conectividad-de-Cisco*. Obtenido de <http://www.goldcorp.com/Spanish/Blog/Blog-Details/2017/Soluciones-de-conectividad-de-Cisco-que-preparan-el-camino-para-la-prxima-generacin-de-minas/default.aspx>

Grothkopf, U., Meakins, S., & Bordelon, D. (2016). *Basic ESO Publication Statistics. Version 7.5*.

GSAT-11. (s.f.). Obtenido de <http://www.thehindu.com/news/national/GSAT-11-to-be-launched-in-early-2017/article14636765.ece>

Guilarte, M. (2014). *La marea del Internet of Things*. Recuperado el 27 de marzo de 2017, de <http://smartcio.es/internet-of-things/>

Halstead, D. &. (2016). *Data transfer from ALMA to North America*. Recuperado el 20 de Marzo de 2017, de https://amlight.net/wp-content/uploads/2016/02/NRAO_ALMA_SAACC_April_2016.pdf

hpc-america.com. (s.f.). Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <http://www.hpc-america.com/solutions/sap-fleet-management/>

htcmania.com. (s.f.). Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <http://www.htcmania.com/showthread.php?p=24788533>

Hugh, D.-W., Ryan, G., Ferran, P., & Richard, S. (Noviembre de 2015). *McKinsey&Company*. Obtenido de <http://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/how-digital-innovation-can-improve-mining-productivity>

Ibarra, J., AmLight, R., & Smith, C. (Abril). *Presentation for the 7th SAACC meeting*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de 2016: http://amlight.net/wp-content/uploads/2016/02/SAACC_AURA_Apr2016.pdf

Jaque, S. (Abril de 2016). *LSST/AURA – REUNA Long haul network Chile National WAN*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de Presentation for the 7th SAACC meeting: http://amlight.net/wp-content/uploads/2016/02/REUNA_SAAC_abril2016.pdf

Kantor, J. (2016). *LSST Long Haul Networks*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de SAACC Meeting: <https://amlight.net/wp-content/uploads/2016/02/StatusLSST.pdf>

Kantor, J. (2014). *LSST Project Update*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de SAACC Meeting: <https://amlight.net/wp-content/uploads/2014/12/20140414LSSTKantor.pdf>

Kantor, J. (2015). *LSST Project Update*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de SAACC Meeting: https://amlight.net/wp-content/uploads/2015/02/LSSTProjectUpdate_v3-email.pdf

Kantor, J. (2017). *Networking for the Large Synoptic Survey Telescope (LSST)*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de SAACC Meeting. Jan, 10th, 2017.: <https://amlight.net/wp-content/uploads/2016/08/20170110-Kantor-LSST-Networks.pdf>

Kibernum Chile. (24 de Agosto de 2016). *Kibernum Chile*. Obtenido de <http://www.kibernum.com/noticias/de-que-forma-ha-aportado-el-iot-a-la-industria-minera-en-chile/>

KOMTRAX. (s.f.). *KOMTRAX Plus & KOMTRAX Plus Database*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/product_supports/

Liello, F. (2010). *ICT and E-infrastructures for R&D*. Recuperado el 22 de marzo de 2017, de Fernando Liello, ICT and E-infrastructures for R&D, 2010 <http://www.evalso.eu/evalso/wp-content/uploads/2010/11/e-Infrastructures.pdf>

Llama Observatory. (s.f.). www.llamaobservatory.org. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <https://www.llamaobservatory.org>

losandesonline.cl. (2016). Recuperado el 10 de diciembre de 2016, de <http://www.losandesonline.cl/noticias/11212/04052010-codelco-andina-puso-en-marcha-su-nuevo-centro-integrado-de-operaciones.html>

LSST. (s.f.). Recuperado el 4 de marzo de 2017, de <http://www.lsst.org>

LSST-camera. (s.f.). <https://www.lsst.org/about/camera/features>. Recuperado el 12 de marzo de 2017

magellantech. (s.f.). Recuperado el 6 de enero de 2017, de https://magellantech.obs.carnegiescience.edu/0pubs/refereed_pubs.html

Maiolino, R. (2008). Prospects for AGN studies with ALMA. *New Astron.Rev.* 52 .

Manosilvas, E. (2012). *ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS BLUETOOTH, WIFI AD HOC, Y WIFI MESH PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS*. Recuperado el 10 de diciembre de 2016, de <http://dspace.espoeh.edu.ec/bitstream/123456789/2913/1/98T00028.pdf>

Memoria Anual 2015 REUNA. (2015). Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <http://www.reuna.cl/difusion/memorias.html>

Minería Chilena. (2015). *Tecnologías de la Información y Comunicación: Transformando el negocio minero*. Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <http://www.mch.cl/informes-tecnicos/tecnologias-de-la-informacion-y-comunicacion-transformando-el-negocio-minero>

Minería Chilena. (2016). *www.mch.cl*. Recuperado el 20 de diciembre de 2016, de <http://www.mch.cl/reportajes/ministro-hales-avanza-en-su-operacion-remota/>

Minería Chilena. (2016). *www.mch.cl*. Recuperado el 10 de diciembre de 2016, de <http://www.mch.cl/entrevistas/el-teniente-en-ajustes-para-enfrentar-las-nuevas-metas/>

Moyo, M., & Rehbach, S. (2015). *Productivity in mining operations: Reversing the downward trend*.

NASA. (s.f.). *imagine.gsfc.nasa.gov*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <http://imagine.gsfc.nasa.gov/>

O3b networks. (s.f.). *o3bnetworks.com*. Recuperado el 17 de marzo de 2017, de O3b networks: <https://www.o3bnetworks.com/about/our-story/>

OECD. (s.f.). *national strategies for science technology and innovation*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <https://www.oecd.org/sti/outlook/e-outlook/stipolicyprofiles/stipolicygovernance/nationalstrategiesforsciencetechnologyandinnovation.htm>

Orellana, M. (2010). Presentación Gerente Corporativo TICA - CODELCO. *Quinto Evento Tecnológico CODELCO / Industria TICA, 3 y 4 de Junio 2010*. Calama .

portalminero.com. (s.f.). Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <http://www.portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=115048631>

Programa Nacional de Minería Alta Ley. (2015). *Programa Nacional de Minería Alta Ley, Desde el cobre a la innovación - Roadmap Tecnológico 2015-2035*.

ramonmillan.com. (s.f.). Recuperado el 12 de diciembre de 2016, de <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/gpon.php>

redes-mesh-o-redes-malladas. (s.f.). Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/redes-mesh-o-redes-malladas/redes-mesh-o-redes-malladas.shtml>

Revillon, P. (2016). *EUROCONSULT*. Recuperado el 25 de marzo de 2017, de FUNDAMENTALS AND DYNAMICS OF THE SATELLITE COMMUNICATIONS BUSINESS: www.euroconsult-ec.com <http://www.inmarsat.com/wp-content/upload>

rohde-schwarz. (2016). *eMTC y NB-IoT abren el camino hacia 5G/IoT*. Recuperado el 10 de diciembre de 2016, de : https://www.rohde-schwarz.com/es/soluciones/comunicaciones-inalambricas/lte/temas-destacados/emtc-y-nb-iot-abren-el-camino-hacia-5g-iot_230416.html

Rubio, M. (2011). Overview of Astronomy Facilities in Chile. *Symposium 2011:Advanced Mathematical Tools for Frontier Astronomy and other Massive Data-driven Sciences*. Pucón.

Sernageomin. (2015). *Anuario de la Minería de Chile 2015*. Recuperado el diciembre de 2016, de <http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/estadisticas/anuario/Anuario-de-la-Mineria2015.pdf>

Smith, R. C. (Apr de 2015). *AURA Networking Update. AURA Observatory in Chile*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de https://amlight.net/wp-content/uploads/2015/02/SAACC_AURA_Apr2015-email-2.pdf

SONAMI. (2014). *CARACTERIZACIÓN DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA MINERÍA EN CHILE*. Recuperado el 12 de diciembre de 2016, de <http://www.sonami.cl/site/wp-content/uploads/2016/03/01.-Importancia-de-la-pequena-y-mediana-mineria-Chile-VP11.pdf>

spacetelescope.org. (s.f.). *announcements/sci14003/*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <https://www.spacetelescope.org/forscientists/announcements/sci14003/>

Stephens ZD, L. S. (2015). Big Data: Astronomical or Genomical? *PLoS Biol* 13(7): e1002195. doi:10.1371/journal.pbio.1002195 .

Taylor, W., & Bosworth, D. (2016). *Analog Devices*. Recuperado el 22 de marzo de 2017, de BANDWIDTH DEMANDS PLACE NEW STRAINS ON SATELLITE COMMUNICATIONS DESIGN: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/technical-articles/Bandwidth-Demands-Place-New-Strains-on-Satellite-Communi>

Taylor, W., & Bosworth, D. (2016). *Analog Devices, Inc*. Obtenido de BANDWIDTH DEMANDS PLACE NEW STRAINS ON SATELLITE COMMUNICATIONS DESIGN: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/technical-articles/Bandwidth-Demands-Place-New-Strains-on-Satellite-Communications-Design.pdf>

U.Grothkopf, S. D. (2016). *Basic ESO Publication Statistics. Version 7.5*.

US funds. (2016). Recuperado el diciembre de 2016, de <http://www.usfunds.com/investor-library/frank-talk/8-trillion-alternative-energy-boom-is-a-win-for-copper/#.WGUIJblPhCUk>

Utreras, F. (2016). *RedCLARA: the Gigabit Network of Latin America. CLARA*. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de 7thSAACC Meeting: https://amlight.net/wp-content/uploads/2016/02/RedCLARA_theGigabit_Netwrok_of_Latin_America.pdf

Vantage Point Solutions. (2013). *Analysis of Satellite-Based Telecommunications and Broadband Service*. Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <https://ecfsapi.fcc.gov/file/7520956711.pdf>

Ventisca. (2016). *ventisca.cl*. Recuperado el 12 de diciembre de 2016, de <http://ventisca.cl/mineria/cobre-en-la-region/principales-yacimientos>

www.ccapitalia.net. (2012). *2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf*. Recuperado el 2016, de <http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf>

www.nsr.com. (s.f.). Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <http://www.nsr.com/news-resources/the-bottom-line/financial-impact-of-a-capacity-explosion/>

Zampieri, S. e. (2004). "Adapting the VLT data flow system for handling high data rates". *Optimizing Scientific Return for Astronomy through Information Technologies*, 63. <http://dx.doi.org/10.1117/12.551221>.

12 EQUIPO DE TRABAJO

12.1 Director del Estudio

Gerardo Rivas Perlwitz, MSc
Ingeniero Civil Electricista

12.2 Expertos:

Mauricio Solar Fuentes, PhD.
Ingeniero Civil Electrónico

Enrique Rubio, PhD.
Ingeniero Civil de Minas

Ricardo Finger Camus, PhD.
Ingeniero Civil Eléctrico

Rodrigo Tapia
Bachelor of Science in Industrial Management
Bachelor of Science in Automation

Fernando Vargas
Ingeniero Civil en Minería

Ignacio Rivas
Ingeniero Civil Eléctrico

Maritza Geell
Ingeniero Comercial

Extractos de la información del Consejo Minero

La minería en Chile forma parte de nuestra identidad como nación, y ha sido y sigue siendo clave para el desarrollo del país. Su importancia ha sido evidente durante nuestra historia, es innegable su aporte presente y futuro por ser una industria de largo plazo. Así mismo, la minería ha sido protagonista de la senda de crecimiento que ha tenido la economía chilena en las últimas décadas. Luego de una producción de cobre estancada en torno a 1,4 millones de toneladas anuales durante los años '80, en la década siguiente se observó un crecimiento sostenido, alcanzando más de 4 millones de toneladas. Posteriormente ese crecimiento continuó, aunque a menor ritmo, y en los últimos años la producción se está acercando a 6-8 millones de toneladas anuales. Esto ha permitido que Chile pase a representar desde un 16% de la producción mundial antes de los '90 a un 32% en años recientes, un 30% durante el 2015 y 2016.

Cabe destacar que el crecimiento se observó tanto en la minería privada de capitales extranjeros y capitales nacionales, como en la minería estatal, dando origen quizás al caso más notable de convivencia entre los tres modelos de propiedad.

Aunque, muy marcado por las fluctuaciones de precios, la participación de la minería en el PIB se ha ubicado en torno al 9%, desde mínimos en torno al 7% en algunos años de los '90, hasta máximos sobre el 20%, en algunos años de la segunda mitad de la década del 2000. (Consejo Minero, 2016).

Desde la promulgación del Estatuto de Inversión Extranjera en 1974 hasta el año 2012 se han materializado inversiones por más de 90 mil millones de dólares, de los cuales un tercio corresponde a minería. (Consejo Minero, 2016).

Consecuentemente, la inversión en exploración en Chile pasó desde valores por debajo de los 100 millones de dólares anuales, a montos cercanos a 1.000 millones. Este esfuerzo ha permitido, por ejemplo, que Chile mantenga en torno al 30% de las reservas mundiales de cobre.

Por otra parte, la participación de las exportaciones mineras en relación al total de envíos de Chile sigue siendo la más importante de nuestra economía, el cobre representa más del 90% de las exportaciones mineras del país, mientras que un 55% de las exportaciones corresponden a productos mineros. De igual modo, la minería es el sector económico con mayor contribución a los ingresos fiscales, con una participación cercana al 15% durante el 2012, presentando una baja durante el 2013 en adelante. Hoy se sitúa en torno al 6% (Consejo Minero, 2016)

Junto con las condiciones jurídico-institucionales, reforzadas por el marco de estabilidad democrática y consensos políticos, el despegue de la minería también se hizo posible por la calidad de su capital humano. Nuestra gente, especialmente en el norte, posee una sólida cultura y tradición minera y una creciente formación técnica en nuevas tecnologías, a la que las empresas dedicaron importantes recursos en la capacitación de sus trabajadores. Especialmente a través de la creación del Consejo de Competencias Mineras durante el 2012, constituyéndose en el primer skill Council de Chile, siendo un aporte fundamental en la formación de capital humano, ya que une al mundo de la educación técnico-profesional con el de la industria, de manera que los organismos de educación ofrezcan formación de clase mundial para los perfiles requeridos por las empresas del sector y sus principales proveedores de operación, incrementando así productividad de la industria.

Un último factor que cabe destacar y que facilitó la expansión minera es la adecuada infraestructura vial, portuaria, energética y de comunicaciones, que en parte ha sido provista a partir de la propia actividad minera.

Mirando hacia el futuro, una cartera de proyectos mineros en ejecución por 15 mil millones de dólares y de proyectos en evaluación por otros 35 mil millones, sitúa al sector en las puertas de una importante fase de expansión, que por cierto requiere la superación de diversos desafíos. Al respecto, en los últimos años se han observado limitaciones a la competitividad de la minería chilena en aspectos tales como caída en la ley mineral, disponibilidad y costo de energía, disponibilidad de agua, productividad del capital humano y certeza jurídica de las autorizaciones. Es un desafío superar estas limitaciones para que la minería profundice su aporte al país y continúe siendo motor del desarrollo nacional.

Respecto al panorama económico y regulatorio de la minería, el año 2014 estuvo marcado por la caída de precios de los minerales más relevantes para nuestro país. La cotización del cobre cayó 20%, desde un promedio de US\$3,11 la libra en 2014, a US\$ 2,5 en 2015. Pero para tener una visión más completa del fenómeno se debe considerar que hacia fines del 2015 y principios del 2016 se estaba transando cerca de los US\$ 2, que representa la mitad del valor promedio de 2011. (Consejo Minero, 2015)

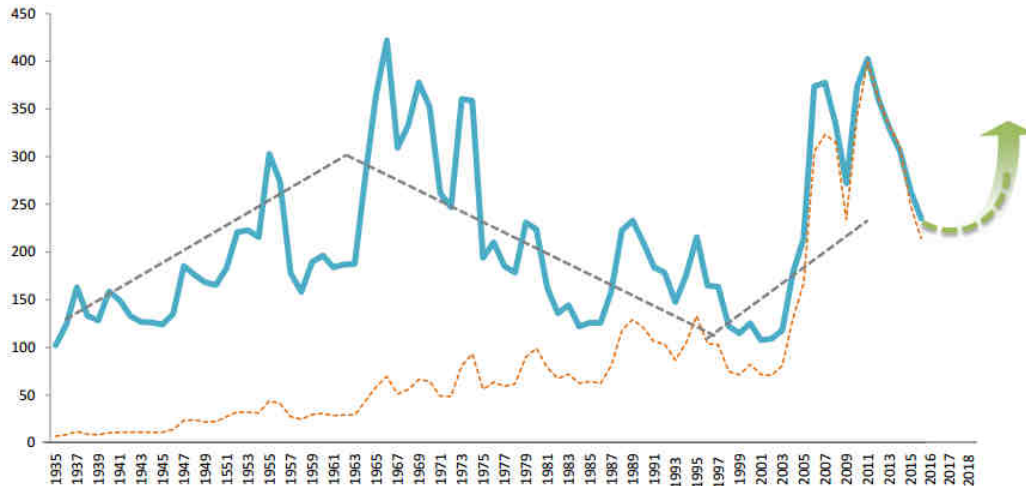
Los demás minerales también mostraron panoramas desalentadores: el molibdeno cayó 42%, el oro 8% y la plata 18%, todos dentro de una tendencia declinante que comenzó hace tres años.

Particularmente en el caso del cobre, si bien se anticipaba una baja paulatina por el ajuste del mercado mundial luego del súper ciclo empujado por China, no estaba en los cálculos un desplome como el observado. La explicación más recurrente que se dio fueron las inesperadas cifras negativas que empezó a mostrar la economía del gigante asiático. No se trataba del aterrizaje que todos proyectaban hacia crecimientos más sostenibles en torno al 6%, ni del paulatino cambio en la estructura productiva desde el énfasis en la inversión hacia el consumo interno. El mayor problema se dio por la dificultad para interpretar las cifras chinas. La entrega de algunos resultados puntuales decepcionantes del sector real, combinada con señales de fragilidad financiera, se sumó a una serie de especulaciones que ponían en duda las cifras de crecimiento del país. Además, dada la importancia que en los últimos años empezó a tener el cobre como instrumento de respaldo financiero, y que por un tiempo empujó al alza su cotización, en este período reciente de mayor turbulencia, le jugó en contra, agudizando su caída, más allá de los fundamentos de mercado provenientes de su uso productivo.

Lo anterior se ve reforzado al constatar que no hubo grandes sorpresas adicionales por el lado de la demanda desde países distintos de China, ni por lado de la oferta. La todavía inestable recuperación de Europa y Japón, y las mejores señales de Estados Unidos dadas en parte por un alza de tasas de interés, era algo que se anticipaba. La producción mundial de cobre, por su parte, también siguió el ritmo esperado.

El panorama en el primer trimestre de 2016 no fue distinto. La incertidumbre sobre la economía china siguió dominando la cotización de los minerales, que en el caso del cobre lo mantuvo rondando los US\$ 2 la libra, lo que hizo ajustar a la baja las proyecciones para el resto del año y añadió perspectivas pesimistas que llegan hasta 2018. . . (Consejo Minero, 2015)

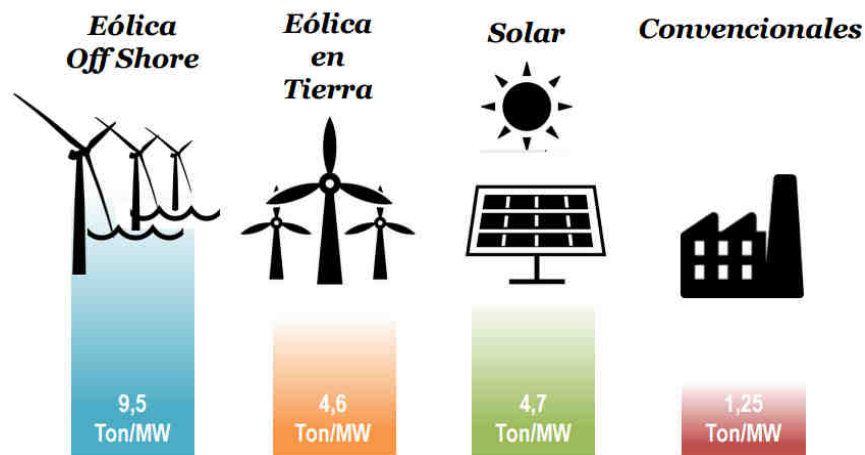
Figura 13-1 Pronóstico del precio del cobre hacia el 2018



Fuente: (Consejo Minero, 2016)

Aun así, últimamente el precio del cobre se ha recuperado hasta 2,5 US\$ la libra, manteniendo esperanzas de que para el año 2018 este se estabilice, es importante notar que el precio del cobre es completamente cíclico y la demanda por este va a seguir en aumento dado que nos dirigimos hacia una industria más automatizada, con mejores eficiencias y menores daños colaterales para el medioambiente y las personas.

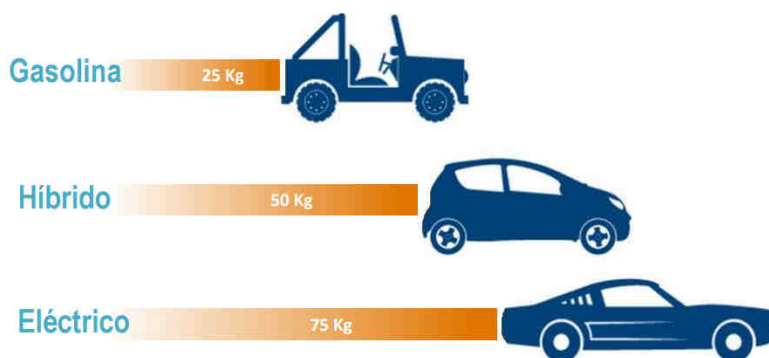
Figura 13-2 Cantidad de cobre que utilizan las distintas fuentes de generación energética.



Fuente: (Consejo Minero, 2016)

El uso del cobre tanto en la generación de energía como en el combustible de los automóviles es mucho mayor a lo que acostumbramos ver hoy en día, pasando a formas de movilización y generación de energía más eficientes, más baratas y menos contaminantes.

Figura 13-3 Cantidad de cobre que utilizan los automóviles según tipo de combustible.



Fuente: (US funds, 2016)

Asimismo, esto va de la mano con el desarrollo del sector minero, donde el avance tecnológico, especialmente el relacionado con la comunicación, generó un punto de inflexión en cómo se estaban gestando las diversas dinámicas de la producción minera. El acceso a estas tecnologías facilitó la inclusión de nuevas formas de producción, mucho más específicas, eficientes y seguras. La mirada a otras industrias, permitió, a su vez, introducir otros conceptos como el de automatización, el que incluye al control automático en todas sus manifestaciones (desde las clásicas hasta las avanzadas), pero que además incorpora disciplinas tales como instrumentación y sensores, sistemas digitales y computadores, inteligencia artificial, procesamiento de señales y software, robótica y electrónica, además de una serie de otras disciplinas de reciente aparición, orientado a procesos que coordinan automáticamente la operación de varios equipos o procedimientos de análisis de información en tiempo real, y que permiten mejorar la toma de decisiones y también automatizar la generación de reportes. (Area Minera, 2016)

Ahora bien, como se ha señalado, la industria minera el año 2015 y 2016 estuvieron especialmente marcados por la caída en los precios de sus productos y sus consecuentes efectos. Sin embargo, esto no significa que otras variables que afectan al sector hayan perdido su relevancia. Un factor que ha impactado en forma significativa a la minería en los últimos años es la energía eléctrica, tanto por su elevado costo como por riesgos de indisponibilidad. Podemos decir que en 2015 hubo algunas señales mixtas. Por un lado, el precio medio de mercado a clientes libres, que puede considerarse razonablemente representativo para la industria minera, cayó en torno a 12% en el año. Sin embargo, para tener una ponderación correcta de esta buena noticia antes debemos conocer cómo han evolucionado los precios de la energía en otros países mineros y así medir el impacto en la competitividad de nuestra minería. Sin tener información concreta al respecto, sabemos que la caída del precio del petróleo ha arrastrado a los demás energéticos, lo que ha tendido a bajar el costo de la electricidad a nivel internacional. Por otra parte, se ha observado una reactivación en el proceso de inversiones del sector eléctrico, lo que sumado a una mejor hidrología y a una baja en la demanda, permite atenuar los temores de desabastecimiento eléctrico que se vislumbraban en años anteriores. (COCHILCO Estadísticas, 2016)

En el ámbito regulatorio sobre el tema energético, durante 2015 el sector minero apreció aspectos positivos y negativos en el proyecto de ley sobre transmisión eléctrica que comenzó a tramitarse en el Congreso, estando entre los segundos los mayores costos de transmisión que deberán soportar los clientes. También se vio con preocupación los futuros traspasos de mayores costos por los impuestos a las emisiones de termoeléctricas, resultantes de la reforma tributaria, a lo que se podrían sumar cargas adicionales por los compromisos de mitigación frente al cambio climático y medidas sobre eficiencia energética. Una señal positiva es la decisión de los CDEC de realizar auditorías más exhaustivas a los parámetros de operación declarados por los generadores, que ya dio como resultado una corrección a los mínimos técnicos con que operan las centrales.

Una segunda variable que ha preocupado al sector en los últimos años es la disponibilidad de agua para sus operaciones. Aun con todos los avances en eficiencia hídrica y el uso creciente de agua de mar -tendencia que se mantuvo en 2015- para las empresas mineras sigue siendo crítico el acceso al recurso.

Una tercera variable estratégica que durante el año 2015 afectó la percepción de la industria minera corresponde al ámbito laboral. Debido al ciclo contractivo, la preocupación de corto plazo no fue la disponibilidad de capital humano en términos de cantidad, más bien, el foco estuvo en tratar de revertir la tendencia creciente de la brecha entre remuneraciones y productividad. La baja en el empleo minero junto con el alza en el tipo de cambio (para estos efectos las remuneraciones se miden en dólares) llevó, de hecho, a romper dicha tendencia.

Siempre dentro del ámbito laboral, fue factor de preocupación durante 2015 y 2016 los avances en la tramitación legislativa de la reforma laboral, considerando que con la legislación vigente, las empresas mineras ya han visto cómo han aumentado los beneficios para los trabajadores mientras su productividad caía. También las empresas siguieron con atención los borradores de modificación a la normativa sobre trabajo en altura, planteando sus observaciones para que el objetivo compartido de la salud de los trabajadores no se mezcle con regulaciones inapropiadas del ámbito contractual laboral. Otro aspecto regulatorio que causó inquietud en la industria fue un fallo de la Corte de Apelaciones que dio sustento legal a un paro fuera de la negociación colectiva.

Un cuarto ámbito estratégico que durante 2015 y 2016 mantuvo relevancia para el sector fue el ambiental. Dos temas a destacar acá fueron los procesos sancionatorios que involucraron a empresa mineras. Sin desconocer que el desempeño ambiental del sector sigue siendo un desafío, tampoco puede soslayarse que la autoridad ambiental expresamente definió a la minería como uno de sus focos principales de fiscalización del año, lo que llevó a que esta industria apareciera sobre representada en las comparaciones sectoriales de sanciones. Además, varios procesos sancionatorios, si bien encontraron sustento desde una perspectiva jurídica, revelaron como causa relevante una excesiva rigidez del marco institucional, que a veces se enfoca demasiado en aspectos formales y otras veces ha llevado a que las empresas, en vez de dar soluciones oportunas a deficiencias ambientales reales, las dejen acumularse hasta que son fiscalizadas.

Siguiendo con la temática anterior, las empresas vieron con inquietud la tramitación de un proyecto de ley sobre protección de glaciares. Esto debido al interés de algunos parlamentarios de establecer prohibiciones absolutas que limitarían sustancialmente la actividad minera futura, en vez de contar con una legislación que lleve a tomar decisiones de acuerdo a cada realidad particular.

Finalmente, como parte relevante del marco normativo que afecta el sector, no podemos dejar de mencionar que durante el año 2015 la atención de la industria también estuvo en la implementación

de la reforma tributaria de 2014, que para todos los sectores, incluido el minero, significó una mayor carga impositiva y exigencias de cuidado adicionales. A partir de este proceso de implementación, las empresas mineras pudieron extraer análisis que fueron transmitidos durante la tramitación del posterior proyecto de simplificación tributaria. También afectó las perspectivas del sector la Ley 20.848 que estableció un nuevo marco para la inversión extranjera. Esta ley, entre otras materias, eliminó a partir del año 2020 la posibilidad de acogerse a una estabilidad para el impuesto específico a la minería, aspecto que fue considerado contraproducente por la industria, tratándose de un gravamen exclusivamente sectorial y por tanto más expuesto a contingencias fiscales y políticas, habida cuenta del carácter hundido de las inversiones mineras.

En conclusión, como pudo apreciarse de los párrafos anteriores, si bien a excepción de la derogación de la estabilidad para el impuesto específico a la minería, durante 2015 no hubo cambios relevantes, concretados o en desarrollo, referidos puntualmente a la actividad minera. Sin embargo, en los ámbitos estratégicos que forman parte del entorno en que se desenvuelve la industria –energía, agua, capital humano y medio ambiente– sí hubo movimientos que alteraron, si no en forma inmediata a las operaciones mineras, al menos sus expectativas sobre el marco que las empresas deberán enfrentar a futuro. Y de lo expuesto se desprende que los desafíos tienden a aumentar más que a atenuarse. Así mismo, es notorio que la inversión en proyectos mineros se ha contraído para los próximos 20 años, principalmente por los factores nombrados anteriormente, aun así esto posee una gran variabilidad dado la gran brecha que existe en esta proyección futura.