



Estudio de factibilidad técnica, legal, económica, financiera, ambiental, social, de gobernanza y geopolítica del Proyecto Cable Antártico

El presente documento corresponde al Resumen Ejecutivo del Informe N.º 1 del Estudio de Factibilidad para el desarrollo de un cable submarino de fibra óptica entre Sudamérica y la Antártica, iniciativa impulsada por la Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile y financiada por el Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF). Este estudio tiene por desarrollar los análisis técnicos, legales, económicos, financieros, ambientales, sociales, de gobernanza y geopolíticos necesarios para la implementación de un sistema de cable submarino de fibra óptica entre Chile Continental y la Antártica. Este proyecto busca transformar la conectividad digital del continente blanco, fortaleciendo las capacidades científicas, logísticas y de cooperación internacional. En este contexto, el estudio aborda antecedentes e información cuyo análisis reviste particular relevancia estratégica para el desarrollo de infraestructura digital que apoye las actividades científicas y operacionales en el territorio antártico.

De conformidad con lo establecido en las Bases de Licitación, sancionadas por medio de la Resolución N.º 1.659, de 2024, de la Subsecretaría de Telecomunicaciones, el Informe N.º 1 constituye el primer entregable del proyecto y tiene por finalidad desarrollar un levantamiento general y un diagnóstico inicial de los distintos ámbitos que resultan relevantes para evaluar la factibilidad de esta iniciativa. Para ello, el informe se estructura en seis capítulos que abordan, respectivamente:

- **Capítulo 1 – Diagnóstico de la situación actual de conectividad digital en la Antártica:** Presenta un diagnóstico de la situación actual de conectividad digital en el área de estudio del Proyecto, la cual comprende la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, las Islas Shetland del Sur, la Península Antártica y las aguas circundantes. Para ello, se desarrolla una caracterización del área desde el punto de vista geográfico, climático y de accesibilidad, junto con la identificación y caracterización de las instalaciones antárticas presentes en la zona de análisis. Asimismo, se analizan la demanda actual y proyectada por servicios de conectividad digital de dichas instalaciones, la oferta existente de servicios de telecomunicaciones y transporte de datos, y el eventual déficit entre oferta y demanda, permitiendo identificar el problema de conectividad que el proyecto busca abordar.
- **Capítulo 2 – Marco normativo y viabilidad legal y administrativa:** Aborda el análisis del marco normativo nacional e internacional aplicable al desarrollo de un sistema de cable submarino de fibra óptica en el área de estudio. En este contexto, se examinan las disposiciones

regulatorias, procedimientos y condiciones requeridas para la obtención de permisos y autorizaciones necesarias para la eventual implementación, operación y explotación de la infraestructura propuesta. Asimismo, se identifican las autoridades competentes involucradas en dichos procesos, se analizan las posibles implicancias de los reclamos territoriales existentes en la Antártica y se revisan experiencias comparadas y marcos regulatorios asociados a esquemas de asociación público-privada o consorcios internacionales que podrían resultar pertinentes para el desarrollo del proyecto

- **Capítulo 3 – Estudio de viabilidad técnica del proyecto:** Desarrolla el análisis de viabilidad técnica del proyecto, abordando el dimensionamiento preliminar del sistema de conectividad propuesto en función de la demanda identificada y de las condiciones del área de estudio. En este capítulo se examina el estado del arte de las tecnologías asociadas a sistemas de cables submarinos de fibra óptica, así como los criterios de diseño, instalación y operación de los distintos componentes que conforman este tipo de infraestructura. Asimismo, se presentan y analizan diversas alternativas preliminares de solución técnica para la provisión del servicio de conectividad digital. El capítulo también incorpora una evaluación preliminar de los aspectos ambientales asociados a dichas alternativas y el desarrollo de cronogramas preliminares para su eventual implementación.
- **Capítulo 4 – Análisis geopolítico y de gobernanza:** Analiza los aspectos geopolíticos e institucionales asociados al desarrollo de infraestructura digital en el continente antártico, considerando el contexto internacional en el cual se enmarca el proyecto. En particular, se realiza un estudio preliminar de los factores geopolíticos que podrían incidir en la implementación de las alternativas técnicas analizadas, así como un análisis de los actores relevantes o stakeholders vinculados al proyecto, identificando sus intereses, expectativas y posibles niveles de participación. Asimismo, se examinan distintas alternativas de financiamiento y modelos de asociación que podrían resultar aplicables, incluyendo esquemas de participación de países, organizaciones internacionales y actores privados, junto con la formulación de propuestas preliminares de modelos de gobernanza para el desarrollo y eventual operación del proyecto
- **Capítulo 5 – Modelos de negocio para la provisión del servicio:** Presenta un análisis de posibles modelos de negocio aplicables a la provisión del servicio de conectividad digital que el proyecto podría ofrecer. Para ello, se examinan distintas propuestas de valor y configuraciones de mercado que podrían resultar pertinentes. Este análisis permite identificar alternativas de modelos de negocio que podrían contribuir a la sostenibilidad del proyecto y apoyar la definición de esquemas de gobernanza y financiamiento adecuados para su eventual desarrollo.
- **Capítulo 6 – Estudio de viabilidad financiera:** Desarrolla un análisis preliminar de la viabilidad financiera del Proyecto, considerando las distintas alternativas preliminares de solución técnica y los modelos de negocio previamente analizados. En este marco, se identifican y estiman las principales inversiones requeridas para la implementación del sistema, así como los costos asociados a su operación, mantenimiento y explotación en el horizonte de evaluación considerado. Asimismo, se elaboran proyecciones de ingresos basadas en la demanda estimada, se construyen flujos de caja para los distintos escenarios analizados y se calculan indicadores financieros. El capítulo también incorpora análisis de sensibilidad y la identificación de las condiciones necesarias para que el proyecto resulte financieramente viable.

El Informe N° 1 corresponde a un documento de carácter técnico y especializado, cuyo contenido completo incluye análisis detallados, antecedentes metodológicos, referencias bibliográficas y diversos anexos técnicos, alcanzando una extensión que supera las mil páginas. Sin perjuicio de lo anterior, cabe señalar que este primer informe corresponde a una fase inicial del proceso de estudio, cuyo propósito principal es identificar y sistematizar información relevante, caracterizar el contexto en el cual se desarrollaría el proyecto y delimitar los principales factores que deberán ser analizados en mayor profundidad en las etapas posteriores. En consecuencia, los antecedentes y conclusiones aquí expuestos deben entenderse como **resultados preliminares**, los cuales forman parte de un proceso de análisis actualmente en desarrollo y que continuará siendo profundizado en los siguientes informes contemplados en el marco del contrato.

En atención a lo anterior, y con el propósito de facilitar la difusión de los principales antecedentes levantados en esta etapa del estudio, se ha preparado este Resumen Ejecutivo, el cual tiene por objeto **dar a conocer los principales contenidos y resultados generales de esta primera etapa del estudio**, contribuyendo a la difusión de la información relevante asociada a la iniciativa, sin perjuicio de que el análisis técnico detallado continuará desarrollándose y perfeccionándose en los informes posteriores que forman parte del proceso de estudio.



Resumen del Informe N.º 1

Estudio de factibilidad del Cable Antártico

05 de marzo de 2026

Toda la información contenida en este documento se proporciona de forma confidencial y no puede ser publicada ni revelada, total o parcialmente, a ninguna otra parte sin el permiso previo por escrito de Salience y Pioneer Consulting, y se mantendrá bajo custodia segura. Estas obligaciones no se aplicarán a la información que sea publicada legalmente o conocida por cualquier otra fuente. Salience Consultina DMCC v Pioneer Consultina Holdinas LLC© 2026



Tabla de Contenidos

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 Antecedentes y fundamentación	4
1.2 Objetivos del estudio	4
1.3 Contexto estratégico	5
1.4 Estructura del informe	5
2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA CONECTIVIDAD DIGITAL	6
2.1. Situación actual en la Antártica y definición del problema	6
2.1.1. Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	6
2.1.2. Los territorios antárticos	6
2.2. Análisis de la demanda	8
2.3. Análisis de la oferta	11
2.4. Asequibilidad	12
2.5. El problema identificado	12
3. FACTIBILIDAD LEGAL Y ADMINISTRATIVA	14
3.1. Análisis legal y regulatorio	14
3.2. Permisos y autorizaciones	15
3.3. Modelos de APP y consorcios de países	15
4. EXAMEN INICIAL DE FACTIBILIDAD TÉCNICA	16
4.1. Solución óptima	16
4.2. Dimensionamiento del Proyecto – Suministro de capacidad	17
4.3. Venatajas y desventajas técnicas	19
4.4. Tecnología de SMART Cable	20
4.5. Servicio de Conectividad Digital del Proyecto	20
4.6. Preparación del RFI	21
4.7. Análisis de impacto ambiental	21
5. ESTUDIO GEOPOLÍTICO Y DE GOBERNANZA	23
5.1. Introducción y propósito	23

5.2.	Metodología para la selección de la opción institucional	23
5.3.	Opciones institucionales preseleccionadas	24
5.4.	Recomendaciones	25
5.4.1.	Modelo institucional general	25
5.4.2.	Recomendaciones específicas	26
6.	ANÁLISIS DEL MODELO DE NEGOCIO	27
6.1.	Introducción	27
6.2.	Análisis de modelos de negocio aplicables	27
6.3.	Análisis FODA	28
6.3.1.	Descripción del FODA	28
6.3.2.	Matriz estratégica	30
6.3.3.	Resultados del análisis FODA	33
7.	FACTIBILIDAD FINANCIERA	35
7.1.	Introducción	35
7.1.1.	Diseño técnico	35
7.1.2.	Estimaciones de demanda	36
7.1.3.	Proyecciones de ingresos y estimaciones de precios	37
7.1.4.	Proyecciones de costos	39
7.2.	Conclusiones sobre la factibilidad financiera	39

1. Introducción

1.1 Antecedentes y fundamentación

La Antártica sigue siendo una de las regiones con menor conectividad digital en el mundo. A pesar de albergar 55 estaciones de investigación científica en la Península Antártica y de sustentar algunos de los programas de investigación climática, oceanográfica, glaciológica y atmosférica más críticos a nivel global, el continente depende casi exclusivamente de las comunicaciones por satélite. Estos sistemas —tanto de órbita geoestacionaria (GEO) como de órbita terrestre baja (LEO)— proporcionan un ancho de banda limitado, una alta latencia (en muchos casos) y una capacidad agregada restringida en relación con las necesidades de la ciencia moderna intensiva en datos.

El resultado es una brecha de conectividad digital persistente. Las instalaciones de investigación antártica operan con niveles de ancho de banda significativamente inferiores a los disponibles en instalaciones científicas similares en otros lugares del mundo, mientras enfrentan niveles de latencia que limitan directamente la colaboración en tiempo real, la instrumentación remota, la descarga de datos satelitales y los flujos de trabajo computacionales avanzados. A medida que las misiones científicas dependen cada vez más de la detección de alta resolución, los sistemas autónomos, la transferencia de datos en tiempo real y la colaboración internacional, esta brecha se está ampliando.

Este Estudio de Factibilidad evalúa si un sistema de cable de fibra óptica submarino que conecte la Antártica con el continente sudamericano —anclado en Chile— puede proporcionar una solución técnicamente viable, económicamente sostenible, legalmente conforme y geopolíticamente adecuada a este déficit de conectividad. Este informe de Resumen Ejecutivo proporciona una sinopsis del primero de tres informes que conforman el Estudio de Factibilidad completo. Las recomendaciones definitivas del estudio estarán disponibles tras la finalización del tercer informe al término del período de estudio de 16 meses.

1.2 Objetivos del estudio

El objetivo principal de este estudio es evaluar la factibilidad de desplegar un sistema de cable de fibra óptica submarino entre Chile y territorios antárticos seleccionados. Específicamente, el estudio busca:

- Diagnosticar las condiciones actuales de conectividad digital en las estaciones de investigación antárticas.
- Cuantificar la demanda de ancho de banda a largo plazo bajo múltiples escenarios de crecimiento científico.
- Evaluar si los sistemas satelitales por sí solos pueden satisfacer de manera sostenible las necesidades proyectadas.
- Examinar las configuraciones de diseño técnico y las opciones de escalamiento de capacidad.
- Evaluar las implicancias legales, regulatorias y del Sistema del Tratado Antártico (STA).
- Identificar las estructuras de gobernanza e institucionales adecuadas para un activo de infraestructura multinacional.
- Desarrollar modelos de negocio viables alineados con el contexto científico y soberano único.
- Construir un modelo financiero para probar la recuperación de costos bajo diferentes escenarios de despliegue.
- Evaluar las consideraciones ambientales y las vías de cumplimiento.

- Considerar la integración de tecnologías SMART (*Science Monitoring and Reliable Telecommunications*).

El estudio adopta un horizonte operativo de 25 años (2034–2058), consistente con los ciclos de vida estándar de los activos de cables submarinos.

1.3 Contexto estratégico

El cable propuesto Chile–Antártica no es un emprendimiento comercial convencional de telecomunicaciones. A diferencia de los sistemas submarinos típicos que sirven a mercados densamente poblados, esta iniciativa está impulsada principalmente por consideraciones científicas, ambientales y geopolíticas.

El proyecto se sitúa en la intersección de:

- Avance científico, permitiendo la investigación intensiva en datos y la colaboración en tiempo real.
- Monitoreo climático y protección ambiental, incorporando potencialmente capacidades de sensores SMART.
- Presencia geopolítica, reforzando el papel de Chile como estado puente (*gateway state*).
- Cooperación multilateral, operando dentro del Sistema del Tratado Antártico.
- Desarrollo de infraestructura con financiamiento mixto (*blended finance*), combinando participación soberana, de bancos de desarrollo y privada.

En este contexto, el diseño de la gobernanza, la legitimidad multilateral y la resiliencia operativa a largo plazo son tan importantes como la factibilidad técnica.

1.4 Estructura del informe

Este Informe 1 presenta la primera fase integral del análisis de factibilidad y está estructurado de la siguiente manera:

- Diagnóstico de la situación actual de la conectividad digital: Demanda, oferta, asequibilidad e identificación de problemas.
- Factibilidad legal y administrativa: Análisis regulatorio nacional e internacional.
- Examen Inicial de Factibilidad Técnica: Diseño del sistema, escalamiento de capacidad, integración SMART y alcance ambiental.
- Estudio geopolítico y de gobernanza: Evaluación del modelo institucional y estructura recomendada de JV/SPV (*Joint Venture/Special Purpose Vehicle*).
- Análisis del modelo de negocio: Configuraciones de servicio de extremo a extremo y evaluación FODA.
- factibilidad financiera: Asignación de demanda, modelos de precios (IRU y arrendamientos), pronósticos de costos y mecanismos de recuperación.

Los informes posteriores refinarán la selección de la ruta a través de un estudio de escritorio (DTS), visitas a terreno, incorporarán los comentarios de los proveedores del proceso de RFI, profundizarán el análisis ambiental y validarán aún más los supuestos financieros.

2. Diagnóstico de la situación actual de la conectividad digital

2.1. Situación actual en la Antártica y definición del problema

El alcance geográfico del informe (el Área de Estudio) incluye lo siguiente:

1. Región de Magallanes y de la Antártica Chilena;
2. Isla Rey Jorge;
3. Islas Shetland del Sur occidentales;
4. Península Antártica occidental;
5. Península Antártica septentrional;
6. Costa oeste de la Antártica; y
7. Antártica continental entre los 53 grados oeste y los 90 grados oeste de longitud.

2.1.1. Región de Magallanes y de la Antártica Chilena

La Región de Magallanes se diferencia de los otros territorios (antárticos) ya que no representará una fuente significativa de demanda para la capacidad del cable en sí, sino que forma parte del ecosistema de infraestructura que soporta el servicio a los territorios antárticos. Punta Arenas destaca como el principal nodo de telecomunicaciones de la región, con una infraestructura consolidada gestionada por múltiples operadores, incluidos Entel, Telefónica, Claro, GTD y CTR.

Respecto a la infraestructura de fibra mayorista, es particularmente significativo el papel del Proyecto Troncal Submarina de la iniciativa denominada "Fibra Óptica Austral" (FOA) promovida por SUBTEL, operado por CTR bajo una concesión de 30 años otorgada en 2017. La red abarca más de 2.800 km, con 26 repetidores submarinos, cuatro estaciones de amarre principales (CLS) y dos derivaciones, conectando Puerto Montt, Caleta Tortel, Punta Arenas y Puerto Williams.

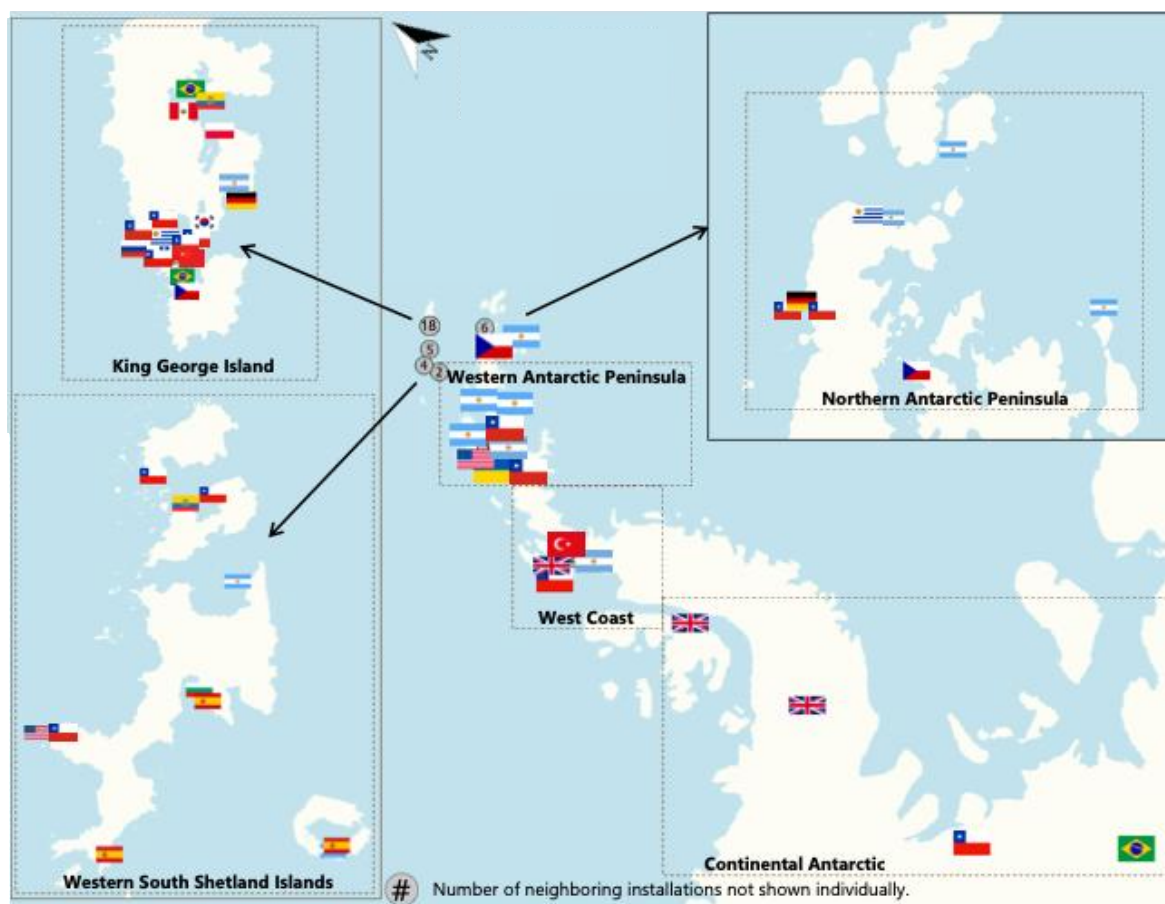
Otra ubicación clave en la Región de Magallanes es Puerto Williams, que ha servido como la puerta de enlace logística de Chile hacia la Antártica. Históricamente, las comunicaciones desde y hacia Puerto Williams han dependido de enlaces satelitales GEO, con ancho de banda limitado (1–50 Mbps) y latencias superiores a 500 ms. Con la llegada de FOA, la localidad ha transitado hacia servicios 4G/5G y FTTH (fibra hasta el hogar), permitiendo una conectividad a escala de gigabit y latencias regionales inferiores a 50 ms, es decir, niveles de velocidad, latencia y estabilidad comparables a los de Punta Arenas. Sin embargo, persiste el riesgo operativo debido a la dependencia de un único enlace físico, lo que resalta la necesidad de mecanismos de resiliencia adicionales (respaldo satelital, diversificación de rutas).

La evidencia técnica y comercial muestra que la Región de Magallanes posee una infraestructura de backhaul escalable, regulada y subutilizada, plenamente capaz de satisfacer tanto la demanda local como los requerimientos de tráfico antártico proyectados.

2.1.2. Los territorios antárticos

Existen 55 Estaciones de Investigación Científica, como se representa en el mapa a continuación.

Figura 1: Mapeo de instalaciones de Saliency



Fuente: Mapeo de instalaciones de Saliency basado en el catálogo SCAR/ATS/COMNAP

Nota: El círculo gris con un número muestra cuántas instalaciones están próximas entre sí y no pueden mostrarse por separado. No indica el número de instalaciones por región.

Los territorios evaluados albergan una diversa gama de instalaciones de investigación que varían en tamaño, períodos operativos y enfoque científico, concentrándose la mayoría en regiones costeras e islas para facilitar el acceso logístico. La Isla Rey Jorge es el área ocupada más densamente, con múltiples estaciones permanentes y estacionales operadas por Chile, Rusia, China y Corea del Sur, entre otros. Chile y Argentina operan, por mucho, la mayor cantidad de instalaciones en la región.

En el interior, grandes estaciones permanentes como la Estación del Polo Sur Amundsen-Scott (EE. UU.) y la Estación Concordia (Francia/Italia) operan continuamente en condiciones ambientales extremas, permitiendo investigaciones de vanguardia en astronomía, ciencias climáticas y perforación de núcleos de hielo. Estas instalaciones soportan poblaciones que superan las 200 personas en verano (en Amundsen-Scott) y dependen de generadores diésel de alta capacidad optimizados para una operación ininterrumpida en temperaturas bajo cero, con el uso de energía renovable limitado por restricciones ambientales. Aunque Amundsen-Scott y Concordia se encuentran fuera del Área de Estudio, se incluyen aquí para ilustrar los desafíos operativos únicos y los sistemas de energía de las grandes estaciones antárticas continentales.

Estaciones estacionales más pequeñas y campamentos de campaña se distribuyen en regiones como las Islas Shetland del Sur occidentales, la costa oeste de la Antártica, las Islas Orcadas del Sur e Isla Elefante. Estas instalaciones soportan principalmente campañas de investigación a corto plazo en monitoreo de vida silvestre, estudios de ecosistemas costeros y levantamientos glaciológicos. Normalmente son alimentadas por generadores diésel portátiles y tienen poblaciones altamente variables, alcanzando su punto máximo durante el verano austral, cuando el número de personal en todo el continente aumenta sustancialmente.

Esta mezcla heterogénea de instalaciones —que abarca desde centros multinacionales de gran tamaño hasta puestos temporales— ilustra la complejidad de planificar la infraestructura de conectividad en la Antártica. Las variaciones en tamaño, ocupación, generación de energía, acceso logístico y actividades son las consideraciones clave para cualquier solución de conectividad futura.

2.2. Análisis de la demanda

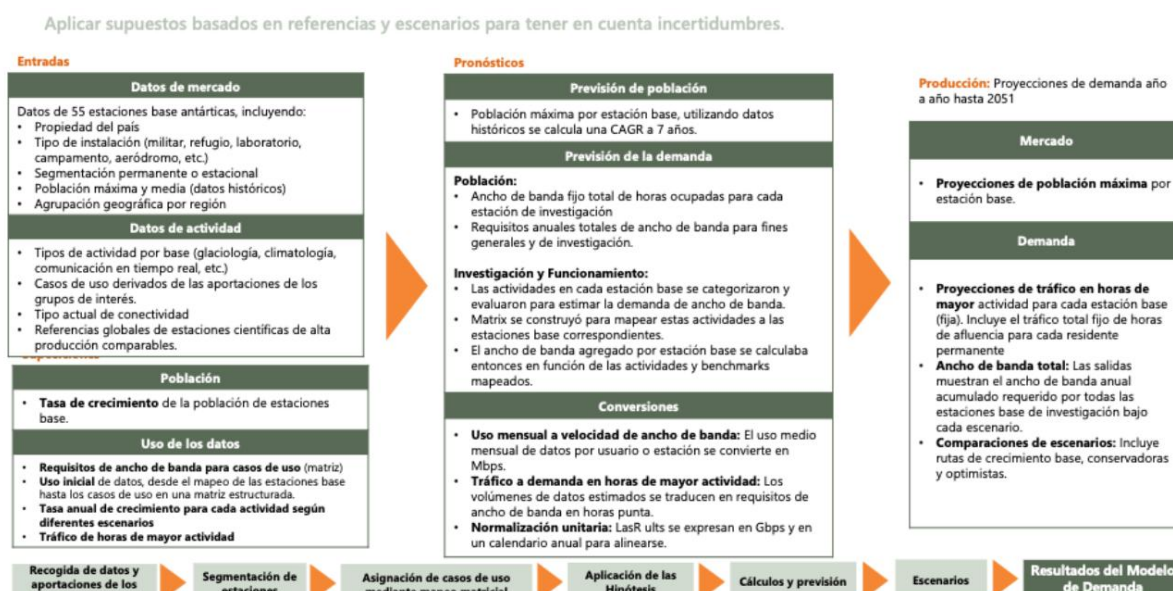
Se llevó a cabo un análisis de la demanda para estimar los requerimientos futuros de conectividad de banda ancha en las estaciones de investigación antárticas y actividades relacionadas. En particular, se realizó una evaluación de la demanda durante un período de 33 años para las 55 instalaciones y de las tecnologías de conectividad adecuadas para satisfacer estos requerimientos.

Las principales categorías de demanda analizadas incluyen:

- 1) Aplicaciones en las instalaciones, divididas en las subcategorías Científica y Logística, y
- 2) Uso de la población permanente para fines generales y de entretenimiento.

El gráfico siguiente resume el enfoque utilizado para pronosticar la población, el uso de datos y la demanda máxima de ancho de banda:

Figura 2: Descripción general de la metodología de demanda



Fuente: Análisis de Salience

Nuestro análisis utiliza el concepto de demanda nocional. Actualmente, la demanda en la Antártica está restringida por la oferta, limitada por la tecnología satelital disponible en la región. Si se dispusiera en

la Antártica de una infraestructura de mayor capacidad a un precio razonable, es probable que viéramos una evolución de la demanda muy diferente a si la conectividad satelital siguiera siendo la única solución. Si bien se espera que las nuevas tecnologías satelitales, como los sistemas geoestacionarios de alto rendimiento y las constelaciones de órbita terrestre baja (por ejemplo, Starlink y OneWeb), proporcionen mejoras incrementales en las características del servicio y los precios, siguen siendo insuficientes para satisfacer la demanda proyectada a largo plazo de las bases de investigación antárticas. En particular, sus limitaciones inherentes en capacidad agregada y costo por bit, sumadas a las exigencias de las actividades científicas intensivas en datos, significan que la infraestructura de cable submarino seguiría siendo necesaria para capturar plenamente la demanda nocial.

Además, la demanda en la Antártica es única, ya que está impulsada por las necesidades de un conjunto particular de comunidades que persiguen una amplia variedad de intereses científicos. Esto hace que las proyecciones de demanda sean inusualmente especulativas, ya que es poco probable que el crecimiento siga una trayectoria genérica equivalente a la de una base de clientes amplia. Evaluaciones previas del Consejo de Administradores de Programas Antárticos Nacionales (COMNAP) y del Comité Científico de Investigación Antártica (SCAR) han enfatizado que la mayor parte de la demanda de ancho de banda está vinculada a productos científicos, incluyendo el modelamiento climático, la descarga de datos satelitales y la detección remota de alta resolución. Sin embargo, la medida en que esta demanda pueda materializarse puede depender de las restricciones presupuestarias de los programas antárticos nacionales, los cuales están sujetos a asignaciones gubernamentales y ciclos de financiamiento de investigación plurianuales. Como resultado, si bien la demanda nocial proporciona una visión de los requerimientos sin restricciones, la adopción real podría verse moderada en la práctica si los presupuestos de los programas no pueden sustentar las inversiones complementarias necesarias para aprovechar la nueva infraestructura.

Se desarrollaron tres escenarios de demanda para reflejar las consideraciones anteriores. En el **Escenario Base**, la demanda nocial refleja lo que probablemente observaríamos si la demanda no estuviera restringida por las limitaciones impuestas por la tecnología satelital y su estructura de precios. Esto implica que las comunidades logística y científica realizarían gradualmente, con el tiempo, inversiones complementarias en instalaciones que les permitirían capturar los beneficios de las mejoras adicionales en velocidad y latencia proporcionadas por la conectividad de cable submarino. Si bien las ganancias de latencia de los cables submarinos son relativamente menores en términos absolutos, son críticas cuando se comparan con los altos retrasos característicos de los sistemas satelitales, permitiendo aplicaciones científicas sensibles al tiempo y colaboración interactiva. Estas inversiones acercarían las operaciones de investigación antártica al tipo de tasas de crecimiento históricamente asociadas con la actividad científica en entornos "sin restricciones".

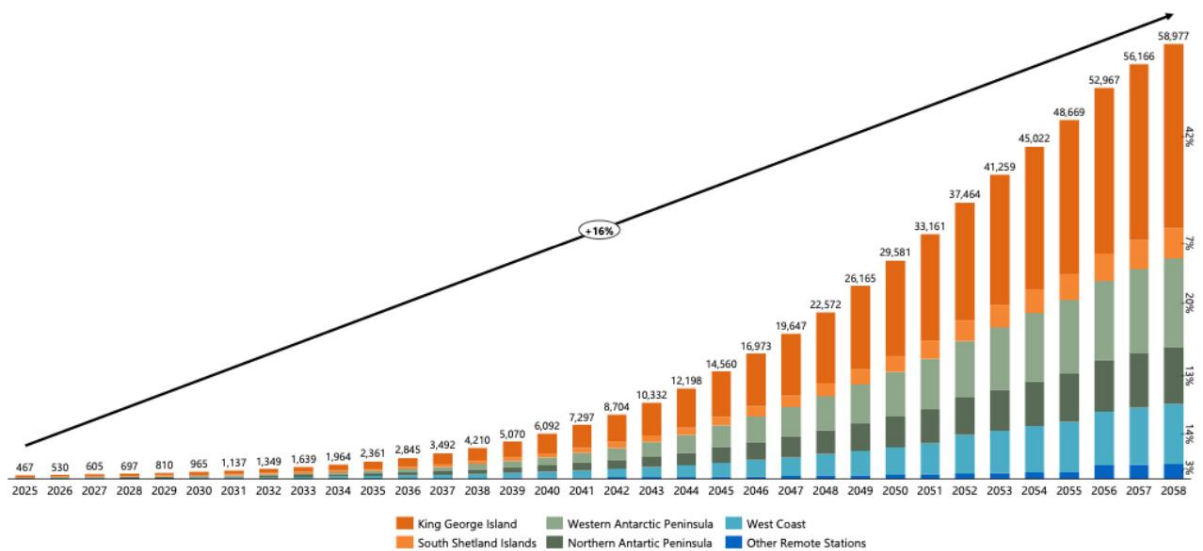
En el **Escenario Optimista**, la introducción del cable submarino es más transformadora, ya que sigue las tasas de crecimiento de la actividad científica avanzada, facilitada por una inversión complementaria más agresiva en instalaciones científicas —actualmente asociada a contextos de conectividad sin restricciones—, que también prevé el despliegue de tecnologías de vanguardia adicionales que permitan la actividad automatizada y no tripulada, así como la manipulación remota de objetos, de las cuales el desafiante entorno de la Antártica podría beneficiarse desproporcionadamente.

Finalmente, existe el **Escenario Conservador**, que asume tasas de crecimiento asociadas con el uso actual de conectividad satelital y se alinea con las tasas de crecimiento presupuestario representativas e históricas de los programas. Utilizamos el promedio de los últimos años de los programas polares de

Chile, EE. UU. y el Reino Unido como una tasa de crecimiento presupuestario representativa. Esta sería una tasa de crecimiento asociada con las condiciones de oferta actuales.

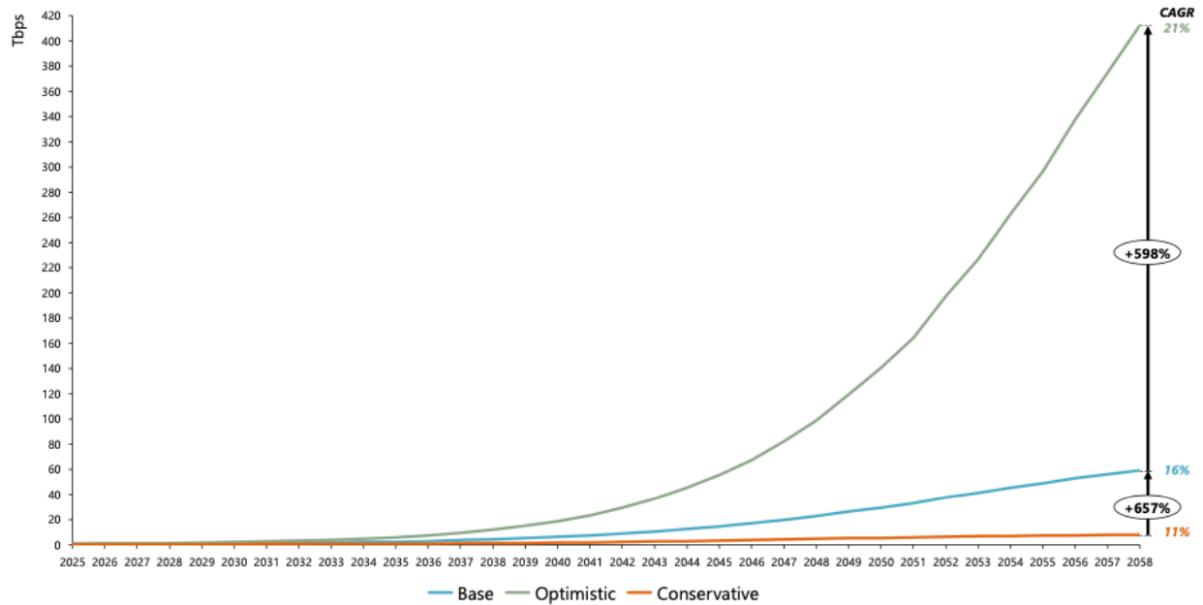
Los resultados del análisis de demanda para el Escenario Base indican que, en general, se espera que la demanda máxima de ancho de banda para las necesidades de la población y las relacionadas con la investigación/operaciones crezca a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 16% en todos los territorios analizados. Se pronostica que la Isla Rey Jorge requerirá el 42% del ancho de banda total, seguida por la Península Antártica Occidental (20%) y la Costa Oeste (14%) en 2058.

Figura 3: Demanda máxima de ancho de banda (Población, Investigación y Operaciones), (en Gbps) – Escenario Base



Fuente: Análisis de Salience

Figura 4: Escenarios de pronóstico de demanda máxima de ancho de banda (en Gbps)



El informe también consideró la demanda de datos y servicios asociados con las tecnologías de monitoreo, como la Detección Acústica Distribuida (DAS), utilizada para detectar vibraciones (actividad sísmica, perturbaciones del cable), la Detección de Temperatura Distribuida (DTS) utilizada para monitorear cambios de temperatura a lo largo del cable, así como otros sensores ambientales integrados. Estas tecnologías, sin embargo, no se considera que impacten significativamente los requerimientos de capacidad global del cable en términos de número de pares de fibras o ancho de banda.

2.3. Análisis de la oferta

El análisis de la oferta del informe proporcionó una visión general de las tecnologías de conectividad de banda ancha actuales y futuras para los territorios dentro del Área de Estudio. La conectividad actual en las estaciones antárticas típicamente oscila entre menos de 100 Mbps y 200 Mbps por base, con una latencia que —en algunos casos— supera los ~600 ms, en comparación con la conectividad en investigaciones similares en entornos científicos típicos (por ejemplo, en Chile continental u observatorios europeos) donde el ancho de banda supera 1 Gbps y la latencia es inferior a 50 ms. Estos indicadores sugieren la persistencia de una brecha de conectividad cuantitativa y cualitativa que limita directamente la productividad científica.

En teoría, una conectividad confiable en la Antártica podría ser proporcionada por diversas tecnologías, cada una con distintas ventajas y limitaciones determinadas por el entorno extremo del continente. Es importante señalar que la única opción de conectividad que actualmente sirve a los territorios analizados es la satelital (GEO y LEO).

A primera vista, el crecimiento proyectado de la capacidad satelital LEO parece suficiente para satisfacer la demanda estimada de la Antártica, que se espera alcance alrededor de 575 Gbps para 2030. Los pronósticos de la industria indican que la capacidad global total de LEO podría superar los 2.000 Gbps para 2030^{1,2}. Sin embargo, esta cifra refleja la capacidad agregada del sistema en todas las regiones, no el ancho de banda dedicado específicamente a la Antártica. Dado que estas constelaciones están diseñadas para servir a diversos mercados, incluidos usuarios residenciales, comerciales y gubernamentales en áreas más densamente pobladas de la región, como América del Sur, es probable que solo una fracción limitada de la capacidad total se dirija a las estaciones de investigación antárticas.

La naturaleza no dedicada de los recursos satelitales y sus desafíos operativos en las regiones polares significan que es poco probable que los satélites por sí solos aseguren la red troncal (backbone) robusta necesaria para las operaciones científicas a largo plazo. Esto es particularmente claro al considerar los escenarios de demanda descritos anteriormente, en los cuales la actividad científica ya no está restringida por las características de la oferta satelital. Una conexión de cable submarino dedicada será probablemente esencial para afianzar una conectividad preparada para el futuro de la investigación antártica.

¹ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/viasat-3.htm

² [Starlink targets 2026 for terabit satellites for launch with Starship - DCD](#)

2.4. Asequibilidad

La demanda no puede evaluarse sin considerar los precios. Para determinar si la recuperación de costos requerida para la capacidad en el cable submarino se encuentra dentro de los niveles probables de disposición a pagar o de los presupuestos de los programas nacionales antárticos, el estudio empleó un enfoque iterativo para definir lo que las partes interesadas podrían estar dispuestas a pagar por el servicio, comparando el Costo Total de Propiedad (TCO) de la conectividad satelital con precios definidos de capacidad de cable submarino. Realizar esta comparación requiere supuestos sobre las tendencias en los precios satelitales y los avances tecnológicos, así como estimaciones del costo de despliegue y operación de diversas configuraciones para un cable submarino, como se muestra en el gráfico a continuación:

Figura 5: Enfoque de evaluación de precios para la conectividad antártica



Fuente: Análisis de Salience

Los pronósticos del TCO de la conectividad satelital consideran los costos de suscripción, los costos de terminal e instalación, los ciclos de reemplazo de terminales y la O&M (operación y mantenimiento). El análisis del TCO para la conectividad satelital examinó los requerimientos probables por instalación durante el período de 25 años bajo los tres escenarios de demanda descritos anteriormente.

Aunque el gasto actual es menor hoy de lo que se requeriría para el servicio de cable submarino, la disposición a pagar por el cable queda demostrada para la mayoría de las instalaciones permanentes por los hechos de que: 1) el nivel actual de servicio satelital no satisfará plenamente sus necesidades (incluso bajo el Escenario Conservador) y 2) un cable submarino permitirá mucha más actividad.

2.5. El problema identificado

El problema que aborda este Proyecto es que la comunidad de investigación antártica experimenta una conectividad inadecuada para sustentar sus actividades científicas, logísticas y operativas. Esta condición afecta negativamente la capacidad de los investigadores e instituciones que operan en la Antártica para generar, transmitir y compartir datos a niveles comparables con los de instalaciones científicas similares en otros entornos. El problema es tanto de capacidad insuficiente —ya que el ancho de banda disponible no basta para satisfacer la demanda actual y proyectada a un costo razonable— como de mala calidad, dado que los servicios satelitales existentes implican una alta latencia y un rendimiento (*throughput*) limitado que no satisfacen los requerimientos científicos. Las entrevistas y el análisis comparativo del uso de datos en instalaciones científicas permitieron identificar los efectos y las causas de este problema.

Los hallazgos de los análisis de demanda, oferta y TCO indican la necesidad de una solución de alto rendimiento a un precio asequible. La conclusión inicial es que un cable submarino proporcionaría capacidad suficiente para satisfacer la demanda impulsada mayoritariamente por las instalaciones científicas y de investigación en los territorios en alcance. También resolvería otras limitaciones de la conectividad satelital y probablemente sería más asequible a largo plazo, según lo revelado en el estudio de TCO.

Asimismo, destacamos que las soluciones tecnológicas existentes de DAS, DTS y las emergentes enfatizan el papel potencial de los cables submarinos SMART (*Science Monitoring and Reliable Telecommunications*). Para la Antártica, un cable submarino con capacidad SMART podría abordar no solo el déficit de ancho de banda, sino también generar conjuntos de datos científicos únicos en una de las regiones menos observadas del planeta.

3. Factibilidad legal y administrativa

3.1. Análisis legal y regulatorio

Existen diversas obligaciones legales y regulatorias que deben cumplirse para desplegar y operar un sistema de cable submarino. El informe identifica los requisitos legales y regulatorios que se aplicarán al proyecto y realiza una evaluación exhaustiva de su probable impacto en términos de costo, esfuerzo y tiempo requerido, para ayudar a determinar si la construcción y operación del proyecto son factibles.

El marco legal y regulatorio para el proyecto puede dividirse en dos categorías amplias: (i) requisitos derivados de la legislación chilena, y (ii) aquellos que surgen del Sistema del Tratado Antártico ("**STA**"). Los requisitos de la primera categoría se extienden más allá de las fronteras de Chile, ya que la legislación chilena incluye compromisos internacionales que impactarán el Proyecto. Como resultado, el marco legal y regulatorio en lo que respecta a Chile puede subdividirse a su vez en (a) requisitos internacionales y (b) requisitos nacionales.

Existen varios tratados internacionales que pueden aplicarse al Proyecto, incluyendo la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar ("**CONVEMAR**"), el Tratado sobre la Biodiversidad más allá de la Jurisdicción Nacional ("**BBNJ**", por sus siglas en inglés) y el Tratado Antártico. Es probable que los impactos más significativos para el Proyecto se encuentren en los requisitos de evaluación de impacto ambiental ("**EIA**") bajo el Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente, también conocido como Protocolo de Madrid.

Existe una extensa lista de requisitos legales y regulatorios chilenos que deberán cumplirse, incluyendo las EIA requeridas bajo el Protocolo Ambiental (el cual está incorporado en la legislación nacional chilena a través del Estatuto Antártico Chileno, Ley N° 21.255), así como la Ley N° 19.300, Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Además de las EIA, se requieren permisos para actividades marinas, incluyendo la autorización de naves y concesiones marítimas, y permisos terrestres para asuntos tales como la construcción de la estación de amarre del cable ("**CLS**", por sus siglas en inglés). Ninguno de estos permisos debería impedir que el proyecto avance, aunque requerirán distintos niveles de esfuerzo para su cumplimiento.

El STA también impone varios requisitos al Proyecto. Estos incluyen obligaciones para prevenir la contaminación, requisitos para operar en áreas marinas protegidas y restricciones sobre actividades que impacten la vida marina. Es probable que el requisito más significativo derivado del STA sea la EIA mencionada anteriormente. El nivel de EIA requerido depende de los impactos previstos de las actividades asociadas al Proyecto; si es probable que dichos impactos sean menores que escasos o transitorios, la actividad puede proceder; si es probable que no sean más que menores o transitorios, la actividad debe ser precedida por una Evaluación Ambiental Inicial ("**IEE**", por sus siglas en inglés); y si los impactos previstos pueden ser más que menores o transitorios, se requiere una Evaluación Ambiental Integral ("**CEE**", por sus siglas en inglés).

Si bien el marco legal impone obligaciones y requerirá un trabajo bastante extenso para asegurar su cumplimiento, no debería impedir las actividades contempladas por el Proyecto. El compromiso proactivo con las agencias regulatorias, particularmente durante la fase de diseño conceptual, será esencial para identificar posibles desafíos de cumplimiento antes de que se manifiesten como retrasos en el Proyecto. Se debe prestar especial atención a la intersección de la Ley General de

Telecomunicaciones chilena con el Sistema del Tratado Antártico, ya que esto representa un dominio regulatorio novedoso con precedentes limitados.

3.2. Permisos y autorizaciones

Diferentes requisitos de permisos aplicarán a las distintas actividades del Proyecto derivados de las diversas leyes y reglamentaciones descritas en la sección anterior. Estos permisos y los procesos para solicitarlos no se prevé que impidan que el proyecto siga adelante.

La recientemente aprobada Ley Marco de Autorizaciones Sectoriales contempla la estandarización y modernización del sistema para la obtención de permisos sectoriales, y está diseñada para reducir el tiempo requerido para obtener estos permisos y dar más transparencia y predictibilidad al proceso de otorgamiento. Aunque la Ley Marco no aplica a todos los permisos requeridos, debería mejorar el proceso general de permisos del proyecto.

3.3. Modelos de APP y consorcios de países

El Informe también analiza el marco legal que aplica a las asociaciones público-privadas (APP), tanto a nivel nacional en Chile como dentro del STA, señalando que existe una flexibilidad considerable dentro de ese marco para implementar un modelo de APP que mejor sirva a las necesidades del Proyecto. El Informe analiza los diferentes tipos de entidades que las partes podrían utilizar para su participación en cinco modelos potenciales de APP, incluyendo sociedades anónimas, asociaciones o alguna combinación de esas entidades (una empresa conjunta o joint venture, consorcio, etc.) El Informe procede a explorar los méritos relativos de cada una en términos de satisfacer los probables requisitos de la APP. Si bien los diferentes tipos de entidades tienen distintas fortalezas y debilidades, en términos generales, las sociedades y los consorcios son muy adecuados para cumplir con los requisitos identificados, y parece probable que se utilice una sociedad o un consorcio de algún tipo (que podría incluir una empresa conjunta compuesta por una o más sociedades). Sin embargo, la recomendación final de la entidad apropiada deberá realizarse una vez que se haya finalizado el modelo de APP correspondiente.

4. Examen inicial de factibilidad técnica

4.1. Solución óptima

Existen diversas acciones correctivas que pueden implementarse para mejorar los actuales desafíos de conectividad en la Antártica. Hemos considerado una "situación base optimizada", en la que se abordan cinco áreas generales para reducir costos o mejorar el servicio y la confiabilidad. Hemos agrupado estas áreas en cinco categorías amplias: 1) adquisiciones; 2) resiliencia física; 3) arquitectura de red; 4) ingeniería de tráfico; y 5) operaciones y logística.

Tras considerar estos esfuerzos, concluimos que serían inadecuados para resolver el problema identificado. Una red de fibra óptica es actualmente la única tecnología disponible capaz de transportar los volúmenes suficientemente altos de tráfico de datos estimados en el análisis de demanda. Los cables poseen un historial confiable de instalación y reparación, y no presentan interacciones de espectro. Por lo tanto, el sistema de cable submarino es la tecnología preferida para el proyecto propuesto.

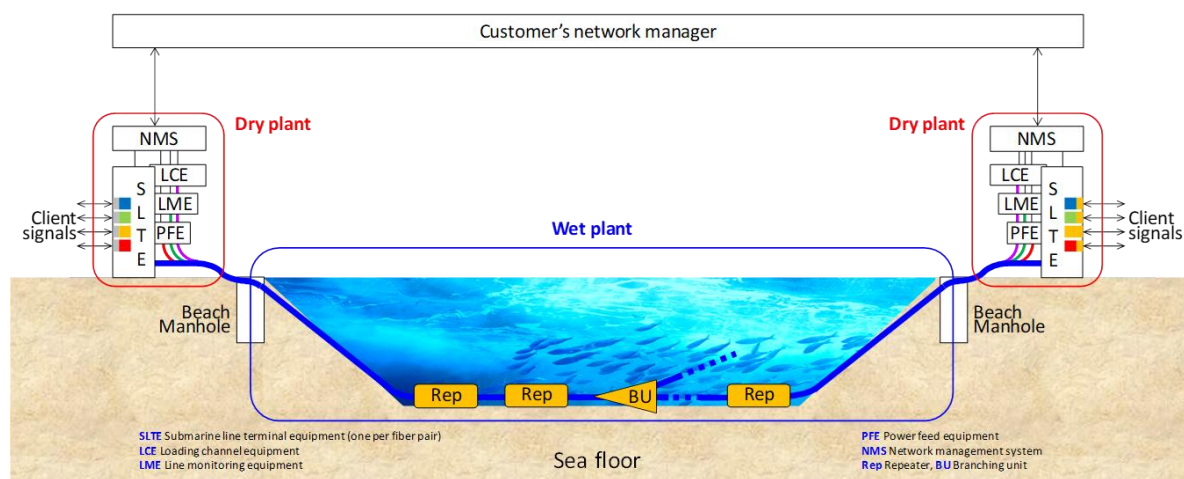
Para ejemplificar la trayectoria de esta tecnología, los sistemas de cables submarinos han evolucionado durante 160 años. Los cables submarinos permiten el Internet de hoy gracias a la fibra óptica y los amplificadores ópticos, a pesar de dos desafíos serios en los últimos 100 años:

1. En la década de 1920, las radiocomunicaciones desafiaron a los cables submarinos, los cuales podrían haber desaparecido en 1930.
2. En la década de 1980, los cables submarinos fueron desafiados por los satélites, y podrían haber desaparecido en 1990.
3. En 2026, los cables submarinos transportan más del 99% del tráfico de Internet intercontinental. Por su parte, los satélites siguen siendo adecuados para la distribución de televisión y la comunicación en ubicaciones remotas. Cabe destacar que islas remotas con apenas 1.000 habitantes están cambiando ahora de comunicación satelital a fibra óptica, conectándose al resto del mundo mediante un sistema de cable submarino. Actualmente, el advenimiento de los satélites de órbita terrestre baja (LEO) desafía este dominio en ciertas aplicaciones.

El informe presenta los elementos básicos de un sistema de cable submarino, como se muestra en la figura siguiente, incluyendo su arquitectura, componentes significativos, fuentes de alimentación y el software que los controla.

Aunque el gasto actual es menor hoy de lo que se requeriría para el servicio de cable submarino, la disposición a pagar por el cable queda demostrada para la mayoría de las instalaciones permanentes por los hechos de que: 1) el nivel actual de servicio satelital no satisfará plenamente sus necesidades (incluso bajo el Escenario Conservador) y 2) un cable submarino permitirá mucha más actividad.

Figura 6: Principales componentes de un sistema de cable submarino en diseño tradicional



Fuente: Pioneer Consulting

La tecnología de fibra óptica submarina, como principal habilitador propuesto para mejorar la conectividad digital en la Antártica, está bien establecida a nivel mundial y cuenta con un historial probado conectando comunidades en las ubicaciones más remotas del mundo. La Antártica presenta un desafío considerable para la instalación y operación de tales sistemas, pero se ha aprendido mucho de los despliegues de sistemas de cables en el Ártico, lo que sin duda informará la implementación de un sistema de cable antártico.

4.2. Dimensionamiento del Proyecto – Suministro de capacidad

La escala de este Proyecto se determina principalmente por el número y la ubicación de los puntos de amarre (*landings*). La capacidad del cable estará determinada por el número de pares de fibra con los que se equipe el cable. Entre un par de fibras y el máximo disponible en el mercado (16 a 32, según el proveedor), el costo y la complejidad del Proyecto no aumentan significativamente. Por lo tanto, la demanda de capacidad no es un factor determinante del costo y la complejidad del cable.

La tecnología inherente a los cables de fibra óptica submarinos pondrá a disposición de las bases antárticas a las que sirve una vasta cantidad de capacidad.

La escala del proyecto de cable submarino puede cuantificarse o evaluarse en función de cuatro factores técnicos principales (es decir, distintos de los factores sociales, geopolíticos y otros): costo, capacidad, riesgo de finalización y disponibilidad de proveedores calificados:

- **Costo:** El costo del Proyecto estará determinado principalmente por el número y la ubicación de los amarres. Aunque esto también es válido para sistemas no antárticos, el costo, la planificación y la logística requeridos para amarrar un cable en la Antártica superarán incluso los enormes costos de cables en sistemas de aguas cálidas con ubicaciones de amarre más ventajosas. El costo de amarrar un solo cable incluye factores como:
 - posible zanjado del lecho marino para proteger el cable, el cual avanza a solo unos cientos de metros por hora,
 - la necesidad de una perforación horizontal dirigida (entre US\$1M y US\$3M sin contar el transporte de la maquinaria especializada a la Antártica),
 - obras civiles especializadas adecuadas para proteger el cable de fibra óptica y resguardar de forma segura el alto voltaje presente en el cable, y

- la construcción de una estación de amarre de cable (CLS) o la modificación de otra estructura adecuada.
- Además de los costos de los amarres, el cable y su instalación representan la mayor parte del CAPEX. Apoyando la conjetura de que el número de amarres domina el costo del Proyecto está el hecho de que, en términos muy generales, esperamos que el costo de un solo amarre en la Antártica sea equivalente a unos 1.000 a 1.500 kilómetros de cable.
- **Capacidad:** La capacidad del cable es otra métrica útil para medir su escala. Sin embargo, la demanda de capacidad en la Antártica es pequeña en comparación con la de los cables transoceánicos actuales, que soportan más de 500 Terabits por segundo.

La Capacidad Final de este proyecto (es decir, el tráfico que puede transportarse en un sistema DWDM totalmente iluminado con el equipo de transmisión terminal apropiado) estará determinada por el número de pares de fibras que soporte el cable. Cada par de fibras será capaz de soportar entre 20 y 30 Tbits/segundo.

Cada par de fibras puede escalar desde cero hasta su Capacidad Final. Esto se denomina Capacidad Iluminada (*Lit Capacity*). El día del despliegue, la Capacidad Iluminada de un sistema o par de fibras suele ser solo un pequeño porcentaje de la Capacidad Final. La diferencia entre la Capacidad Iluminada y la Capacidad Final está disponible durante la vida útil del proyecto para acomodar el crecimiento de la demanda. El requerimiento de actualización para aumentar la Demanda Iluminada se satisface mediante adiciones simples al equipo terminal. Este es un proceso estándar de la industria, y el equipo terminal (disponible de proveedores como Ciena, Huawei Technologies y Nokia) está diseñado para este crecimiento. Con el equipamiento actualmente disponible, el costo de actualización para un par de fibras suele ser inferior a US\$50.000 por cada 100 Gbit/segundo.

El número de pares de fibras puede seleccionarse fácilmente al momento de contratar el sistema para satisfacer las proyecciones de demanda, cumplir con las restricciones presupuestarias o ajustarse para dar cabida a años o décadas adicionales de crecimiento de capacidad proyectado. Sin embargo, entre un solo par de fibras y el máximo disponible en el mercado, el costo y la complejidad del proyecto no aumentan significativamente. Por lo tanto, la demanda de capacidad no es un factor determinante del precio y la complejidad del cable.

- **Riesgo de finalización:** Otra medida de la escala del Proyecto es el riesgo de que no se complete (debido a factores distintos de los económicos o políticos). Dado que un objetivo principal de este estudio de factibilidad es examinar este riesgo, la discusión completa sobre el riesgo se presentará en el Informe Final. En esta etapa, sin embargo, se han identificado tres riesgos significativos: la instalación en alta mar en el Paso de Drake, el impacto del hielo (incluyendo hielo marino, crestas de presión y quillas de icebergs) y la necesidad de identificar la tecnología de amarre adecuada para cada base. Una evaluación preliminar indica que los riesgos de finalización pueden mitigarse mediante una ingeniería y un presupuesto adecuados. El riesgo de daños por hielo no afectará el riesgo de finalización, sino que impactará principalmente los costos de mantenimiento a través de la necesidad de reparaciones.
- **Disponibilidad de proveedores calificados:** Al contemplar la escala del Proyecto, es importante examinar si este es demasiado grande o complejo como para imposibilitar su contratación exitosa. Si bien se ha iniciado un proceso de RFI (Solicitud de Información) con proveedores llave en mano que revelará la respuesta a esta interrogante, este informe observa que la escala de este cable antártico es menor que la del cable existente de 16.000 kilómetros que cruza el Pacífico

requiriendo más de 2.000 km de soterramiento (lo cual fue logrado por el sistema de cable Echo), o la de uno con más de 100 km de corte en roca para proteger un cable en el norte de Australia (al norte de Darwin), o el soterramiento de cables a 10 metros bajo el lecho marino (utilizando un inyector vertical como el fabricado por Miah Trenchers (miahtrenchers.com)).

4.3. Venatajas y desventajas técnicas

Claramente, las ventajas de nuevas instalaciones de comunicaciones para la región antártica son muchas, con pocas desventajas identificables. El beneficio para nuevos descubrimientos científicos, la mejora de las interacciones humanas y los numerosos impactos positivos en el monitoreo y protección ambiental son considerables.

Las 55 bases en el alcance de este estudio dependen de dos mecanismos para la transferencia de datos entre la Antártica y el resto del mundo: satélite y el transporte humano de dispositivos de memoria física. Este es el *statu quo*.

Esta situación limita la ciencia que se puede realizar y hace que vivir en la Antártica sea pesado debido al aislamiento social.

Sin una conexión de fibra con el resto del mundo, las bases en la Antártica están limitadas a los servicios que los sistemas satelitales pueden proporcionar. Aunque estos sistemas, particularmente los sistemas LEO, están desarrollando sus capacidades rápidamente, los sistemas satelitales desplegados siempre enfrentarán limitaciones o sensibilidades debido a la geopolítica, la estabilidad de la red, los precios, el comportamiento monopólico, la latencia y el ancho de banda limitado.

Alternativamente, una conexión al resto del planeta facilitaría:

- **Nueva ciencia:** Las conexiones de fibra permitirán a los científicos visualizar, planificar e implementar vías de investigación científica completamente nuevas en la Antártica. Estas nuevas vías de investigación implican un mayor monitoreo (por ejemplo: sísmico, biológico, astronómico, ambiental) de una amplia variedad de parámetros, utilizando un mayor número de sensores y permitiendo el monitoreo en tiempo real.
- **Descargas satelitales:** Las conexiones de fibra entre la Antártica y el continente eliminarían un cuello de botella actual en la capacidad de los operadores de satélites con órbita polar (por ejemplo: GARS) para descargar grandes conjuntos de datos.
- **Interacción humana:** Las conexiones de fibra permitirían una interacción mucho mayor entre los residentes de las bases conectadas y el resto del mundo. La interacción entre los residentes de las bases conectadas ayudará a cerrar la distancia que separa a los científicos de sus familias, lo cual puede actuar como una barrera para algunos que encuentran este aislamiento poco atractivo. Esto permitirá una comunidad de científicos más diversa, más comprometida, satisfecha y feliz. Además, una mayor interacción entre los científicos, sus colegas y el público en general mejorará la calidad de la ciencia y ampliará el alcance de los programas de difusión con fines educativos.
- **Impacto ambiental:** La conexión de fibra a la Antártica reducirá el impacto ambiental al permitir una mayor cantidad de operación remota por parte de operadores calificados en todo el mundo, requiriendo una reducción de personal en el sitio. Se espera que esto reduzca las emisiones de carbono de los científicos que vuelan a la Antártica y disminuya los requerimientos de dotación de personal en la región polar.

4.4. Tecnología de SMART Cable

Los cables submarinos, en general, y el cable antártico propuesto, en particular, pueden hacer más que proporcionar un canal de telecomunicaciones para conectar las bases en la Antártica. El cable mismo puede ser diseñado para incluir instrumentación científica y las fibras ópticas en su interior pueden utilizarse para detectar propiedades físicas del océano circundante.

Aunque ya se han desplegado cables submarinos dedicados para fines científicos (por ejemplo, NEPTUNE, MARS) y de alerta de tsunamis (destacando el caso de Japón, que ha gastado más de US\$1.000 millones durante 15 años para 6.000 a 7.000 km de redes de sensores submarinos³), actualmente parece factible considerar que los cables de telecomunicaciones puedan proporcionar capacidades de detección adicionales.

En este estudio se están investigando dos enfoques físicos diferentes para realizar mediciones basadas en cables de telecomunicaciones submarinos:

- Adición de sensores dedicados al cable de telecomunicaciones, y
- Uso de las propiedades inherentes del cable de telecomunicaciones para realizar mediciones con, por ejemplo, detección acústica distribuida (DAS) y detección de variaciones de polarización y/o fase de las señales recibidas.

La incorporación de sensores en un cable de telecomunicaciones parece haber sido propuesta por primera vez en un artículo de opinión de Yuzhu You, del Instituto de Ciencias Marinas de la Universidad de Sydney, Australia, en un documento en la revista Nature en 2010 (You, Y, 2010). El concepto fue adoptado en 2012 por un Grupo de Trabajo Conjunto (JTF), promovido por tres agencias de las Naciones Unidas: la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la Organización Meteorológica Mundial y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO (SMARTCables)⁴.

4.5. Servicio de Conectividad Digital del Proyecto

Se han propuesto varias opciones de ruta que se refinarán en un proceso de optimización continua en una etapa posterior de este estudio, incluyendo el estudio de escritorio (*Desktop Study*, DTS) más definitivo en el Informe Final, el cual presentará la recomendación final del diseño del cable submarino.

Este Informe comienza a examinar una gama de conectividad de sistemas submarinos (ver Figura 9), que va desde la conexión del continente sudamericano con las tres bases permanentes chilenas más cercanas: Frei, Prat y O'Higgins, hasta diseños más amplios que conecten bases permanentes chilenas y no chilenas a lo largo de la costa de la Península Antártica mediante unidades de derivación (*branching units*). El diseño permitiría la construcción de una primera fase del cable, posibilitando que otros países se unan al proyecto más adelante, evitando así retrasos en la construcción debido a una adhesión incompleta en las etapas iniciales.

El servicio proporcionado por el Cable Antártico propuesto se analiza en el contexto de la jerarquía ISO OSI. Los servicios propuestos se centran en proporcionar un servicio mayorista que consiste en canales estáticos de 10 Gbit/s y 100 Gbit/s entre los puntos de amarre antárticos y el punto de amarre en Chile

³ Entrevista con el Dr. Bruce Howe, University of Hawaii, 17 de septiembre de 2025

⁴ <https://www.smartcables.org/jtf>

Continental. Estos servicios proporcionan un flujo de datos simétrico y bidireccional utilizando los mismos protocolos que sustentan casi toda la transmisión de datos de larga distancia del mundo.

Las fases siguientes de este estudio examinarán el papel que la protección puede desempeñar para mejorar la robustez del sistema frente a daños externos. Esto, por supuesto, aumentará el costo y la complejidad del sistema.

4.6. Preparación del RFI

Este Informe 1 contiene una descripción del proceso de RFI, que se prevé como parte del proceso de la adquisición general del Proyecto.

El Estudio procederá con la generación, emisión y vinculación con potenciales proveedores del sistema de cable submarino. De lo anterior:

1. En el Informe 1, se presenta una descripción metodológica del RFI, explicando su propósito, alcance, criterios de diseño y proceso de consulta al mercado, y se registra cómo se implementará este instrumento en las etapas posteriores.
2. El paquete de información del RFI será aprobado por SUBTEL antes de su circulación, asegurando así la consistencia técnica e institucional del proceso.
3. En el Informe 3, se incluirán los resultados obtenidos de las respuestas de los proveedores de sistemas submarinos, junto con un análisis de estos materiales.

4.7. Análisis de impacto ambiental

Un informe publicado el 10 de abril de 2025 por el PNUMA-WCMC (*UNEP-WCMC*) proporciona una revisión de las presiones ambientales y los impactos potenciales asociados con los cables submarinos. En general, el análisis del informe encontró que los cables submarinos tienen una huella relativamente pequeña en el medio marino. El informe del PNUMA-WCMC también determinó que las presiones potenciales y los impactos resultantes de las actividades de cableado sobre la biodiversidad marina son generalmente mínimos, aunque varían espacialmente y a lo largo del ciclo de vida del cable. La intensidad de la presión ambiental es mayor durante la instalación en aguas poco profundas, ya que los cables a menudo deben enterrarse a estas profundidades para su protección.

Esta sección del estudio de factibilidad técnica sirve como precursor del Análisis de Impacto Ambiental preliminar (pre-EIA) que se llevará a cabo después del DTS (Informe 3) y una vez que se finalice la ruta post-DTS. Nuestro enfoque para esta primera etapa de evaluación ambiental fue considerar, a un nivel general, qué temas regulatorios incluir o excluir del alcance (*scope in/out*).

Como resultado de esta actividad, los siguientes temas se incluyeron dentro del alcance de la evaluación:

1. Régimen de transporte de sedimentos
2. Calidad del agua y de los sedimentos
3. Mamíferos marinos
4. Ornitología
5. Ecología de peces
6. Ecología bentónica
7. Áreas Marinas Protegidas (AMP) y sitios de interés designados
8. Pesca comercial

9. Acuicultura
10. Navegación y transporte marítimo
11. Comunidades indígenas
12. Arqueología y patrimonio cultural
13. Explotación minera
14. Terrestre: residuos, polvo, ruido y alteración del suelo
15. Terrestre: impactos visuales
16. Terrestre: aviación, militar y radar

Los siguientes temas se excluyeron de evaluaciones posteriores, cuyas explicaciones se proporcionan en las secciones pertinentes de este Informe:

1. Accidentes y desastres importantes
2. Salud humana
3. Socioeconomía
4. Cambio climático⁵

La evaluación ambiental, incluyendo la consulta a las partes interesadas, es un proceso iterativo que continuará a lo largo de las diversas etapas de este Estudio de Factibilidad. Este proceso continuará más allá de este estudio y de la presentación formal del EIA preliminar. El mecanismo principal para asegurar que la evaluación ambiental continúe y que se aborden todos los problemas ambientales es a través del Plan de Monitoreo descrito en el Informe. Este Plan es un documento “vivo” y garantizará que los compromisos de mitigación del EIA, las condiciones de consentimiento y los requerimientos de monitoreo ambiental se lleven a cabo hasta su implementación.

⁵ El cambio climático es un tema central significativo para la Evaluación de Impacto Ambiental en Chile y la Antártica, y ha sido considerado en este Informe en términos de los impactos en el cambio climático por las actividades de construcción, la vulnerabilidad de la infraestructura al cambio climático y el impacto combinado del cambio climático. No existe potencial de impactos significativos en el cambio climático dada la cantidad limitada de embarcaciones y actividades de construcción terrestre y, por lo tanto, una evaluación dedicada no forma parte de este pre-EIA.

5. Estudio geopolítico y de gobernanza

5.1. Introducción y propósito

La iniciativa del cable submarino Chile–Antártica se concibe como un proyecto transformador para apoyar a la comunidad científica en la Antártica, proporcionando una conectividad robusta, de baja latencia y alta capacidad entre las bases antárticas y las redes de investigación globales. La gobernanza es crítica. Los proyectos de infraestructura en contextos geopolíticos sensibles tienen éxito o fracasan en gran medida según la solidez de sus acuerdos institucionales. En la Antártica, donde la soberanía está suspendida bajo el Sistema del Tratado Antártico (STA), la legitimidad y el cumplimiento son primordiales. Del mismo modo, financiar un proyecto de cable de esta escala requiere estructuras que brinden seguridad a los inversionistas, bancos de desarrollo y donantes, garantizando al mismo tiempo la eficiencia operativa durante una vida útil de 25 años.

Por lo tanto, esta sección explora una gama de modelos de gobernanza e institucionales, los evalúa mediante criterios de decisión estructurados e identifica una lista corta de las opciones más viables. Luego, proporciona conclusiones y recomendaciones para una estructura de gobernanza capaz de entregar el proyecto con éxito.

El contexto antártico introduce restricciones ausentes en los proyectos típicos de cables submarinos:

- **Sistema del Tratado Antártico (STA):** Todas las actividades al sur de los 60°S deben cumplir con el Tratado, el cual prohíbe la reivindicación de soberanía, limita las actividades a fines pacíficos y científicos, y exige la cooperación internacional.
- **Soberanía congelada:** Si bien existen reclamaciones nacionales, estas no pueden ser promovidas ni reconocidas, lo que hace que las estructuras de propiedad unilaterales sean políticamente problemáticas.
- **Sensibilidades ambientales:** El trazado podría cruzar Áreas Marinas Protegidas (AMP), lo que requeriría evaluaciones de impacto ambiental estrictas y una obtención de permisos potencialmente compleja.
- **Prerrogativas nacionales en las bases:** Incluso bajo el STA, los Estados ejercen jurisdicción sobre sus nacionales en las estaciones de investigación, lo que significa que los amarres deben coordinarse bilateralmente con cada Estado cuya base esté "albergando" el amarre.

Tomados en conjunto, estos factores significan que la estructura de gobernanza debe demostrar neutralidad⁶, legitimidad científica y cumplimiento de los principios del STA, al tiempo que asegura la eficiencia suficiente para entregar y operar un sistema submarino complejo.

5.2. Metodología para la selección de la opción institucional

El Informe siguió un proceso de decantación de cuatro fases:

⁶ Aquí, "neutralidad" se refiere a la imparcialidad institucional y operativa: un diseño de gobernanza que evite conferir ventajas jurisdiccionales a cualquier Estado; asegure un acceso abierto y no exclusivo para todas las partes del Tratado pertinentes; y mantenga la independencia política y legal de las reclamaciones nacionales o del control comercial.

- **Encuadre estratégico:** definición de cómo los estados interesados podrían incorporarse al proceso y el papel del sector público.
- **Aplicación de la tipología APP:** prueba de diversas formas de APP (arrendamiento, concesión, Construcción-Propiedad-Transferencia (BOT), Construcción-Propiedad-Operación (BOO), JV/SPV) dentro de cada opción estratégica.
- **Evaluación de criterios de decisión:** calificación de cada modelo en cuanto a eficiencia, gobernanza, financiamiento, prerrogativas nacionales, suficiencia de capacidad y obligaciones extraterritoriales
- **Preselección y clasificación:** compresión de once (11) opciones en cuatro (4), para luego clasificarlas según su desempeño.

Este enfoque estructurado aumenta la probabilidad de que la opción preferida no solo sea teóricamente sólida, sino también robusta frente a los riesgos de implementación en el mundo real.

5.3. Opciones institucionales preseleccionadas

El proceso de filtrado produjo cuatro modelos preseleccionados:

- **OIG BOT:** Una organización internacional gubernamental (OIG) contrata a un operador privado para construir, operar y transferir (*Build-Operate-Transfer*) el cable después de un período fijo.
- **Arrendamiento híbrido a terceros:** Un consorcio que incluye a Chile, estados internacionales y potencialmente socios privados es propietario del sistema, con el arrendamiento gestionado por un tercer operador.
- **BOO híbrido:** Una estructura de construcción, propiedad y operación (*Build-Own-Operate*) en la que Chile y sus socios mantienen la propiedad, pero el sector privado opera de forma indefinida.
- **JV/SPV híbrida:** Una empresa conjunta (*Joint Venture*) o vehículo de propósito especial (*Special Purpose Vehicle*) que reúne a Chile, otros estados, agencias científicas y actores privados en un marco de gobernanza compartida.

Al ser clasificados según los criterios de decisión, el modelo de JV/SPV híbrida obtuvo la puntuación más alta, seguido por el BOO híbrido. Las opciones de OIG se posicionaron en los niveles más bajos debido a su ineficiencia, lentitud en la toma de decisiones y altos costos de transacción política.

Las conclusiones clave incluyen:

- **Eficiencia en la toma de decisiones:** Los modelos híbridos superan a las OIG, las cuales requieren procesos de consenso prolongados.
- **Voz en la gobernanza:** Las JV/SPV equilibran mejor la inclusión y la eficiencia al otorgar a las partes interesadas una representación proporcional.
- **Suficiencia de financiamiento:** Los modelos híbridos permiten un financiamiento diversificado, recurriendo a fondos soberanos, préstamos de bancos multilaterales de desarrollo, subvenciones y contribuciones privada.
- **Respeto a las prerrogativas nacionales:** Todos los modelos deben depender de los estados anfitriones para los amarres, pero los enfoques híbridos ofrecen mayor flexibilidad para estructurar acuerdos bilaterales.
- **Obligaciones extraterritoriales:** Las OIG corren el riesgo de crear obligaciones innecesarias; los modelos híbridos minimizan esto al anclarse en la legislación chilena permitiendo, al mismo tiempo, la participación internacional.

5.4. Recomendaciones

5.4.1. Modelo institucional general

La experiencia internacional con proyectos de infraestructura digital complejos y con múltiples partes interesadas respalda firmemente la adopción de una Empresa Conjunta Híbrida / Vehículo de Propósito Especial (JV/SPV) para el cable Chile–Antártica. Estructuras de gobernanza comparables se han utilizado en proyectos como el Consorcio del Cable ACE (*Africa Coast to Europe*), el cable EllaLink que une Europa y América Latina (inversión mixta público-privada, con redes de investigación europeas suscribiendo la capacidad) y el proceso de planificación del Cable Humboldt. Estos precedentes demuestran que una gobernanza mixta es esencial cuando se cruzan intereses científicos, soberanos y comerciales.

Bajo este enfoque, se constituiría una empresa de proyecto en Chile con una estructura de gobernanza que dé cabida tanto al liderazgo chileno como a la participación científica internacional. El capital fundacional provendría de entidades estatales chilenas y de gobiernos socios seleccionados o instituciones de desarrollo, con espacio para la expansión a otros estados de investigación antártica con el tiempo.

Chile actuaría en esta capacidad, dados los siguientes atributos:

- Proximidad geográfica al Área de Estudio y el hecho de que ya ofrece una de las dos "ciudades puerta de entrada" reconocidas a este lado de la Antártica (Puerto Williams, junto con Ushuaia);
- Troncal (*backbone*) de telecomunicaciones desarrollado que se extiende hasta su extremo sur;
- Capacidad para integrarse fácilmente en las redes globales de internet e investigación;
- Infraestructura portuaria y logística ya utilizada extensamente por programas antárticos nacionales y extranjeros;
- Su marco legal moderno de telecomunicaciones y un robusto régimen corporativo y de inversión;
- Un marco legal que permite la participación extranjera y estructuras corporativas de responsabilidad limitada; y
- Su rol activo y de larga data como Parte Consultiva del Tratado Antártico.

El financiamiento seguiría intencionalmente un modelo mixto (*blended model*), consistente con los enfoques utilizados en EllaLink, BELLA y otros proyectos de cables submarinos apoyados por Bancos Multilaterales de Desarrollo (BMD):

- Apoyo inicial de fondos soberanos y de desarrollo (Chile y cofundadores) para anclar la legitimidad y cubrir brechas de viabilidad temprana.
- Préstamos de BMD/IFI (por ejemplo, CAF, BID, IFC) para suministrar financiamiento de deuda a largo plazo.
- Instituciones científicas suscribiendo la demanda de capacidad a través de Derechos Irrevocables de Uso (IRU) o arrendamientos a largo plazo, asegurando un flujo de ingresos predecible en lugar de una entrada directa de capital.
- Participación de operadores privados a través de capital o contratos de servicios, aportando experiencia técnica y operativa.

El despliegue sería gestionado por uno de los fabricantes de cables globales establecidos, contratado por la JV/SPV, mientras que los operadores privados se encargarían de la O&M (Operación y Mantenimiento) a largo plazo bajo contratos basados en el desempeño. La comercialización se mantendría estandarizada para todas las opciones: un único operador gestionando el cable bajo

términos de acceso abierto (*open-access*), asegurando ventas de capacidad no discriminatorias a la comunidad científica y, potencialmente, a usuarios secundarios gestionados cuidadosamente.

5.4.2. Recomendaciones específicas

Las siguientes recomendaciones específicas integran las lecciones aprendidas de EllaLink/BELLA, ACE, SEACOM y Humboldt, los cuales ilustran colectivamente cómo los actores científicos multinacionales, soberanos y privados pueden alinearse en torno a un activo submarino compartido.

1. **Formar un consorcio internacional anclado en Chile:** Establecer la JV/SPV con la participación del gobierno chileno como accionista fundador, junto a gobiernos socios seleccionados, bancos multilaterales de desarrollo (BMD) y, potencialmente, un operador privado estratégico. Mantener la estructura de propiedad abierta a la expansión para programas de investigación antártica adicionales.
2. **Integrar la legitimidad científica en la gobernanza:** Incluir puestos asesores o directivos para los principales programas antárticos nacionales y redes de investigación, asegurando que las necesidades científicas sigan siendo el eje central. Esto responde al requisito del Tratado Antártico de que la infraestructura se dedique a fines pacíficos y científicos.
3. **Adoptar una estrategia de financiamiento combinado (blended finance):** estructurar el financiamiento de manera que ningún actor asuma un riesgo desproporcionado. Los Estados y los fondos de desarrollo reducen el riesgo del proyecto; los bancos multilaterales de desarrollo (MDBs) y las instituciones de financiamiento para el desarrollo (DFIs) proporcionan financiamiento de largo plazo; las agencias científicas se comprometen a compras de capacidad por varios años; y los actores privados aportan gestión y experiencia técnica.
4. **Contratar operadores privados para mayor eficiencia:** Mientras la JV/SPV mantiene la propiedad y la gobernanza estratégica, el despliegue y la operación deben externalizarse a empresas de cable y operadores experimentados. Esto garantiza altos estándares de desempeño, capacidad de restauración rápida y operaciones rentables.
5. **Mantener el acceso abierto y la transparencia:** Codificar en los estatutos del consorcio que el acceso al cable sea no discriminatorio, basado en costos y con prioridad para el uso científico. Este principio es crítico para el cumplimiento del Tratado Antártico, la confianza de los donantes y la credibilidad ante la comunidad científica global.
6. **Planificar para la flexibilidad a largo plazo:** Crear mecanismos de gobernanza que permitan una expansión gradual, incorporando estados participantes, programas o socios adicionales que califiquen, sin necesidad de renegociar toda la estructura. La flexibilidad en la propiedad y el financiamiento será esencial para la resiliencia durante los 25 años de vida útil del cable. Esta flexibilidad debe entenderse como un conjunto de procesos estructurados y basados en reglas, no como una entrada y salida sin restricciones. En el contexto de una JV/SPV científico-soberana multinacional, esto significa diseñar el marco de propiedad de modo que pueda evolucionar sin desestabilizar el proyecto ni forzar la renegociación de los acuerdos fundacionales.

6. Análisis del modelo de negocio

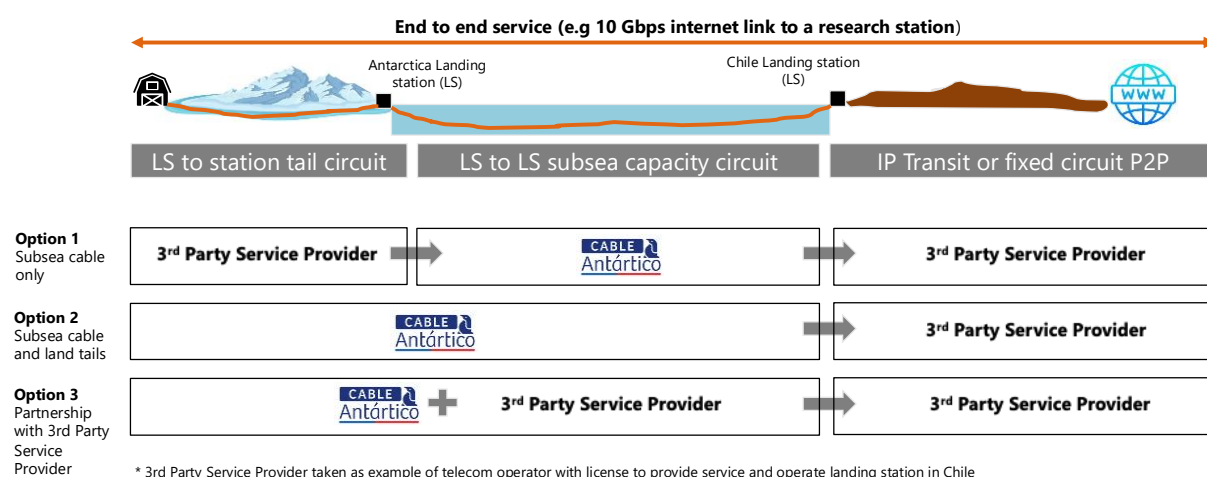
6.1. Introducción

El objetivo de esta sección es analizar y describir los diferentes modelos de negocio y propuestas de valor aplicables a la gobernanza del proyecto, y proponer un modelo viable que deba ser ampliado y explotado en el futuro. Las diferencias clave entre el proyecto del cable antártico y los proyectos comerciales típicos de cables submarinos significan que las opciones del modelo de negocio son únicas. Una herramienta fundamental utilizada para este análisis es el tradicional análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) del proyecto. Revisaremos el análisis FODA después de considerar los méritos de los modelos de negocio.

6.2. Análisis de modelos de negocio aplicables

En la sección 1, identificamos a las estaciones científicas como los principales clientes del cable antártico. Sin embargo, las comunidades científicas o los gobiernos que las respaldan —en su calidad de clientes ancla (*anchor tenants*) del cable y compradores de capacidad— deben ensamblar un paquete de servicios integrales para lograr la conectividad de internet y datos para las bases, incluyendo la conectividad hacia el internet global y la provisión de servicios de nivel de telecomunicaciones (telco). Por lo tanto, existirán varias opciones para que la empresa que entrega las instalaciones del cable proporcione una parte o la totalidad del servicio de extremo a extremo (*end-to-end*). Las tres opciones se detallan a continuación:

Figura 7: Opciones seleccionadas para un servicio de extremo a extremo



Fuente: Salience Consulting

Opción 1 – Solo cable submarino. El Proyecto del Cable Antártico construye y opera el cable y "vende" únicamente la capacidad del mismo; es decir, de Estación de Amarre a Estación de Amarre (*Landing Station to Landing Station*). El equipo de TI de la base científica compra un circuito al cable antártico, pero adquiere de forma independiente un circuito de última milla (*tail circuit*) y la conectividad a Internet a un tercero (proveedor de servicios de telecomunicaciones). Dicho proveedor construye entonces un

enlace terrestre, por microondas u otra tecnología desde la estación de amarre hasta la base real, y proporciona el servicio de internet (Tránsito IP) en el otro extremo. En este caso, el cliente del cable es la base científica.

La subopción en este caso sería que el proveedor de servicios de telecomunicaciones de terceros (*3rd Party Service Provider*) venda el circuito extremo a extremo a la base científica y compre el tramo submarino al cable antártico. En este escenario, el cliente del cable es el proveedor de servicios de terceros. Alternativamente, el operador del cable antártico podría comprar al proveedor de servicios de terceros ambos enlaces de acceso (*tails*) y venderlos a la base científica como un paquete integrado.

Opción 2 – Cable submarino y enlaces terrestres. La diferencia aquí es que el Proyecto del Cable Antártico construye tanto el tramo submarino como las extensiones terrestres para llegar a las estaciones. Luego, el proveedor de servicios externo proporciona únicamente el Tránsito IP en el otro lado para conectar al cliente a Internet. Las sub-opciones son las mismas que en la Opción 1.

Opción 3 – Asociación con proveedor(es) de servicios. En este caso, se asume que el proveedor de servicios externo participaría ya sea como inversor en todo el sistema de cable o en un segmento específico (como la estación de amarre en Chile), o alternativamente como el operador del cable tras la construcción (o de uno de sus componentes) bajo un acuerdo de externalización de operaciones (*outsourced operations*). Dentro de este escenario, la entidad (JV, SPV, etc.) vende los circuitos al cliente final, es decir, al propietario de la base científica.

6.3. Análisis FODA

6.3.1. Descripción del FODA

Existen diversos atributos que el modelo de negocio deberá potenciar (fortalezas), abordar (debilidades), explotar (oportunidades) y mitigar (amenazas).

Fortalezas

- Maximiza el acceso a los beneficios del cable submarino al proporcionar diversos medios de participación (capital y diferentes tipos de compras).
- Permite plazos variados para la participación de los interesados.
- Puede entregar capacidad ilimitada (sujeta a las restricciones de diseño del cable y las capacidades del equipo terminal).
- Operado por un actor experimentado.
- Desplegado por los mejores del sector.
- Estabilidad de los "Clientes Ancla" (Anchor Tenants): Operan a largo plazo, expanden constantemente sus instalaciones científicas y es poco probable que cierren en el futuro previsible.
- Solidez financiera de los clientes ancla: Al estar representados por países, el financiamiento puede ser parte de inversiones gubernamentales estratégicas.
- La naturaleza sin fines de lucro de la iniciativa está alineada con las actividades sin fines de lucro que respalda.
- Visibilidad del proyecto en los círculos científicos: el proyecto ya ha sido promovido dentro de la comunidad científica.
- Importancia geopolítica: otorga a los usuarios ancla ventajas geopolíticas para las actividades que realizan en la Antártica y una plataforma para futuras expansiones de influencia.

- Atractivo para el apoyo de bancos de desarrollo, debido a los componentes "verdes" y ambientales asociados al cable.

Debilidades

- Base de clientes dependiente de Estados soberanos para su financiamiento, lo cual puede estar sujeto a vaivenes políticos.
- La viabilidad del proyecto depende de la cooperación internacional y requiere la participación sustancial de un número de actores para que sea financieramente sostenible. Sin un "quórum", el proyecto no es viable.
- Toma de decisiones difusa en la etapa de establecimiento, debido al probable modelo de gobernanza (ver Capítulo 4).
- Régimen de cumplimiento (compliance) complejo.
- Desafíos en el despliegue y mantenimiento. La incertidumbre operativa se debe a las complicaciones de operar estaciones de amarre en la Antártica. Los acuerdos de mantenimiento para reparaciones de cables también son inciertos.
- El costo de despliegue es elevado en relación con la base de clientes.
- El costo de restauración es caro y problemático.
- Problemas de confiabilidad, debido a la ventana operativa limitada para reparaciones, un potencial corte del cable podría dejarlo fuera de servicio por un período prolongado, posiblemente meses, lo que podría poner en duda la confiabilidad del cable mismo, dado que el respaldo es únicamente conectividad satelital.
- Dotación de recursos para estaciones de amarre y otras instalaciones relacionadas en la Antártica. La disponibilidad de ingenieros calificados para dotar estas estaciones podría ser un problema. El personal de "investigación" regular podría necesitar capacitación para realizar tareas básicas de ingeniería dentro de las estaciones de amarre.
- Las ventas futuras son especulativas, ya que las proyecciones de demanda se basan en supuestos de alto nivel. Además, el precio de la conectividad por cable podría ser más alto (a pesar de las obvias ventajas técnicas) que el servicio basado en satélites, por lo que algunas instalaciones o países podrían optar por seguir usando el satélite como su opción de conectividad principal

Oportunidades

- Sensores de cable SMART como un servicio único: valor agregado de ingresos. Los datos generados por los sensores podrían comercializarse, ya sea empaquetados con el servicio de conectividad base o vendidos por separado.
- Soporte a nuevos tipos de actividad científica, tanto tripulada como no tripulada (autónoma).
- Colaboración con inversionistas de *Data Centers*: ubicación con las estaciones de amarre. Las estaciones de amarre en la Antártica proporcionan ubicaciones viables para el despliegue de centros de datos debido a las bajas temperaturas. No tenemos certeza sobre el ángulo de la generación de energía, aspecto que requiere mayor exploración.
- Apoyo del Gobierno Regional para el cable: existe la oportunidad de que el gobierno utilice sus propias herramientas y recursos para promocionar el cable ante organismos regionales e internacionales.
- Colaboración con propietarios de constelaciones satelitales, para crear un producto híbrido de cable y satélite, opción que necesita ser explorada.

- Combinar el potencial de enlaces redundantes para añadir protección al servicio de las estaciones base.

Amenazas

- Recortes en los presupuestos de ciencia debido a crisis económicas o a la despriorización de la investigación relevante.
- Entrada de competidores al mercado: otros proyectos de cable que podrían ingresar para proporcionar conectividad a la Antártica.
- Satélites LEO u otras nuevas tecnologías: la expansión de la capacidad de los satélites de órbita terrestre baja (LEO) podría ser un competidor directo para el cable. Asimismo, otras tecnologías que podrían proporcionar conectividad alternativa en los próximos 25 años

6.3.2. Matriz estratégica

En esta sección, identificamos estrategias para maximizar las fortalezas y oportunidades, y para mitigar las debilidades y amenazas dentro del marco estándar de la matriz estratégica FODA.

Tabla 1: Matriz de estrategias FODA

	Fortalezas (F)	Debilidades (D)
Oportunidades (O)	Estrategias FO (Uso de Fortalezas para explotar Oportunidades) 1. Vincularse con los gobiernos ancla y las comunidades científicas para discutir y promocionar las oportunidades de disponer de información sensorial SMART y transmisión de datos de alta capacidad, con el fin de expandir las instalaciones científicas y participar en nuevos tipos de investigación. 2. Involucrar a los gobiernos ancla para invertir en la expansión de las comunidades residentes en la Antártica, dado que el cable crea condiciones de vida más favorables gracias a las posibilidades de extender los servicios de <i>e-health</i> (telemedicina) y <i>e-education</i> (educación a distancia) mediante una conectividad confiable y de alta capacidad. 3. Apoyar el desarrollo o modificaciones de la estrategia regional de Magallanes (por ejemplo, el Plan de Desarrollo de Zonas Extremas (PDZE) 2025-2035) para potenciar el sector digital, incorporando el cable como un enlace crítico que estimule nuevas inversiones en capacidades de centros de datos (Data Centers). 4. Colaborar con Starlink u otros actores de satélites LEO y/o proveedores de servicios de internet (ISP) que revenden servicios satelitales en la Antártica, para el desarrollo de productos híbridos que combinen las fortalezas de ambas tecnologías en favor de conexiones de alta capacidad y confiabilidad en la Antártica. 5. Involucrar a los bancos de desarrollo para que comprendan las particularidades de la inversión en el cable, de modo que puedan obtener apoyo interno para este proyecto y vincularlo con otras inversiones que estén realizando en infraestructura verde (como centros de datos y cables complementarios) e iniciativas relacionadas con temas ambientales e investigación sobre el cambio climático.	Estrategias DO (Superar Debilidades utilizando Oportunidades) 1. Reducir la dependencia de los ciclos presupuestarios estatales mediante el desarrollo de nuevas fuentes de ingresos provenientes de los datos de sensores SMART y de agencias de ciencias climáticas. 2. Utilizar el apoyo gubernamental para agilizar los complejos procesos de cumplimiento (<i>compliance</i>), obtención de permisos y trámites relacionados con el Tratado Antártico. 3. Fortalecer la cooperación internacional vinculando el cable a programas científicos multinacionales y a la infraestructura potencial de Data Centers. 4. Abordar la incertidumbre operativa mediante la integración de modelos de redundancia híbrida cable-LEO y sistemas de operación remota apoyados por el personal de investigación. 5. Mejorar la confianza de los inversionistas destacando el potencial del cable para habilitar misiones científicas de próxima generación.

	Fortalezas (F)	Debilidades (D)
Amenazas (A)	Estrategias FA (Uso de Fortalezas para mitigar Amenazas) 1. Utilizar la visibilidad científica, la legitimidad geopolítica y la orientación sin fines de lucro para proteger el financiamiento frente a los ciclos políticos. 2. Aprovechar las capacidades del operador y del proveedor para diferenciar el proyecto de otras posibles iniciativas de cables competidores. 3. Posicionar el cable como la red troncal (<i>backbone</i>) crítica para la misión y utilizar las funciones SMART para diferenciarse de las soluciones basadas únicamente en satélites. 4. Enfatizar los beneficios ambientales y científicos para asegurar financiamiento concesional, reduciendo la vulnerabilidad ante posibles recortes en los presupuestos científicos.	Estrategias DA (Reducción y evasión de Amenazas) 1. Vincularse con los potenciales gobiernos ancla para desacoplar la inversión del cable de la necesidad de capacidad actual de una sola estación, conectándola con un relato geopolítico y de conectividad a largo plazo que proporcione una solución duradera para que dicho país expanda su presencia, influencia y actividades en la Antártica. 2. Involucrar a los equipos de TI y comunicaciones de las instalaciones científicas para explicar las limitaciones del internet satelital en la Antártica, de modo que puedan comunicar claramente los beneficios de una conectividad mejorada y las restricciones que enfrentarán los satélites para dar soporte a la investigación de próxima generación. 3. Obtener apoyo legal y de cumplimiento (<i>compliance</i>), y apalancarse en los gobiernos ancla para el despliegue del cable a través de sus territorios reclamados y para la conexión de sus respectivas bases.

Fuente: Salience Consulting

6.3.3. Resultados del análisis FODA

Los capítulos anteriores han analizado las similitudes y diferencias de los aspectos técnicos y geopolíticos de este proyecto en comparación con los proyectos de cable tradicionales. La discusión indica que un desafío clave dependerá de la alineación de múltiples Estados soberanos, la estructuración de un modelo de gobernanza adecuado y la confirmación de un grupo comprometido de arrendatarios capaces de suscribir la inversión de capital a largo plazo.

Los resultados del análisis FODA, combinados con los hallazgos del modelo de negocio y las consideraciones institucionales/de gobernanza establecidas en los Capítulos 2 y 4, nos permiten recomendar un conjunto de acciones estratégicas que deben guiar la próxima fase de desarrollo del proyecto. Estas recomendaciones tienen como objetivo: (i) movilizar la participación temprana de los clientes ancla; (ii) mitigar los riesgos operativos y financieros; (iii) alinear el cable con el Sistema del Tratado Antártico; y (iv) crear una vía viable para la recuperación de costos a largo plazo y la gobernanza multilateral.

1. **Formalizar el papel de Chile como Estado Patrocinador Líder al tiempo que se estructura una plataforma de gobernanza multilateral:**

Chile debe continuar actuando como el ancla diplomática, institucional y regulatoria del proyecto. Sin embargo, la legitimidad a largo plazo y el reparto de riesgos requieren una Empresa Conjunta Híbrida / SPV que incluya a gobiernos extranjeros, bancos de desarrollo y, cuando corresponda, un operador comercial.

2. **Asegurar un quórum de clientes ancla mediante un proceso estructurado de pre-compromiso de IRU:**

La viabilidad financiera del cable depende de alcanzar un nivel mínimo de demanda contratada a largo plazo.

3. **Involucrar tempranamente a los bancos de desarrollo para establecer un marco de financiamiento y señalar la credibilidad del proyecto:**

Las características de "bien público", científicas y "verdes" del proyecto lo alinean estrechamente con los mandatos de los Bancos Multilaterales de Desarrollo (BMD).

4. **Desarrollar una estrategia de redundancia híbrida Cable–Satélite para abordar los riesgos operativos y de confiabilidad:**

El FODA destaca los tiempos de restauración potencialmente largos y la incertidumbre operativa en el segmento antártico.

5. **Construir una estrategia de cumplimiento y permisos que maximice el apalancamiento gubernamental:**

El punto débil identificado en el FODA es el complejo proceso multijurisdiccional de permisos y autorizaciones ambientales bajo el Sistema del Tratado Antártico (ATS).

6. **Adoptar un modelo operativo conservador con alta externalización de actividades de "planta húmeda" (*wet-plant*) y capacidades reforzadas de operaciones remotas:**

En este contexto, un modelo operativo conservador significa adoptar un enfoque que minimice el riesgo técnico, evite la sobre-extensión de las capacidades internas y priorice la confiabilidad y resiliencia en el entorno extremo de la Antártica. Se contrapone a un modelo más "agresivo" o integrado verticalmente en el que la empresa del proyecto intenta realizar por sí misma muchas funciones operativas.

7. **Incorporar sensores de cable SMART y servicios asociados en el caso de negocio central:**

Aunque es poco probable que generen ingresos significativos en comparación con la venta de capacidad (especialmente a corto plazo), el sistema SMART, como un activo global de monitoreo de riesgos y clima, puede atraer interés fuera de la comunidad antártica y fortalecer el caso para obtener financiamiento concesional.

8. **Establecer un modelo comercial dual: recuperación de costos basada en IRU y expansión basada en arrendamientos:**

Este modelo dual también permite que futuras estaciones (o países) se unan sin necesidad de una reestructuración importante de la gobernanza.

9. **Comenzar el desarrollo de una estrategia de conectividad regional y centros de datos que vincule la infraestructura chilena y antártica:**

El FODA identifica la ubicación de centros de datos y el crecimiento del ecosistema digital regional como oportunidades clave.

10. **Desarrollar una estrategia estructurada de participación de los interesados enmarcada en el valor científico, el monitoreo climático y la neutralidad geopolítica:**

Esto protege el proyecto de los ciclos políticos internos y de las sensibilidades internacionales.

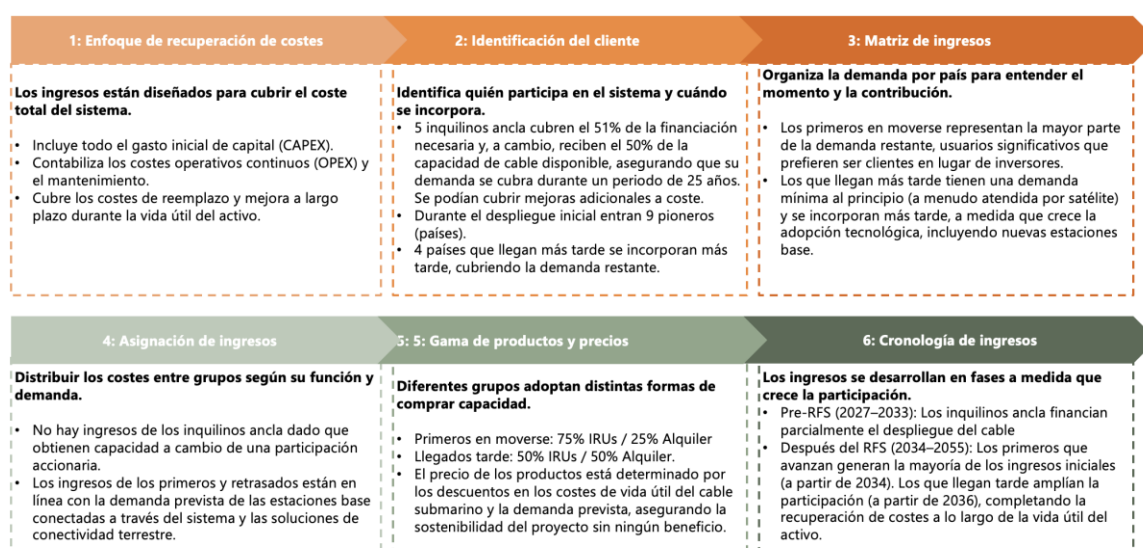
7. Factibilidad financiera

7.1. Introducción

Esta sección resume el capítulo de factibilidad financiera del Informe, el cual incorpora los productos clave del capítulo precedente que conforman los insumos y motores (drivers) de demanda, costos, ingresos y estructura de capital requeridos para el modelo financiero. El informe analiza las opciones de diseño técnico del cable submarino evaluadas como parte del estudio de factibilidad, los costos relacionados durante las fases Pre-RFS (previo a la puesta en servicio) y Post-RFS (posterior a la puesta en servicio), las proyecciones de ingresos, los precios sugeridos, la tasa de descuento utilizada y los requisitos de financiamiento del proyecto. Todos los hallazgos del estudio de factibilidad están respaldados por un modelo financiero para el período 2027-2058. El horizonte temporal elegido garantiza que las proyecciones consideren los 25 años de vida útil del activo del cable submarino, una vez que entre en operación en 2034. Por lo tanto, se asume que el despliegue se llevará a cabo durante los años 2027-2033. El modelo financiero sigue el Enfoque de Recuperación de Costos, asegurando que los costos totales de la vida útil del cable se recuperen mediante una tarificación adecuada, dada la demanda proyectada.

La Figura 8 resume la metodología utilizada para el modelo financiero:

Figura 8: Resumen de la Metodología del Modelo Financiero



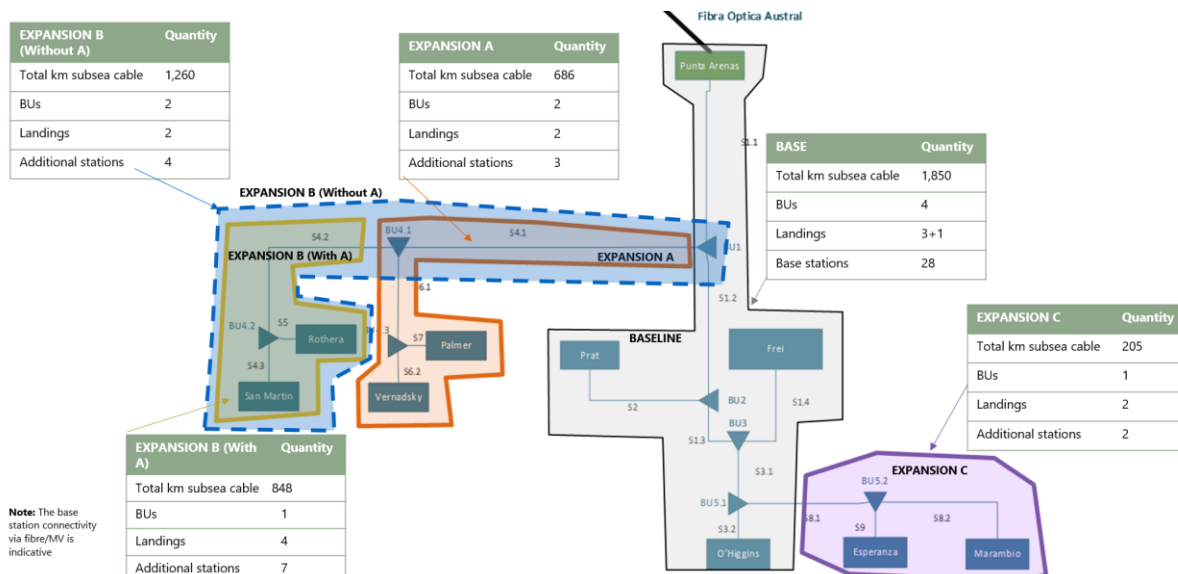
Fuente: Salience Consulting

7.1.1. Diseño técnico

El Estudio de Factibilidad incluye varias opciones de diseño de cable submarino para esta evaluación financiera inicial.

Una opción de Configuración Mínima incluye tres clústeres que cubren la Isla Rey Jorge y el norte de la Península Antártica, mientras que tres opciones de Configuración Expansiva introducen clústeres adicionales para extender la cobertura a lo largo de la península occidental e islas cercanas. Estas configuraciones se muestran en la Figura 9.

Figura 9: Opciones de diseño técnico del cable submarino: Configuración Mínima y Expansiva (Extensiones A, B y C)



Fuente: Salience Consulting and Pioneer Consulting

7.1.2. Estimaciones de demanda

Las estaciones base que se prevé alcanzar con cada opción técnica de cable submarino han sido asignadas según su país de origen para estimar la demanda total de ancho de banda por nación. Posteriormente, los países se han agrupado en tres tipos de clientes, que difieren en la forma en que adquirirán la capacidad del cable y en su cronograma de participación:

1. **Clientes ancla (Anchor tenants):** Se considera como posibles accionistas de la sociedad creada para ejecutar el Proyecto a los países con mayor demanda de ancho de banda y mayor interés en el mismo. Desempeñan el papel más crítico en la reducción de riesgos (*de-risking*) mediante la inyección de capital en el SPV para el financiamiento parcial antes de que el cable esté listo para el servicio (RFS). Esto les permite asegurar capacidad suficiente para cubrir su demanda proyectada durante los 25 años posteriores al RFS en 2034.
2. **Participantes tempranos (Early movers):** Son países que difícilmente participarán en el financiamiento del proyecto como clientes ancla; sin embargo, se espera que tengan una demanda de ancho de banda relativamente alta y, por lo tanto, comprarían capacidad mediante IRU o arrendamientos anuales para escalar su capacidad de manera flexible a medida que se expandan las actividades de sus estaciones. Su participación es vital porque genera niveles de utilización rápidamente tan pronto como el sistema entra en operación, acelerando la transición de la fase de construcción a la de ingresos operativos recurrentes.
3. **Participantes tardíos (Late movers):** Son países que se incorporan una vez que los principales riesgos operativos han sido superados y sus necesidades de demanda crecen a niveles difíciles de satisfacer con conectividad satelital (a partir de 2036). Se trata también de países cuyas estaciones dependen de si existen extensiones disponibles hacia sus territorios o de la finalización de aprobaciones internas y asignaciones presupuestarias. Tienden a depender de arrendamientos en lugar de IRU, lo que les permite unirse al sistema sin compromisos a largo plazo. Su involucramiento es valioso porque extiende el perfil de ingresos hacia los últimos años

del sistema, evitando una caída abrupta de los mismos sin comprometer el proyecto con obligaciones costosas cerca del fin de la vida útil del cable.

En resumen, los clientes ancla estabilizan el perfil de financiamiento en el período previo al RFS, los participantes tempranos aceleran la utilización y la recuperación de costos inmediatamente después del RFS, y los participantes tardíos se unen pocos años después, ayudando a recuperar los costos operativos y futuros reemplazos de equipos. Juntos, estos comportamientos de adopción crean un modelo equilibrado que garantiza la estabilidad financiera desde los primeros compromisos hasta el horizonte operativo a largo plazo.

7.1.3. Proyecciones de ingresos y estimaciones de precios

El modelo financiero asume que la capacidad se vende a través de dos tipos de productos distintos, cada uno disponible en dos niveles de ancho de banda, diseñados para reflejar la forma en que las estaciones base suelen adquirir y actualizar su conectividad a lo largo del tiempo:

IRU a 25 años (Derechos de Uso Irrevocables)

- **Opciones de ancho de banda:** 10 Gbps y 100 Gbps.
- **Estructura:** pago único a largo plazo que asegura los derechos de capacidad por 25 años.
- **Precios:** basados en un análisis de búsqueda de objetivo (*goal seek*), para que el caso de negocio siga el enfoque de recuperación de costos.
- **Escalamiento:** la longitud de onda de 100 Gbps tiene un precio de 4.5 veces superior a la de 10 Gbps

Arrendamientos anuales (longitudes de onda)

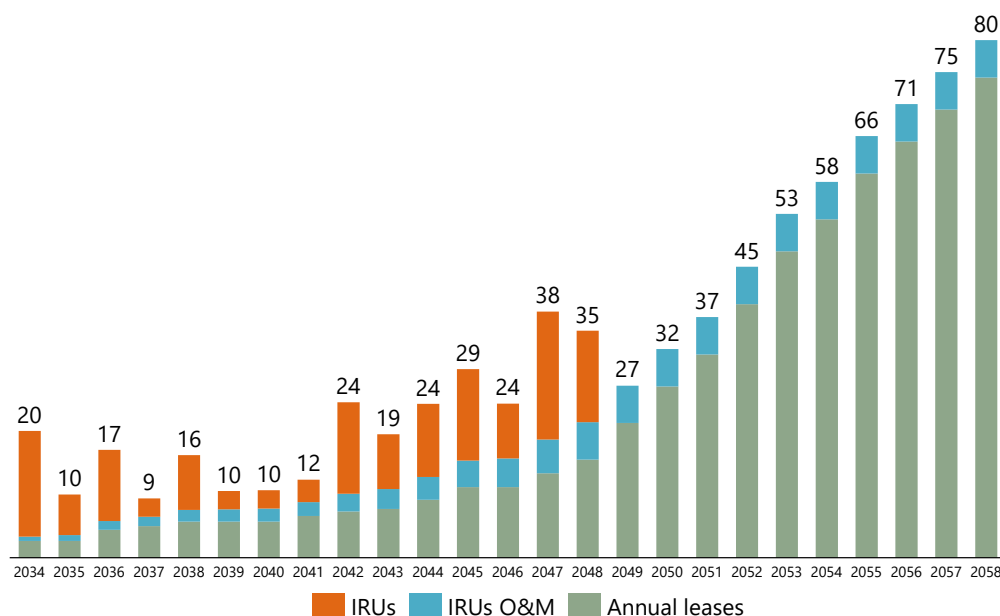
- **Opciones de ancho de banda:** 10 Gbps y 100 Gbps.
- **Estructura:** pagos anuales recurrentes, lo que proporciona flexibilidad para actualizaciones incrementales.
- **Fijación de precios:** vinculada a la equivalencia de IRU, donde el costo de una IRU a 25 años equivale al costo de cuatro años de arrendamientos anuales (multiplicador de 4x).

El reconocimiento de ingresos está estructurado cuidadosamente para reflejar la naturaleza de consorcio del proyecto. A los clientes ancla (*Anchor Tenants*), quienes se asume que contribuyen con el 51% de la inversión de capital inicial, se les asigna el 50% de la capacidad disponible. Dado que su capacidad se otorga en proporción a su contribución de capital, no se reconocen ingresos incrementales por su uso. Por lo tanto, el ingreso reconocido es atribuible únicamente a los participantes que no son ancla, específicamente: los Participantes tempranos (*Early movers*), que comienzan a contratar desde 2034, y los Participantes tardíos (*Late movers*), que se incorporan a partir de 2036. Esta entrada escalonada refleja la curva de adopción esperada para las estaciones base y se alinea con el carácter de misión a largo plazo de la infraestructura..

Las proyecciones de compra de capacidad asumen que, tras la puesta en servicio o RFS (2034–2036), se espera que los compradores tempranos prioricen las IRU para asegurar capacidad a largo plazo para programas de investigación plurianuales. Esta dinámica concentra los ingresos al inicio de la curva (*front-loading*), ya que las IRU aportan un componente de efectivo mayor a corto plazo. De 2037 a 2049, a medida que se conectan bases adicionales y los requisitos de ancho de banda se diversifican, se proyecta que los arrendamientos crezcan de manera constante, tanto como capacidad incremental sobre las IRU existentes como una opción flexible para programas que prefieren compromisos más cortos. Las IRU siguen presentes pero disminuyen gradualmente en participación relativa, mientras que

la capacidad de 100 Gbps se vuelve más común para rutas troncales y estaciones con uso intensivo de datos. En los últimos años de vida del sistema (2054–2058), no se venden nuevas IRU debido a la limitada vida útil remanente del activo; en su lugar, las ventas se concentran en arrendamientos anuales y extensiones a corto plazo de servicios existentes. El pronóstico de compra de capacidad se representa en la Figura 10 a continuación:

Figura 10: Proyección de ingresos, escenario base (Configuración Mínima), en millones de USD



Fuente: Saliency Consulting

Los escenarios con las Extensiones A, B y C siguen un enfoque similar: se asume que el financiamiento y la recuperación de costos de las extensiones adicionales se tratarán de la misma manera que en el escenario base; es decir, que el costo se recuperará a lo largo de los años mediante la venta de IRUs y arrendamientos anuales. Alternativamente, el costo total del despliegue, las actualizaciones y las operaciones tendría que ser cubierto íntegramente por estos países antes de la puesta en servicio (RFS).

Por lo tanto, el precio del producto se ajusta para cada extensión a fin de garantizar que se recuperen los costos totales de inversión. Este enfoque reconoce que no todos los países se benefician por igual de cada extensión. Los países con solo unas pocas estaciones base en cada extensión podrían tener que pagar precios más altos, ya que su participación en la demanda de esa zona es relativamente pequeña. Como resultado, la carga de los costos se distribuye de manera desigual: las áreas con demanda limitada aún requieren un gasto significativo en infraestructura, lo que eleva el costo unitario para los usuarios locales. Dado que los precios en estos casos pueden ser significativamente más altos, es posible que algunos países no tengan interés en participar, ya que el valor que reciben podría no justificar los costos. Esto resalta el desafío de equilibrar la equidad en los precios con la necesidad de cubrir los altos costos de capital que implica la expansión de la red.

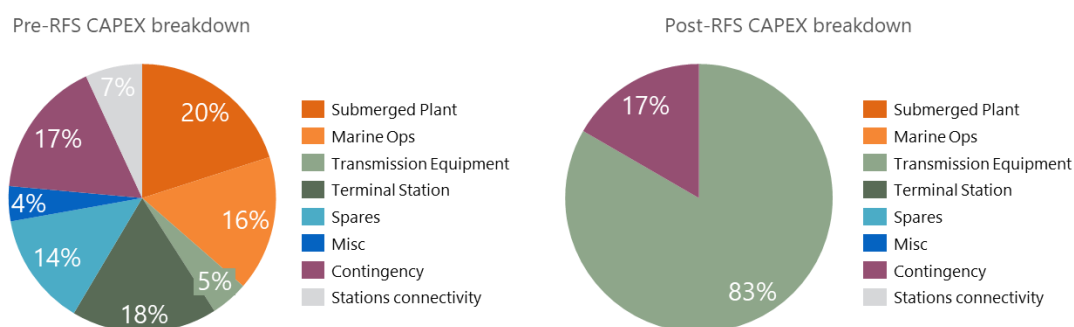
Se estima que la construcción de las extensiones A, B y C tendrá un costo adicional del 123% respecto de la configuración mínima, mientras que el aumento en la demanda de las estaciones base alcanzadas es de solo un 39%. Por lo tanto, el crecimiento del CAPEX es mucho mayor que la demanda obtenida. Esto significa que se requiere invertir mucho más financiamiento para captar solo un pequeño

incremento en la demanda, lo que demuestra que las expansiones posteriores son menos eficientes que la construcción inicial.

7.1.4. Proyecciones de costos

El desglose de los costos de CAPEX (Inversiones de Capital) para el escenario base se presenta en la Figura 11 a continuación:

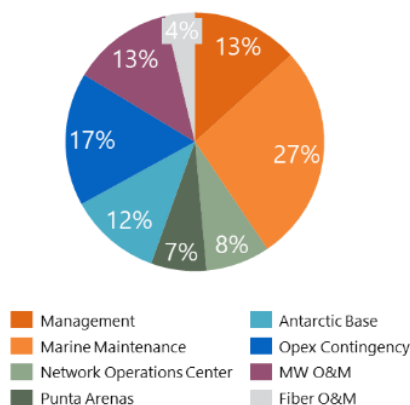
Figura 11: Desglose de CAPEX, escenario base (Configuración Mínima), en millones de USD



Fuente: Salience Consulting

Del mismo modo, los requisitos de OPEX (Gastos Operativos) se muestran en la Figura 12:

Figura 12: Desglose de OPEX para el escenario base (Configuración Mínima), en millones de USD



Fuente: Salience Consulting

7.2. Conclusiones sobre la factibilidad financiera

El Informe de Factibilidad proporciona una visión inicial de la dinámica que rodea el financiamiento del proyecto, los costos y los ingresos necesarios que deben generarse a lo largo de la vida útil del cable submarino para recuperar la inversión inicial, el reemplazo de equipos activos y los costos operativos.

La selección de las estaciones base alcanzadas por el cable submarino, así como los pronósticos de demanda, desempeñan un papel fundamental en la determinación de la factibilidad global del proyecto.

Al llegar a las estaciones base que realizan las actividades científicas que más ancho de banda consumen —y que pertenecen a los países de origen que han mostrado interés en el proyecto—, el caso de negocio podría desestacionalizarse y reducir su riesgo mediante el financiamiento conjunto entre estos países (denominados también como clientes ancla a lo largo del informe) en forma de capital propio (*equity*), y bancos de desarrollo en forma de deuda. Otros países cuyas estaciones base se conecten se verían incentivados a arrendar la capacidad requerida o comprar IRU, dadas las limitaciones previstas de las tecnologías satelitales para abordar las necesidades de demanda y los menores costos a largo plazo.

Los supuestos utilizados en el modelo financiero están respaldados por investigación de escritorio, evaluaciones comparativas (*benchmarks*) y entrevistas con las partes interesadas para alcanzar los resultados iniciales del estudio de factibilidad. **Estos resultados están sujetos a cambios tras la realización de estudios más detallados, análisis y compromisos con las partes interesadas durante las etapas posteriores del proyecto.**