

Documento

# PLAN DE DESARROLLO LOGÍSTICO REGIÓN DE MAGALLANES Y DE LA ANTÁRTICA CHILENA

2024





## PRÓLOGO

En el marco del Convenio de Transferencia entre la Subsecretaría de Energía y la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, financiado por el Programa de Desarrollo Productivo Sostenible, se elaboró la propuesta de Plan de Desarrollo Logístico de la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena. Este documento constituye la base para la formulación conjunta del plan por parte de los Ministerios de Transportes y Telecomunicaciones (MTT), Energía (MEN) y Obras Públicas (MOP).

La propuesta fue desarrollada siguiendo los procedimientos establecidos en la Guía Metodológica para la Realización y Actualización de Planes Maestros Logísticos, formalizada por el MTT mediante la Resolución Exenta N° 1702 del 21 de agosto de 2020. Además, contó con la colaboración del Gobierno Regional de Magallanes y de la Antártica Chilena y de CORFO, a través de su Programa Transforma Regional Hidrógeno Verde Magallanes, así como con el apoyo de actores regionales de los sectores público y privado.

El objetivo específico del convenio es diseñar un plan estratégico de infraestructura logístico-portuaria de uso público en la región, enfocado en abordar el desafío del desarrollo potencial de la industria del hidrógeno verde. Este plan busca orientar la toma de decisiones del Estado hacia la promoción de proyectos específicos de infraestructura habilitante, fundamentales para consolidar esta industria emergente en la región.

El Plan de Desarrollo Logístico de Magallanes y de la Antártica Chilena propone una cartera de iniciativas alineadas con las distintas componentes del sistema logístico regional: infraestructura y conectividad física, sistemas de información y coordinación, sostenibilidad y territorio, regulación y gobernanza. Estas iniciativas se enfocan en responder a los retos del desarrollo del hidrógeno verde, promoviendo la sostenibilidad, eficiencia y articulación del sistema logístico. Además, proporcionan una guía para que el Estado priorice inversiones estratégicas que permitan aprovechar plenamente las oportunidades asociadas a esta industria en Magallanes.



# CONTENIDOS

Prólogo.....	3
Contenidos.....	5
Índice de Tablas.....	7
Índice de Figuras.....	8
1    Introducción.....	9
1.1    Marco de política pública.....	9
1.2    El desafío logístico del H2V en la región de Magallanes.....	11
1.3    Un Plan de Desarrollo Logístico.....	12
2    Zona de estudio.....	15
2.1    Geomorfología.....	15
2.2    Geografía Política.....	17
2.2.1    Población.....	18
2.3    Ámbito macroeconómico y laboral.....	19
2.3.1    Sector productivos actuales.....	20
2.4    Carga movilizada.....	23
2.5    Infraestructura de transporte.....	23
2.5.1    Terminales Portuarios.....	23
2.5.2    Rampas de Conectividad.....	28
2.5.3    Infraestructura Vial.....	29
2.5.4    Infraestructura aeroportuaria.....	30
3    El sistema logístico Futuro.....	32
3.1    Demanda proyectada.....	32
3.1.1    Proyección de cargas basales (actuales).....	32
3.1.2    Proyección de la Industria H2V.....	32
3.2    Infraestructura para atender la demanda esperada.....	40
3.2.1    El desafío demanda-capacidad en Magallanes.....	40
3.2.2    Ámbito portuario.....	42

3.2.3	Ámbito vial.....	45
3.3	Patrones geográficos y temporales de uso de la infraestructura .....	47
3.4	Balance demanda-capacidad: puertos.....	50
3.5	Balance demanda-capacidad: vialidad.....	56
3.5.1	Proyectos de intervención vial .....	58
3.6	Requerimientos especiales de los vehículos sobredimensionados.....	64
4	Propuesta de infraestructura para Magallanes .....	65
4.1	Infraestructura habilitante .....	65
4.2	Calendario referencial de actuaciones .....	69
4.3	Gobernanza.....	71
4.4	Emplazamientos adicionales para desarrollo portuario.....	72
4.5	Comentarios finales .....	75
Anexo 1: Demanda Logística Basal .....		77
Anexo 2: Escenarios y Demanda Industria H2.....		81
A2.1	Escenario “Impulso Inicial” .....	81
A2.2	Escenario “Aporte Estrategia” Estrategia Nacional H2V .....	82
Anexo 3: Vector de Parámetros Esenciales .....		83
Anexo 4: Desarrollo Portuario .....		87
Anexo 5: Capacidad Vial.....		90
Anexo 6: Análisis Vial Beneficio Costo .....		93
A6.1	Metodología de análisis de grados de saturación .....	93
A6.2	Dinámicas de espera por vehículos sobredimensionados .....	94
A6.3	Acumulación de vehículos por bloqueo de pista .....	95
A6.4	Circulación nocturna de vehículos sobredimensionados .....	96
A6.5	Costos operacionales del modelo HDM IV .....	97
A6.5.1	Intervenciones estudiadas .....	98
Anexo 7: Cartera de proyectos exploratoria MOP.....		103
Anexo 8: Asignación de flujos a la vialidad.....		109

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Provincias y Comunas de la Región.....	17
Tabla 2-2: Actividades económicas más demandantes de servicios logísticos .....	20
Tabla 3-1: Escenarios de análisis, horizonte 2025-2050* .....	33
Tabla 3-2: Vector de Parámetros Esenciales .....	35
Tabla 3-3: Demanda máxima por escenario (etapa de construcción) .....	37
Tabla 3-4: Resumen de oferta portuaria analizada.....	43
Tabla 3-5: Capacidad estimada para casos representativos de la vialidad regional .....	46
Tabla 3-6: Ejemplo de demanda asignada y déficit (ton/año). “Impulso Inicial” .....	48
Tabla 3-7: Ejemplo de saturación y capacidad remanente (ton/año). “Impulso Inicial” .....	48
Tabla 3-8: Viajes en la Vialidad Escenario “Impulso Inicial” (veh/día) .....	49
Tabla 3-9: Viajes en la Vialidad Escenario Aporte Estrategia (veh/día).....	49
Tabla 3-10: Viajes en la Vialidad Escenario “Impulso Inicial” .....	56
Tabla 3-11: Viajes en la Vialidad Escenario Aporte Estrategia.....	57
Tabla 3-12: Capacidad Vial (veq/sentido/h) y Proyectos Viales .....	58
Tabla 3-13: Indicadores de desempeño para proyectos seleccionados año 2028 .....	59
Tabla 3-14: Indicadores de desempeño para proyectos seleccionados año 2034 .....	60
Tabla 3-15: Análisis comparado de esquemas en la Ruta 255-CH 2025-2050 .....	62
Tabla 3-16: Análisis comparado de esquemas en la Ruta 9 2025-2050.....	63
Tabla 4-1: Propuesta de cronograma de actuaciones .....	69
Tabla 4-2: Años de entrada de incrementos de capacidad de puertos públicos .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Morfología y potencial eólico regional.....	16
Figura 2-2: Provincias y comunas en la Región de Magallanes .....	18
Figura 2-3: Terminal Mardones .....	24
Figura 2-4: Terminal Arturo Prat .....	25
Figura 2-5: Muelle Laredo (ENAP).....	26
Figura 2-6: Terminal San Gregorio (ENAP) .....	26
Figura 2-7: Terminal Cabo Negro (ENAP) .....	27
Figura 2-8: Rampa Punta Delgada.....	28
Figura 2-9: Empalme Ruta 9 con 255-CH.....	29
Figura 2-10: Paso Integración Austral.....	30
Figura 2-11: Aeropuerto Internacional Carlos Ibáñez del Campo.....	31
Figura 3-1: Perfiles de demanda de desembarque esperada.....	38
Figura 3-2: Ubicación de proyectos H2V en Escenario “Impulso Inicial” y conectividad vial y marítima.....	39
Figura 3-3: Infraestructura portuaria analizada.....	42
Figura 3-4: Demanda de transferencias portuarias en Magallanes Continental y curva de capacidad. Escenario “Impulso Inicial” .....	51
Figura 3-5: Demanda de transferencias portuarias en Magallanes Continental y curva de capacidad. Escenario “Aporte Estrategia” .....	52
Figura 3-6: Demanda de transferencias portuarias en Isla Tierra del Fuego y curva de capacidad. Escenario “Impulso Inicial” .....	52
Figura 3-7: Demanda de transferencias portuarias en Isla Tierra del Fuego y curva de capacidad. Escenario “Aporte Estrategia” .....	53
Figura 3-8: Balance demanda-capacidad en Tierra del Fuego comparando oferta estudiada original, y oferta con capacidad de muelle ampliada .....	55
Figura 4-1: Cartografía del Plan propuesto .....	68
Figura 4-2: Esquema resumen de la metodología de definición de Buffers o Área de Influencia para generar las variables que fueron utilizadas en el análisis. ....	72
Figura 4-3: Cartografía de ejemplo: “Aptitud del Borde Costero para el desarrollo de Infraestructura Portuaria”. .....	74



# 1 INTRODUCCIÓN

El presente documento resume el trabajo realizado por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso para la elaboración del Plan de Desarrollo Logístico para la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena. Este Plan constituye un esfuerzo analítico tendiente a evaluar prospectivamente el balance esperado entre demanda y capacidad del sistema logístico en su integralidad, identificar brechas y explorar posibles soluciones, así como recomendar un mecanismo de gobernanza para mantener permanentemente actualizada la herramienta de análisis. De carácter estratégico y agregado, el Plan apunta a orientar acciones desde un nivel *macro*.

El Plan fue desarrollado en coordinación con los Ministerios de Energía, de Transportes y Telecomunicaciones y de Obras Públicas, además del apoyo de un conjunto de actores en la provisión y procesamiento de información, incluyendo la Gobernación Regional y el Programa Transforma H2V Magallanes de CORFO como contrapartes técnicas; así como empresas estatales<sup>1</sup> y desarrolladores privados de proyectos H2V y portuarios que actualmente trabajan en sus iniciativas<sup>2</sup>.

Esta sección entrega en primer lugar el contexto general para la existencia del Plan, seguido de un perfil de la zona de estudio y del desafío que supone el despliegue de la industria del hidrógeno verde y derivados (en adelante, referido indistintamente como H2V) que se ha planteado a partir del potencial energético de la región.

Las secciones siguientes del documento abordan sucesivamente el sistema logístico actual y futuro bajo dos escenarios de análisis, para finalmente entregar un resumen de recomendaciones de desarrollo de infraestructura logística habilitante de la industria.

## 1.1 Marco de política pública

El Estado ha definido en diversos instrumentos una política pública clara y visible de fomento a la producción y uso de este energético, teniendo a la vista sobre todo las oportunidades que representa para Chile desarrollar una industria de volúmenes significativos y alto valor, que lo configure como un actor global clave en un mundo que transita hacia la descarbonización, cumpliendo al tiempo sus propios objetivos y compromisos como nación. Los dos instrumentos clave en este sentido son:

---

<sup>1</sup> Empresa Portuaria Austral y Empresa Nacional del Petróleo.

<sup>2</sup> HIF, HNH Energy, Total Energies, Llaquedona, TEG Gente Grande, EDF, Nordex, Consorcio Austral, Portuaria Otway, Puerto Logístico Cabo Negro y Puerto Armonía.

- Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (2020): Aprobada mediante Decreto N°10, de 2022, del Ministerio de Energía, define la política de largo plazo que establece un conjunto comprensivo y coherente de pilares, objetivos, áreas y etapas de desarrollo apuntando a una visión de Chile como actor global en la naciente industria del H2V que aprovecha las correspondientes oportunidades de descarbonización de su propia economía. Como parte de dicha política, dos zonas geográficas han sido identificadas como las más promisorias, entre otras razones debido a sus valiosos activos naturales para generación eléctrica en base a energías renovables no convencionales: la región de Antofagasta por radiación solar y la región de Magallanes por condiciones eólicas.
- Plan de Acción de Hidrógeno Verde (2024): Aprobado mediante Decreto N°76, de 2024, del Ministerio de Energía, configura un documento de índole práctica, orientado a resultados medibles y funcional a la Estrategia Nacional. Establece un conjunto coherente de actuaciones específicas con horizonte hasta el año 2030, agrupadas en 18 líneas de acción, entre las cuales destaca la 9ª que apunta al desarrollo de infraestructura habilitante para la industria.

A este respecto, el Plan de Acción apunta a la existencia de infraestructura *suficiente y oportuna*, con el Estado en un rol articulador/facilitador y de ejecutor directo de algunas inversiones necesarias que complementen iniciativas privadas y aseguren la disponibilidad de capacidad habilitante inicial. Esto incluye una planificación integral y de alcance interministerial, particularmente pertinente en el ámbito del transporte, la logística y las obras públicas.

En el marco de la coordinación intersectorial, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) cuenta con experiencia valiosa desarrollada en conjunto con el Ministerio de Obras Públicas (MOP), específicamente en la elaboración del Plan Maestro Logístico de la Macrozona Norte (2019) y la metodología general desarrollada para tal efecto, formalizada mediante Resolución Exenta N°1702, del año 2020 del MTT. Si bien esta metodología apunta a conjuntos de regiones (las macrozonas), la singularidad del desafío del H2V en Magallanes hace que la aproximación regional de este trabajo resulte pertinente para la planificación de un sistema de transporte y logística funcional a los objetivos de suficiencia y oportunidad que establece el Plan de Acción.

Además de aportar un conjunto de materias técnicas que permiten orientar el estudio de un territorio específico, la Resolución Exenta N°1702 releva los lineamientos de política de desarrollo logístico, que fueron aprobados en 2019 por el Comité de Ministros de la Comisión Nacional para el Desarrollo Logístico y, entre los cuales, algunos resultan particularmente pertinentes al caso en cuestión:

- Lineamiento N°1: Se desarrollará el sistema logístico con objetivo principal en la calidad de servicio a usuarios y sus cargas.

- Lineamiento N°5: Se incorporarán explícitamente los requerimientos del sistema logístico en los instrumentos de planificación del territorio, de infraestructura y de desarrollo económico locales y nacionales.
- Lineamiento N°6: Se velará porque los proyectos logísticos hagan una utilización eficiente del territorio.
- Lineamiento N°14: Se promoverá la asociación público-privada y la competencia.

## 1.2 El desafío logístico del H2V en la región de Magallanes

Chile presenta condiciones naturales de alta disponibilidad de energía solar y eólica para generación eléctrica y con ello la síntesis de H2V y derivados, lo que representa para el país un activo estratégico clave en el contexto global. Un desarrollo priorizado de la industria del H2V a través de la política pública requerirá una serie de elementos armónicos (p.ej. disponibilidad de terrenos para generación eléctrica, infraestructura habilitante, agilidad en trámites y permisos, disponibilidad de capital humano, etc.), apuntando entre otras materias a la competitividad que el energético elaborado en Chile tenga respecto a otros países que apuntan a ser exportadores.

En el caso de la región de Magallanes, aspectos tales como la calidad de infraestructura portuario-logística, la disponibilidad pública de la misma para distintos desarrollos productivos y la configuración de servicios de transportes locales (camiones, ductos) y de larga distancia (navieros) resultarán clave para asegurar que los productos de H2V que se desarrollen de manera eficiente en Chile se ofrezcan al mercado global en condiciones de cuantía (i.e. capacidad de generación eléctrica y producción de H2V y derivados), económicas (i.e. precio) y temporales (i.e. oportunidad y regularidad de envíos) de primer nivel.

Según cifras de la asociación gremial de desarrolladores H2V en Magallanes, sus miembros manejan una cartera de 7 iniciativas en diversos estadios de desarrollo, con una inversión global de US\$ 60.000 millones para una potencia eólica de 19 GW y un total de producto exportado (graneles líquidos) de 8,5 millones ton/año. La comparación de estas cifras con algunas magnitudes regionales y nacionales son ilustrativas del tamaño de la oportunidad y el desafío para la región y el país.

En primer término, la inversión indicada es equivalente a más de 20 años de PIB regional. Adicionalmente, la potencia eólica que se podría materializar según esta cartera de proyectos equivale aproximadamente al doble del total de generación eólica instalada actualmente en

el país<sup>3</sup>. Finalmente, y en términos logísticos, las exportaciones de producto casi cuadruplicarían el tonelaje total que sale actualmente de la región por vía marítima (los derivados de H2V se exportan íntegramente por este modo).

Según cifras presentadas en la sección 3 de este informe, las oportunidades de desarrollo y los desafíos asociados podrían ser aún mayores en función del escenario de demanda que se materialice, con una cartera de proyectos con ingreso contemplado al SEIA a más tardar en 2026 por 23 GW de potencia eólica y un escenario de más largo plazo que considera el aporte completo de Magallanes a la Estrategia Nacional de Hidrógeno al 2050 de hasta 52 GW de potencia eólica.

El desafío logístico H2V va más allá de los procesos y volúmenes de exportación de amoníaco y biofuels en granel líquido. Un desafío tanto o más importante es asegurar capacidad de entrada de los insumos para construcción de los proyectos de desarrollo, en especial, los aerogeneradores<sup>4</sup>. En base a estimaciones del presente estudio descritas en sección 3 de este informe, 23,2 GW de potencia eólica implicarían un promedio de carga de importación durante la fase de construcción de aproximadamente 8,9 millones ton/año. Si bien esta cifra anual resulta menor que la correspondiente de exportación (10,3 millones ton/año), representa casi 3 veces la carga que se moviliza actualmente en la región por vía marítima.

### 1.3 Un Plan de Desarrollo Logístico

En función de la política pública descrita previamente, a través de la Resolución Exenta N°167, de 2023, de la Subsecretaría de Energía se aprobaron las bases de postulación y se llamó al concurso “DESARROLLO PRODUCTIVO SOSTENIBLE LÍNEA PRESUPUESTARIA ESTRATEGIAS TERRITORIALES: PLAN DESARROLLO LOGÍSTICO REGIÓN DE MAGALLANES”, a partir del cual la Subsecretaría suscribió, con fecha 3 de noviembre de 2023, un convenio de transferencia de recursos con la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, aprobado mediante Decreto Exento N°265, de 30 de noviembre de 2023, del Ministerio de Energía, para la ejecución de las actividades de la citada iniciativa, con financiamiento del Programa de Desarrollo Productivo Sostenible, coordinado por el Comité de Ministros(as) para el Desarrollo Sostenible.

El objetivo general del Convenio apunta a desarrollar un plan de infraestructura logístico-portuaria estratégica y de uso público en la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, que permita principalmente dar respuesta al desafío del potencial desarrollo de la industria

---

<sup>3</sup> 4,5 GW de potencia eólica a nivel nacional, según datos de la Comisión Nacional de Energía: Energía Abierta Ciudadana, CNE, mayo-junio 2024

<sup>4</sup> El aerogenerador tipo que se considera en estos proyectos tiene una potencia unitaria del orden de 7,5 MW, con lo que se deberá importar más de 2.500 unidades en total para los 19 GW eólicos.

del hidrógeno verde. De este modo, el plan apunta permite orientar la toma de decisiones del Estado para el impulso de proyectos específicos de infraestructura habilitante para la industria del hidrógeno verde en la región.

Asimismo, dada la necesaria coherencia con las necesidades logísticas de otros sectores económicos, así como la vinculación natural de Magallanes con las regiones de Aysén y Los Lagos, el Plan de Desarrollo Logístico busca ser un insumo clave para un futuro Plan Maestro de escala macrozonal. Para ello, el desarrollo de las actividades del Convenio se orientó en todo aquello aplicable según los lineamientos metodológicos de la Resolución Exenta N°1702/2020. Algunos de los elementos más pertinentes en este sentido fueron:

- Recopilación exhaustiva de información de carácter primario (i.e. obtenida directamente de entrevistas con actores específicos) como secundario (i.e. fuentes escritas disponibles públicamente o compartidas con el equipo consultor bajo un marco de confidencialidad);
- Caracterización del sistema logístico regional tanto en demanda como en oferta, cubriendo todas las tipologías de carga;
- Definición de un conjunto acotado e informativo de escenarios proyectivos de análisis; y
- Identificación de potenciales brechas de capacidad y estudio de alternativas de solución.

En términos prácticos, el trabajo en el Plan de Desarrollo Logístico reportado en este documento configura un entregable con las siguientes componentes:

- i. Un diagnóstico de la situación futura del sistema logístico regional en cuanto a su balance demanda-capacidad bajo las principales hipótesis de desarrollo planteadas a la fecha de análisis (agosto 2024) por los actores públicos y privados a los que atañe la industria H2V;
- ii. Un conjunto coherente de iniciativas de infraestructura logística apuntando a la suficiencia y oportunidad del sistema;
- iii. Una herramienta de análisis cuantitativo estandarizado que permita a los responsables ministeriales la actualización regular en función de los naturales cambios que se vayan produciendo en el desarrollo de la industria; y
- iv. Una propuesta de gobernanza del Plan de Desarrollo Logístico, incluyendo un mecanismo regular de actualización y reporte a autoridades, y variables críticas de éxito que se deben monitorear.

Como se menciona anteriormente en esta Introducción, el Plan apunta a orientar el análisis y toma de decisiones por parte de actores públicos y privados desde una mirada *macro*, de

carácter estratégico y agregado del sistema. Por ello, no reemplaza futuros análisis focalizados en aspectos puntuales de la infraestructura y los proyectos productivos que puedan proceder en las instancias específicas del caso, por ejemplo, desde análisis viales en los procesos de evaluación ambiental a evaluaciones sociales de intervenciones de infraestructura específicas.

## 2 ZONA DE ESTUDIO

En este capítulo se describen brevemente elementos estructurales de la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena en la actualidad, respecto a su configuración física, económica y logística.

### 2.1 Geomorfología

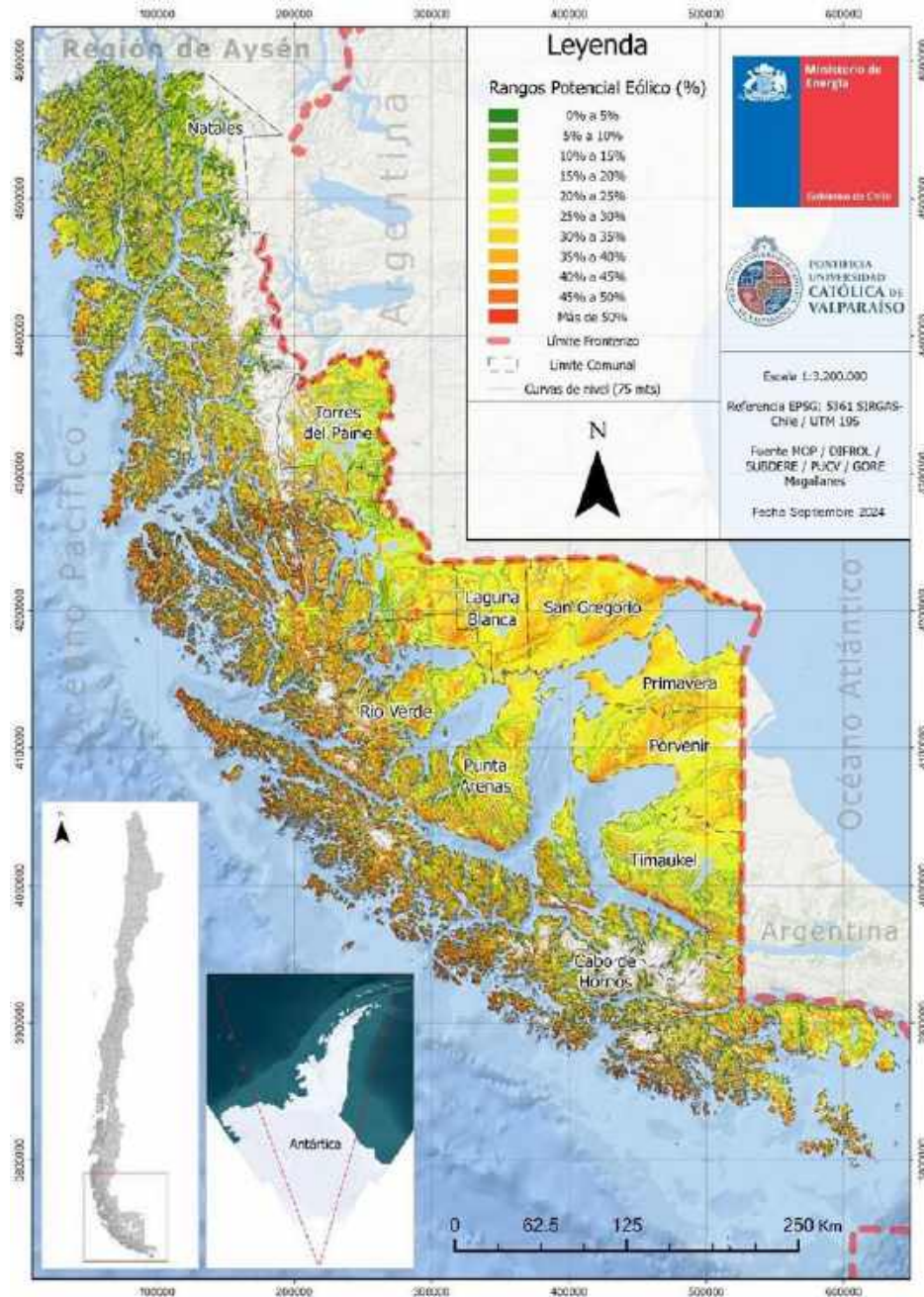
La Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, la más austral y extensa de Chile, abarca el 17,5% del territorio nacional considerando solo su territorio continental (132.291 km<sup>2</sup>). Su geografía es única, con costas fragmentadas por antiguos valles glaciares que forman islas, archipiélagos, penínsulas, canales y fiordos en una topografía irregular. Geomorfológicamente, destacan los relieves de la Patagonia Oriental, la Cordillera de los Andes Patagónicos y la Cordillera Occidental Archipiélica. La Cordillera de los Andes registra alturas variables, desde los 1.500 msnm interrumpidos por fiordos, hasta más de 2.000 msnm en la Cordillera de Darwin, donde se encuentran cumbres como el Cerro Darwin (2.438 msnm).

Esta geomorfología particular tiene varias consecuencias significativas:

- Primero, las extensas planicies y la ausencia de barreras naturales como montañas, permiten el desarrollo de vientos de alta velocidad. Estos fuertes vientos no solo impactan la habitabilidad y el diseño de infraestructuras, sino que también representan desafíos adicionales para la operación de transporte y actividades al aire libre.
- En segundo lugar, la disponibilidad de canteras es limitada tanto en cantidad como en diversidad de materiales. Esto implica restricciones en la construcción de infraestructuras, donde el transporte de materiales desde otros puntos puede ser indispensable, incrementando los costos y tiempos de obra.
- La vialidad de la región presenta baja curvatura tanto vertical como horizontal debido al predominio de paisajes planos. Si bien esta condición facilita el diseño y construcción de rutas, también genera vulnerabilidades, como la exposición a los efectos de los vientos y la acumulación de nieve o hielo durante el invierno.
- La región carece de carreteras que la conecten directamente con el resto del país; por ende, las vías de comunicación al territorio son la marítima y la aérea y la conexión terrestre solo es posible a través del territorio argentino.
- Finalmente, la conectividad mediante barcazas adquiere un rol central en esta región fragmentada por canales y fiordos. Estas embarcaciones no solo son esenciales para el transporte de bienes y personas, sino que también complementan la vialidad terrestre,

integrando áreas de difícil acceso y asegurando la continuidad de las cadenas logísticas.

Figura 2-1: Morfología y potencial eólico regional



Fuente: Elaboración propia

Magallanes posee la categoría de “zona extrema”, lo que en Chile obedece a una definición otorgada por Ley tendiente a otorgar incentivos exclusivos y especiales mediante regímenes normativos de excepción, para incentivar el desarrollo y la economía, como medidas de



fomento de la inversión y tratamientos tributarios especiales, entre otras. Otros regímenes especiales aplicables incluyen el de Zona Franca tributaria.

## 2.2 Geografía Política

La región de Magallanes y de la Antártica Chilena está organizada en 4 provincias<sup>5</sup>, las cuales se subdividen en 11 comunas, siendo Punta Arenas la capital regional y el centro urbano más importante en términos de población y actividad económica.

A continuación, se presenta la división política administrativa a nivel provincial y comunal:

**Tabla 2-1: Provincias y Comunas de la Región**

Provincia	Capital provincial	Comuna
Magallanes	Punta Arenas	Punta Arenas Rio Verde Laguna Blanca San Gregorio
Ultima Esperanza	Puerto Natales	Puerto Natales Torres del Paine
Tierra del Fuego	Porvenir	Porvenir Primavera Timaukel
Antártica Chilena	Puerto Williams	Cabo de Hornos Antártica

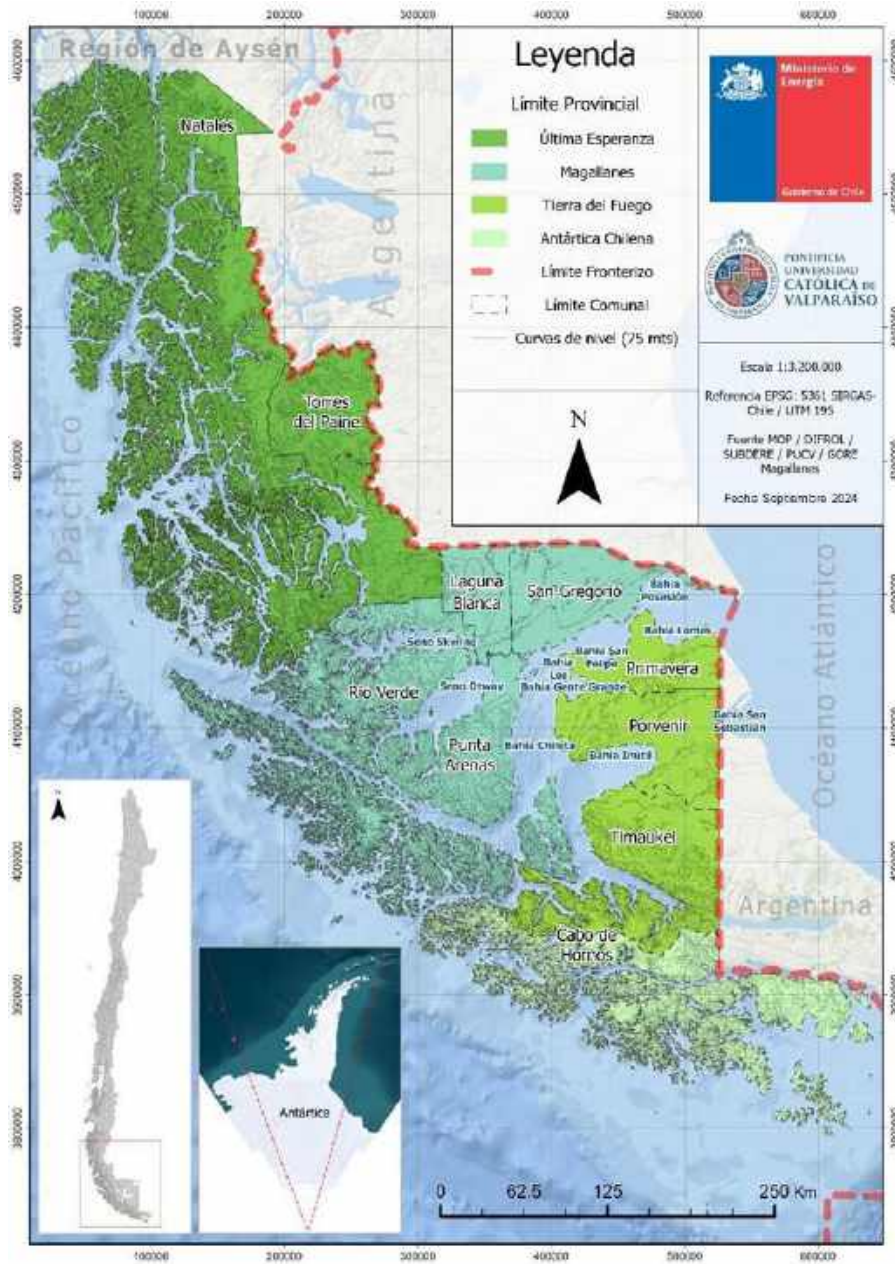
Fuente: Elaboración propia

Esta organización territorial refleja la extensión y diversidad de la región, facilitando la gestión de los recursos y servicios en un área geográficamente compleja y de baja densidad poblacional.

---

<sup>5</sup> Punta Arenas, Última Esperanza, Porvenir y Antártica Chilena.

Figura 2-2: Provincias y comunas en la Región de Magallanes



Fuente: Elaboración propia

### 2.2.1 Población

Según cifras del censo 2017, la región tiene una población total de aproximadamente 167.000 habitantes y es la segunda de menor densidad en el país, siendo sólo superada por Aysén. Tiene una densidad poblacional de 1,26 habitantes por km<sup>2</sup> (considerando sólo superficie

continental), que equivale a menos de 1/20 del promedio nacional para el mismo periodo (26 habitantes por km<sup>2</sup>).

También según el censo 2017, la ciudad de Punta Arenas representa el mayor centro poblado con un 79% del total regional, seguida de Puerto Natales (capital de la Provincia de Última Esperanza) con casi un 13% y Porvenir (capital de la Provincia de Tierra del Fuego) con un 4%.

## 2.3 **Ámbito macroeconómico y laboral**

De acuerdo con lo informado por el Banco Central de Chile, al año 2022 la región de Magallanes generaba un Producto Interno Bruto Regional (PIBR) levemente superior a los US\$ 2.600 millones, equivalente a alrededor de un 0,9% del PIB Nacional. Las actividades productivas que más contribuyen a la producción regional son Administración Pública (14%), Servicios Personales (14%), Industria Manufacturera (12%, dentro de la cual se considera la transformación de hidrocarburos), Servicios Financieros y Empresariales (9%), Pesca (9%) y Propiedad de Vivienda (9%). Según información del Servicio de Impuestos Internos, en 2022 existían en la región casi 17.000 empresas registradas, de las cuales casi 14.000 mostraban actividad (ventas). De éstas, un 1,0% corresponde a empresas grandes, 2,6% a medianas, 22,6% a pequeñas y 73,8% a microempresas.

La Encuesta Nacional de Empleo del Instituto Nacional de Estadísticas reporta al año 2022 un total de casi 92.804 trabajadores, de los cuales 57% eran hombres y 43% mujeres. El empleo se concentra en tres grandes sectores: en primer lugar, Comercio con 16%; Enseñanza, Salud y Asistencia Social también con 16%; y Administración Pública con 13% de trabajadores.

En la matriz exportadora de la región de Magallanes destacan particularmente dos sectores productivos: Pesca y Acuicultura, que en el año 2022 superó los US\$ 800 millones logrando (59% del total regional exportado), y Manufacturas (el cual incluye la transformación de hidrocarburos) que superó los US\$ 400 millones (30% del total).

### 2.3.1 Sectores productivos actuales

La Tabla 2-2 muestra aquellas actividades económicas que representan más del 50% del PIB regional.

**Tabla 2-2: Actividades económicas más demandantes de servicios logísticos**

Actividad Económica	PIB Regional 2022 (miles de millones de pesos)	% Participación (Act. Económica Regional / Total Regional)
Industria manufacturera	288	11,56%
Comunicaciones y servicios de información	201	8,09%
Construcción	172	6,92%
Comercio, restaurantes y hoteles	151	6,05%
Minería	147	5,89%
Pesca	93	3,72%
Transporte	83	3,34%
Electricidad, gas, agua y gestión de desechos	74	2,99%
Agropecuaria-silvícola	52	2,08%
		<b>50,6%</b>

Fuente: Elaboración propia con base en Banco Central

Algunos elementos descriptivos de estos sectores se detallan a continuación:

El sector de manufactura demanda gran cantidad de mano de obra para sus plantas de procesamiento y concentra más de 7.500 empleos, aproximadamente un 8% del total regional. El sector considera alrededor de 598 empresas, que se dedican principalmente al sub-rubro de la elaboración de productos alimenticios, la reparación de productos elaborados en metal y la fabricación de productos elaborados con metal. Entre las industrias relacionadas destacan la extracción de petróleo y gas natural, la elaboración de carnes y pescados, así como la producción de alimentos procesados, que incluye panadería y otros productos alimenticios. Estas actividades no solo abastecen el mercado local, sino que algunas, como la refinación de hidrocarburos, tienen una orientación exportadora.

Los sectores del Transporte (3,34%) y de las Comunicaciones y Servicios de la Información (8,09%) representan conjuntamente un 11,43% del Producto Interno Bruto Regional, y consideran actividades fundamentales para la movilidad de personas y mercancías, como son el transporte de pasajeros y carga, tanto en modalidad regular como no regular, realizado

a través de carretera, vías acuáticas y aéreas. Además, se considera el transporte de carga por tuberías y actividades relacionadas que abarcan servicios de terminales, estacionamiento, manipulación y almacenamiento de la carga, junto con el alquiler de equipos de transporte con conductor u operador y las actividades postales y de mensajería (Instituto Nacional de Estadísticas, 2016). El sector transporte en la región considera un universo de 958 empresas, distribuidas en transporte y almacenamiento (801) e información y comunicaciones (157). Dentro de los sub-rubros principales encontramos las actividades de transporte por vía terrestre, las actividades de apoyo al transporte, y las actividades de transporte marítimo y de cabotaje. El sector concentra alrededor de 9.000 empleos en la región (INE, 2019).

Por su parte, el sector construcción concentra alrededor de 720 empresas (SII, 2020) dedicadas principalmente a los sub-rubros de terminación y acabado de edificios, instalaciones eléctricas, de gasfitería y otras instalaciones para obras; y construcción de edificios. Este sector concentra alrededor de 8.000 empleos, que representan aproximadamente el 8% de la totalidad de puestos de trabajo en la región (Encuesta Nacional de Empleo, 2019). Las exigencias para el sistema de transporte de este sector son variadas y se enfocan principalmente en el transporte eficiente de materiales, el transporte del personal y las consideraciones ambientales. De esta manera, son relevantes las conexiones a los nodos de transferencia de carga marítima y terrestre; las conexiones a zonas de acopio de material y las conexiones a zonas urbanas residenciales y recreativas. No obstante, el uso de los sistemas se configura principalmente en cargas entrantes debido a que el sector no genera productos finales que deban ser trasladados fuera de la región.

El sector comercio concentra un universo de alrededor de 2.479 empresas, de las cuales 1.699 se enfocan en el sub-rubro de comercio al por menor y al por mayor, reparación de vehículos; y 611 a los servicios de alojamiento y servicio de comidas, con 169 empresas dedicadas a otras actividades de servicios. Dentro del sector, el comercio concentra alrededor de 14.500 empleos que representan un 15,7% del total regional, lo que lo ubica como el sector con más puestos de trabajo en la región. Por su parte, los restaurantes y hoteles concentran alrededor de 6.500 empleos representando un 7% del total. En términos de la carga al sistema de transporte de la región, debido a su naturaleza y con la excepción de las entregas a domicilio, este sector no genera productos que demanden capacidad de transporte y logística. No obstante, este no es el caso para la prestación de los servicios, ya que tanto la obtención de los insumos o productos, como los movimientos de personal, imponen exigencias, en particular, en los movimientos urbanos, la recepción y entrega para la preparación de los productos; y la recepción de los productos que luego se comercializarán.

El sector de minería en la región incluye alrededor de 70 empresas (SII, 2020), dedicadas principalmente a los sub-rubros de actividades para el apoyo a la extracción de petróleo y gas natural, extracción de piedra, arena y arcilla; y actividades de apoyo para la explotación de minas y canteras. El sector concentra alrededor de 3.000 empleos en la región que representan aproximadamente el 3,5% del total (INE, 2019). La actividad minera en la región considera únicamente el 0,01 % del total de bienes y servicios que exporta la región lo que equivale en términos monetarios a menos de US\$ 1 millón (Servicio Nacional de Aduanas, 2019).

La minería impone exigencias a los sistemas de transporte en la región, principalmente, en las conexiones con los nodos de transferencia de carga, para recibir los componentes que habilitan el proceso de extracción (vehículos, insumos), para enviar los productos obtenidos y generados a destinos nacionales e internacionales y para el transporte de personal. En la región, las actividades del sector minero consideran la extracción de oro, carbonato de calcio (caliza), turba y combustibles fósiles como carbón, petróleo crudo y gas natural (Anuario Estadístico de COCHILCO, 2022).

La Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) realiza actividades de exploración y producción de yacimientos de hidrocarburos en la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, donde cuenta con operaciones de producción de gas y petróleo en el área costa adentro de la Isla Tierra del Fuego y off shore en el Estrecho de Magallanes. Para el desarrollo de sus actividades cuenta con puertos de embarque; red de oleoductos, gasoductos y poliductos; tiene poblaciones como Cerro Sombrero y Cullen, en la Isla de Tierra del Fuego; y Posesión y Gregorio, en el Continente; además de maestranzas, talleres y bodegas en diversos puntos de la región. El proceso de refinación de petróleo crudo se realiza en la Refinería Gregorio y el proceso de fraccionamiento de *Raw Product* en la Planta Cabo Negro. En logística, las instalaciones son Terminal Cabo Negro y Gregorio para la recepción y embarque de productos. En dichas instalaciones se cuenta con almacenamiento de petróleo crudo, productos intermedios para cargas complementarias de las refinerías y productos terminados. Destaca la producción de metanol en la planta Methanex, en Cabo Negro.

## 2.4 Carga movilizada

Actualmente desde y hacia la región se movilizan respectivamente 3,2 y 2,3 millones ton/año, para un total de 5,5 millones ton/año<sup>6</sup>. De estas, aproximadamente un 52% lo hizo por vía terrestre y un 48% por vía marítima, con el modo aéreo movilizandando un tonelaje marginal dentro del total<sup>7</sup>. En términos desde/hacia la región, el orden actual de importancia relativa de las operaciones es salida marítima (32%), salida terrestre (27%), entrada terrestre (25%) y entrada marítima (16%). Por vía marítima, el cabotaje representa un 55% y el comercio exterior un 45%, mientras que por vía terrestre la importancia relativa se invierte con comercio exterior representando un 71% y cabotaje un 29%. En la globalidad, el comercio exterior representa un 59% del tonelaje movilizadado y el cabotaje un 41%.

## 2.5 Infraestructura de transporte

El sistema portuario de la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena se apoya en cinco terminales portuarias principales que facilitan el comercio, el transporte de mercancías y el tránsito de pasajeros. Además, cuenta con varias rampas de conectividad que son fundamentales para mantener la integración entre distintas localidades y zonas insulares.

### 2.5.1 Terminales Portuarias

#### 2.5.1.1 Terminal Mardones (Punta Arenas)

El Terminal Mardones, de titularidad de la Empresa Portuaria Austral (EPA) es una de las instalaciones portuarias más importantes en Punta Arenas, utilizada principalmente para la carga y descarga de mercancías, incluyendo carga general, carga a granel, combustibles y productos químicos. Actualmente, este terminal está orientado a operaciones de abastecimiento para la región y para apoyar las actividades de exploración y producción de hidrocarburos en la zona. También maneja carga de proyectos especiales y es un punto de apoyo para expediciones antárticas.

---

<sup>6</sup> Promedio 2021-2022 basado en datos de Directemar, Junta de Aeronáutica Civil y Aduanas.

<sup>7</sup> 0,4% promedio 2012-2022.

**Figura 2-3: Terminal Mardones**



Fuente: Elaboración propia. Visita a terreno

### 2.5.1.2 Terminal Arturo Prat (Punta Arenas)

Está situado frente a la zona histórica de la ciudad, constituido por un muelle de penetración sobre pilotes con 18 metros de ancho y de 373 metros de longitud perpendicular a la costa, cuenta con 4,4 hectáreas de terrenos de respaldo ganados al mar. Actualmente este terminal, parte del recinto portuario de EPA, se centra en los servicios a cruceros, buques científicos antárticos y atención de naves de larga estadía. Cuenta con una sala de pasajeros, que ha sido emplazada con una vista privilegiada hacia el Estrecho de Magallanes y a las instalaciones portuarias, en que se ofrecen diversos servicios asociados al turismo y cuenta con todos los servicios básicos.



Figura 2-4: Terminal Arturo Prat



Fuente: Elaboración propia. Visita a terreno

### 2.5.1.3 Terminales de ENAP Laredo, San Gregorio y Cabo Negro

El espigón del **muelle Laredo** es una instalación multipropósito que sirve de punto de conexión para artefactos navales y para gestionar la logística de preparación de las plataformas offshore situadas en Bahía Posesión, en la Boca Oriental del Estrecho. Adicionalmente, el muelle facilita la carga y descarga de materiales menores en remolcadores de alta mar, optimizando las operaciones de transporte desde y hacia las plataformas de costa afuera. El cabezo del muelle posee una extensión de 25 metros. Éste se complementa con un poste de amarre ubicado a 14 metros del borde costero, 3 pilotes de amarre y 4 bitas de amarre. Es importante señalar que el muelle no cuenta con boyas de amarre. El acceso vial de este muelle es a través de la Ruta 9, en específico en la localidad de María Olvio, 25 km al norte de la ciudad de Punta Arenas, donde se encuentra el gate principal del parque industrial Cabo Negro – Laredo de ENAP.

Figura 2-5: Muelle Laredo (ENAP)



Fuente: Elaboración propia. Visita a terreno

Figura 2-6: Terminal San Gregorio (ENAP)



Fuente: Elaboración propia. Vista a Terreno

En la Bahía **San Gregorio** (Puerto Sara), ENAP cuenta con un terminal multi-boyas que efectúa transferencia de productos líquidos, destinado a recibir, almacenar, preparar y embarcar petróleo crudo y productos limpios derivados, por medio de tres líneas submarinas. Se cuenta con almacenamiento de petróleo crudo, productos intermedios para cargas complementarias de las refinerías y productos terminados. Para llegar al terminal San Gregorio desde Punta Arenas, se debe tomar la ruta 9 hacia el norte hasta llegar al cruce con

la ruta 255-CH en Gobernador Phillipi dirección a Punta Delgada. Desde ahí se deben recorrer 63,6 kilómetros aproximadamente hasta la bifurcación que conduce al terminal portuario.

El terminal **Cabo Negro** está especializado para mover gas, granel líquido y productos derivados del petróleo, para consumo nacional y para su distribución internacional. El terminal consta de 2 muelles de tipo transparente, con un sitio de atraque cada uno. El Muelle 1, destinado a la transferencia de gas licuado y productos limpios, cuyas instalaciones arrancan desde tierra, continuando por un muelle cuyo puente de acceso mide 277 metros de largo, finalizando con un frente de atraque de 36 metros de largo y 20 metros de ancho. Para el apoyo del amarre y permanencia de las naves, el muelle posee además 6 duques de alba y 4 postes de amarre. El Muelle 2, está destinado a la transferencia de metanol, cuyas instalaciones arrancan desde tierra, continuando por un muelle cuyo puente de acceso mide 455 metros de largo, finalizando con un frente de atraque de 36,5 metros de largo y 20 metros de ancho. Para el apoyo del amarre y permanencia de las naves, el muelle posee además 6 duques de alba y 6 postes de amarre. El primer muelle posee 2 ductos para carga y descarga de gas licuado. En el segundo muelle existe un ducto para la carga y descarga de metanol. Y ambos no poseen boyas de amarre.

**Figura 2-7: Terminal Cabo Negro (ENAP)**



Fuente: Elaboración propia. Vista a terreno

#### 2.5.1.4 Terminal Puerto Natales

El recinto, administrado por EPA, está localizado en la ciudad de Puerto Natales, cercano al centro urbano. Cuenta con cuatro sitios de atraque: el sitio Sur, especializado para Ro-Ro, relacionado con servicios de cabotaje, especialmente con la región de Los Lagos; el sitio Oeste, destinado a la operación de naves de turismo y pesqueros artesanales, y los sitios

Interior Sur y sitio Norte, donde se realizan operaciones para embarcaciones menores. Por la localización de los proyectos de H2V, este puerto no está destinado a cumplir un rol relevante para este desafío, pero sí lo es para la economía y conectividad de la región y, en particular, de la provincia de Última Esperanza.

## 2.5.2 Rampas de Conectividad

Las rampas de conectividad son infraestructuras esenciales que permiten el acceso de vehículos a las embarcaciones para transporte entre islas y la conexión con otras localidades remotas. Estas rampas están distribuidas en puntos estratégicos para optimizar el acceso en una región donde los cuerpos de agua y la geografía montañosa interrumpen la continuidad de las rutas terrestres.

### 2.5.2.1 *Conectividad a la Isla de Tierra del Fuego*

La conectividad a la Isla de Tierra del Fuego se logra principalmente mediante una infraestructura de rampas y servicios de transbordadores que operan desde Punta Delgada hacia Bahía Azul (5 km) y desde Punta Arenas a Porvenir (35 km). Estos transbordadores tienen un movimiento constante y juegan un papel crucial en el transporte de vehículos y carga, así como en el traslado de pasajeros.

**Figura 2-8: Rampa Punta Delgada**



Fuente: Elaboración propia. Visita a terreno

### 2.5.3 Infraestructura Vial

La red vial de la región se organiza en tres ejes principales. El primero corresponde a la Ruta 9, pavimentada, que conecta Puerto Natales con Punta Arenas y cuenta con ramales que dan acceso a localidades y áreas costeras. El segundo eje es la Ruta 255-CH, también pavimentada, que une el sector de Gobernador Phillipi con Monte Aymond, facilitando el acceso hacia Argentina y la boca oriental del Estrecho de Magallanes. Por último, la Ruta 257-CH, pavimentada, actúa como conexión entre la provincia de Tierra del Fuego y el continente, mediante el cruce en Punta Delgada.

Figura 2-9: Empalme Ruta 9 con 255-CH



Fuente: Elaboración propia. Visita a terreno

En complemento existe una red de caminos secundarios en su mayoría sin pavimentar, que permite la conexión entre localidades más pequeñas y puntos de operación portuaria. Estos caminos, aunque menos transitados, son cruciales para el movimiento de bienes a nivel local y el acceso a las rampas de conectividad.

En la zona continental del área de estudio destacan las rutas Y-405, Y-475 e Y-485, que generan una conectividad entre Punta Delgada y la Ruta 9, de complemento a la 255-CH. Así también la Y-455 e Y-499 dan un complemento y capilaridad entre estos dos ejes mencionados.

En Tierra del Fuego destaca la Ruta Y-65, la única que cuenta con tramos pavimentados. La Ruta Y-71 que conecta el paso San Sebastián con Porvenir y una red más capilar de complemento a las internacionales 257-CH y 259-CH que incluye a la Y-667 y la Y-655.

### 2.5.3.1 Pasos Fronterizos Terrestres

En la red de pasos fronterizos de la región, que incluye 9 instalaciones, destacan por importancia dos: Integración Austral y San Sebastián. El primero conecta el sector norte de Punta Delgada con la localidad argentina de Monte Aymond. Es un paso muy importante por la cantidad de vehículos y personas que lo atraviesan todos los años. El segundo se ubica al norte de la Isla Grande de Tierra del Fuego, a 250 m de la Bahía San Sebastián. Ambos pasos permiten la conectividad argentina a través de territorio chileno conectando al continente con la zona argentina de la isla y sus centros urbanos de Río Grande y Ushuaia.

**Figura 2-10: Paso Integración Austral**



Fuente: Elaboración propia. Visita a terreno

### 2.5.4 Infraestructura aeroportuaria

La región dispone de cuatro infraestructuras aeroportuarias clave. En la zona continental, destacan el Aeropuerto Internacional Carlos Ibáñez y el Aeropuerto de Puerto Natales, que son fundamentales para la conectividad del turismo, la actividad productiva y el transporte de mercancías en las principales zonas urbanas.

En la Isla Grande de Tierra del Fuego, se encuentran el aeródromo de Porvenir y el aeródromo de Cerro Sombrero, los cuales cumplen un rol estratégico en la conectividad regional y local, facilitando el acceso a áreas más aisladas y fortaleciendo la integración territorial.

**Figura 2-11: Aeropuerto Internacional Carlos Ibáñez del Campo**



Fuente: Web CPI

## 3 EL SISTEMA LOGÍSTICO FUTURO

La sección anterior de este documento entrega una descripción resumida del sistema logístico existente a la fecha, incluyendo como componentes clave los ámbitos vial y portuario. A continuación, se presenta la manera en que el sistema previsiblemente evolucionará con el desarrollo de la industria H2V, desde la perspectiva de demanda y oferta proyectadas, y la manera en que ambas se comparan.

### 3.1 Demanda proyectada

La proyección de la demanda para el horizonte 2025-2050 se aborda, por una parte, para la nueva industria del hidrógeno, y por otra, para las cargas actuales de los sectores económicos tradicionales (pecuarias, petróleo, turismo, etc.).

#### 3.1.1 Proyección de cargas basales (actuales)

Se realizó una caracterización de la composición y evolución de los sectores económicos de la región y se construyeron modelos de proyección para el horizonte de análisis basado en el comportamiento histórico en los últimos 15 años. Estos modelos fueron aplicados a los movimientos de carga en puertos, pasos fronterizos, y también a los flujos en la vialidad. Las tasas anuales de crecimiento resultantes fueron de 3,3% para los movimientos de personas y 2,8% para los movimientos de carga.

Con estas tasas, las transferencias portuarias de carga basal para el año 2050 se pueden duplicar respecto a los movimientos actuales. Como referencia, los requerimientos de la industria del hidrógeno, como se presenta en esta sección 3.1.2, alcanzan a ser hasta 30 veces esta demanda actual. Mayores antecedentes se incluyen en el Anexo 1: “Demanda Logística Basal”.

#### 3.1.2 Proyección de la Industria H2V

Se realizó un levantamiento de antecedentes de proyectos de desarrollo de hidrógeno verde y derivados (conformados por generación eólica, electrólisis y otros procesos químicos) en la región, desde estudios previos, información pública y entrevistas con diferentes actores, donde destacan sus respectivos estados de avance (fecha estimada de ingreso al SEIA) y descriptores principales a efectos del análisis logístico en curso (potencia eólica instalada y volumen de producto esperado).



Se identificó un primer grupo de 10 proyectos con ingreso estimado a tramitación ambiental al SEIA hasta el año 2026, en el marco del Escenario denominado **“Impulso Inicial”**, representando una capacidad eólica instalada total de 23,2 GW y un tonelaje anual de exportación en régimen de 10,3 millones de ton/año. Este escenario apunta a representar la solicitud sobre el sistema logístico en cargas de importación y exportación bajo una situación hipotética en que hasta el año 2050 sea esa la potencia eólica y tonelaje movilizado el que se desarrolle en la región.

Se estudió también un segundo Escenario de análisis, denominado **“Aporte Estrategia”**, que busca representar la contribución máxima de la Región de Magallanes a la Estrategia Nacional de Hidrógeno. Este escenario genera el requerimiento logístico para una capacidad eólica instalada de 52 GW y una producción anual exportada de 23,4 millones de ton/año, considerando todos los proyectos que declararon al mes de agosto del año 2024 su intención de participar en el desarrollo de la industria del H2V en la región, más proyectos adicionales supuestos para completar los valores de referencia del escenario.

**Tabla 3-1: Escenarios de análisis, horizonte 2025-2050\***

	Escenario	
	Impulso Inicial	Aporte Estrategia
Capacidad eólica instalada	23 GW	52 GW
Participación del aporte de Magallanes a la Estrategia H2V (base potencia)	44%	100%
Exportación promedio de granel líquido (fase operación)	10,3 millones ton/año	23,0 millones ton/año
Importación máxima de carga general (fase construcción)	9,2 millones ton/año	10,2 millones ton/año

Fuente: Elaboración propia

Nota: Cifras redondeadas. Mayores antecedentes respecto del método e hipótesis de cálculo se entregan en el Anexo 2 “Escenarios y Demanda Industria H2”.

La Tabla 3-1 compara de manera resumida los escenarios de demanda, indicando algunas cifras que los caracterizan desde la mirada de este Plan. Se incluye los movimientos de carga durante las fases de a) construcción (es decir, carga general de importación a la región, requerida para la habilitación de parques eólicos, plantas químicas de producción, etc.), y b) operación (es decir, graneles líquidos de exportación desde la región una vez que los proyectos se encuentran operando en régimen).

Los datos aquí presentados sobre potencia instalada y volumen de producto son los vigentes a septiembre 2024, en una realidad que se reconoce cambiante a medida que dichos proponentes mejoran sus estimaciones desde estudios conceptuales a estudios de diseño de detalle.

La Tabla 3-1 incluye los volúmenes totales de importación de carga que se estima requerirán los proyectos H2V bajo cada escenario. Estas cargas *de proyecto*<sup>8</sup> responden a los siguientes desafíos logísticos:

- Entrada, almacenamiento y transporte de componentes de las torres eólicas, siendo la mayor parte de ellas cargas sobredimensionadas en volumen;
- Construcción de las fundaciones en hormigón armado, movimiento de tierras y otras obras civiles para sostener las torres aerogeneradoras;
- Construcción de centrales eléctricas para la transformación de potencia y transmisión de energía al interior de los respectivos predios;
- Construcción e instalación de plantas de electrólisis y de fabricación de amoníaco/e-fuels;
- Construcción de plantas químicas de electrólisis o transformación a derivados y e-fuels;
- Instalación y construcción de tuberías, elevadores de presión, estanques de almacenamiento;
- Construcción de puertos y caminos; y
- Habilitación de campamentos para la construcción, traslado de personas y sus requerimientos de agua, alimentación y disposición de residuos.

A efectos del análisis realizado, se estimaron los tonelajes totales y el número de viajes requeridos por los proyectos en sus diferentes fases (construcción, operación), lo cual permite a su vez dimensionar las solicitudes por transferencias portuarias y por tráfico vial. Esto se realizó integrando la información disponible proveniente de diversas fuentes públicas como, por ejemplo, información de proyectos de generación eólica y de hidrógeno verde presentados al Sistema de Evaluación Ambiental, otros estudios de proyección de la industria a nivel nacional, etc. Con el fin de estructurar una base de datos parametrizada, se combinaron tales datos con supuestos técnicos complementarios como, por ejemplo, turnos de trabajo por semana, tasas de ocupación de vehículos, etc.

De esta forma, para cada proyecto y escenario de demanda se cuantificó el volumen total de carga de importación en puertos y los viajes terrestres asociados durante la fase de

---

<sup>8</sup> Sobre las cargas de proyecto: Los volúmenes de importación durante la fase constructiva y la fase operativa de los proyectos están en razón aproximada 4:1. Existe una primera fase intensa en desembarque de insumos, componentes, piezas y materiales, y una segunda fase asociada a la operación y mantenimiento de las plantas. Esta razón de 4:1 tiene una excepción que corresponde al proyecto de e-fuels que requerirá la importación adicional de biomasa y por lo tanto la razón es más cercana a 3:1. Estas cargas de desembarque en puerto se complementan con otros requerimientos de mover productos en tierra, correspondiente a personal de faena, gravas de cantera, insumos locales y disposición de residuos.

construcción. La forma de estimación considera que la construcción de un proyecto involucra diferentes tipos de insumos con sus respectivos desafíos logísticos, que en este caso se agrupan en 3 clases:

- a) las cargas sobredimensionadas que pueden ser componentes de aerogeneradores o componentes de plantas electroquímicas, con requerimientos especiales tanto en puertos como en la vialidad. Estas cargas se estiman en función de los GW instalados.
- b) los insumos de construcción que ingresan por puertos, que corresponden a una amplia gama de equipos, maquinarias, materiales de construcción, elementos, etc. El tipo de embalaje puede ser carga general, carga suelta o contenedorizada. El requerimiento de carga de importación se estima en función de los GW instalados.
- c) el resto de los movimientos necesarios para la construcción, que no ingresan por puertos. Estos pueden corresponder a transporte de personal desde la ciudad a los campamentos, los insumos materiales que provee la propia región (por ejemplo, el agua potable e industrial), el material de cantera, el transporte de residuos sólidos o líquidos, etc.

Como parte de este proceso sistemático de estimación se definió un Vector de Parámetros Esenciales (VPE) que identifica aquellos supuestos centrales del análisis cuantitativo objeto del estudio. Así, el vector de parámetros esenciales modula los volúmenes de cada una de las tres clases consignadas previamente, indicando el valor y también la fuente que sustenta el haber adoptado cada uno de esos supuestos. Algunos de estos parámetros influyen en la estimación de la demanda, mientras que otros impactan en la capacidad de la oferta<sup>9</sup>, según se consigna en la Tabla 3-2. En el Anexo 3 se entregan mayores detalles respecto a su estimación.

**Tabla 3-2: Vector de Parámetros Esenciales**

Parámetro	Descripción	Valor	Influye en
Piezas por aerogenerador (#)	Componentes por torre (3 segmentos de torre, 3 palas, 1 nacelle, 1 drive train, 1 hub)	9	Demanda
Potencia por aerogenerador (MW)	Potencia de generación eólica promedio Este valor se utiliza en ausencia de un valor específico expresado por el desarrollador. Algunos declaran usar de 6 MW, otros 7 MW y otros 7,5 MW	7,2	Demanda

<sup>9</sup> La revisión futura de los criterios utilizados en el VPE, debido por ejemplo a la disponibilidad de nueva información sobre la industria, permitirá ajustar las estimaciones de demanda y capacidad. Del mismo modo, este conjunto de parámetros facilita el diseño de análisis de sensibilidad que permiten evaluar cómo variaciones en los mismos pueden afectar los resultados.

Otras piezas (%)	Los desarrolladores requieren movilizar no solo partes de torres aerogeneradores sino también módulos integrados de la planta química. Se asume un % que se suma al número de piezas de torres AG para obtener el número total de cargas sobredimensionadas.	12%	Demanda
meses con movimiento de aerogenerador (%)	Fracción del período de construcción durante la cual se movilizan unidades desde puerto a faena	80%	Demanda
Años entre Ingreso EIA e Inicio Construcción (#)	Tiempo para obtener la Resolución de Calificación Ambiental (RCA), conseguir el financiamiento y tomar la decisión de inversión final.	3	Demanda
Ajuste estimación de la AH2M (150 mil TEU por GW) (%)	La Asociación H2 Magallanes estima que para construir una capacidad eólica tipo de 10 GW se requiere, además de los aerogeneradores, el equivalente a la carga que se puede transportar en un millón y medio de contenedores de 20 pies (TEU). Este parámetro de ajuste (multiplicativo) permite hacer sensibilización	100%	Demanda
Otros viajes / viajes impo (%)	Sobre la estimación de toneladas de desembarque, se agrega un porcentaje adicional de carga que no ingresa por puertos. Son viajes de trabajadores, alimentación, agua potable, tolvas de cantera, residuos, lodos, etc.	100%	Demanda
Oper/Const (%)	Relación entre la demanda en la etapa de operación y la etapa de construcción.	24%	Demanda
Carga Cam Puerto (ton/veh)	Tasa de ocupación (ton/veh) de los camiones de importación. Es lo que transforma las toneladas a vehículos.	25	Demanda vial
día/mes (días)	Días de trabajo por mes. Se usa único para todos los procesos.	26	Demanda
Horas día proyecto (horas)	Número de horas diarias de transporte en vías. Sirve para el análisis vial de demanda capacidad, que es por hora	14	Demanda vial
Rendimiento grúa (ton/h)	Rendimiento de las grúas en puertos (toneladas transferidas por hora).	194	Capacidad Portuaria
Cierre (%)	Porcentaje del tiempo en que el puerto está cerrado por razones climáticas (downtime)	40%	Capacidad Portuaria

Fuente: Elaboración propia. Nota: Se reportan en la tabla también parámetros esenciales asociados a la estimación de capacidad portuaria, materia que se aborda más adelante en este documento.

Adicionalmente a lo ya indicado, el análisis contempla también una relación de escala entre los movimientos de cargas en la etapa de construcción y aquellos de la etapa de operación;

el primero es 4 veces más intenso que el segundo, en ton/año. Esta relación se ha adoptado, por simplicidad, homogénea entre proyectos. Cabe notar que la mayor parte de ellos son proyectos productores de amoniaco, que toman nitrógeno del aire, pero hay algunos de los que producen e-fuels y para ello necesitan importar biomasa. Para esos proyectos, la etapa de operación no generará necesidades de importación del 25% de la construcción, sino cercano al 37%. Pero se debe consignar que: i) esto aplica para un 1% de la capacidad instalada del Escenario “Impulso Inicial”, y 15% de la de “Aporte Estrategia”; ii) esta solicitud es en la época valle, después de que la infraestructura está construida y tiene capacidad excedentaria, como se verá en la sección 3.4.

Cabe notar también que el objeto de análisis es la carga de importación de los insumos para la construcción (piezas, partes, materiales, etc.) y movimientos de la operación (químicos, repuestos, personal, residuos), pero no se consideran los movimientos de producción, que irán por tuberías, en sistemas logísticos separados, desde las plantas de producción hasta los terminales de embarque.

Los resultados de la estimación de demanda se indican resumidamente en la Tabla 3-3 y con desagregación temporal en la Figura 3-1. Detalles adicionales sobre la derivación de la demanda se incluye en el Anexo 2.

**Tabla 3-3: Demanda máxima por escenario (etapa de construcción)**

Escenario	Transferencia portuaria		Viajes terrestres	
	Carga sobredimensionada (ton/año)	Carga regular (ton/año)	Carga sobredimensionada (viajes/sentido/año)	Carga regular (viajes/año)
“Impulso Inicial” 2029	1.717.540	7.450.580	10.649	590.304
“Aporte Estrategia” 2034	1.413.095	8.793.673	8.762	665.583

Fuente: Elaboración propia

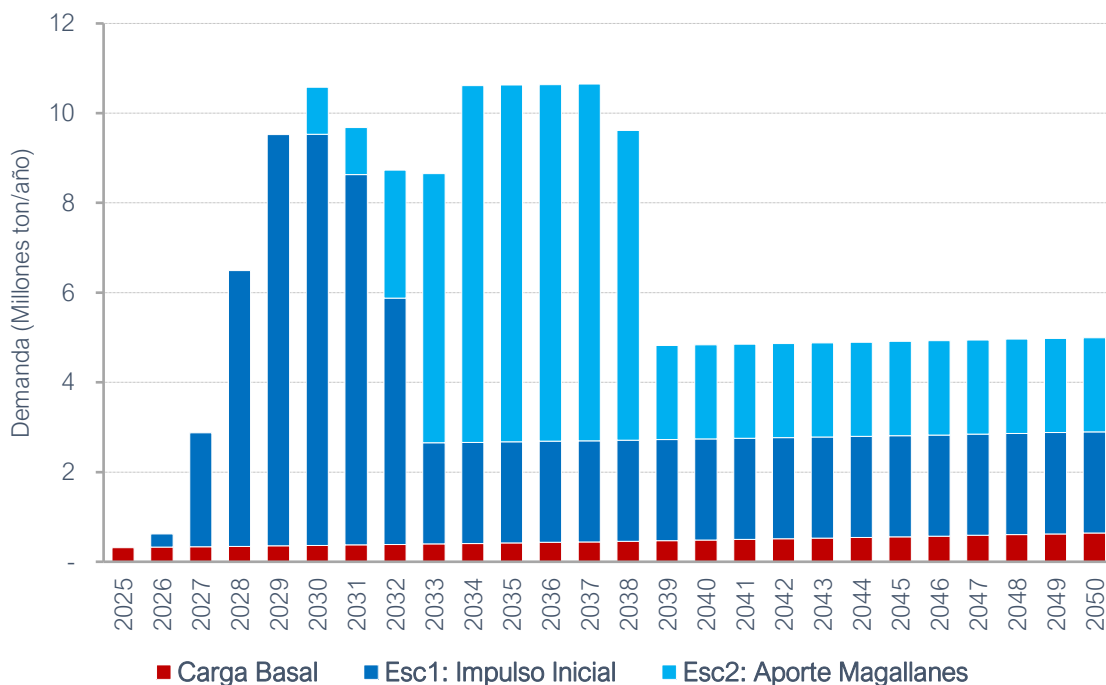
Puede apreciarse que para el sistema portuario hay una solicitud de 9,2 millones de toneladas por año en el primer peak de demanda, dado por el escenario “Impulso Inicial”, el cual se alcanza en 2029, y de ellos, un 18% corresponde a carga sobredimensionada, principalmente de aerogeneradores, pero también de plantas químicas. En el escenario Aporte Estrategia, la solicitud por año es de 10,2 millones, que es un 11% mayor que “Impulso Inicial”.

Se advierte también que el número de aerogeneradores por año en el escenario “Impulso Inicial” “es mayor que en “Aporte Estrategia”, lo que se observa como transferencias portuarias y como carga en la vialidad. Esto se debe a que la demanda en “Impulso Inicial”

está más concentrada: esto es, se desarrolla en menos años que la demanda de “Aporte Estrategia”.

Se destaca también que la carga regular en puertos y en la vialidad es mayor en escenario “Aporte Estrategia”. Esto se debe a que este es un escenario acumulativo, y en 2034 se cuentan los movimientos de los proyectos en etapa de construcción (de “Aporte Estrategia”) y los de etapa de operación (de “Impulso Inicial”). Esto se aprecia con claridad en la Figura 3-1.

**Figura 3-1: Perfiles de demanda de desembarque esperada**



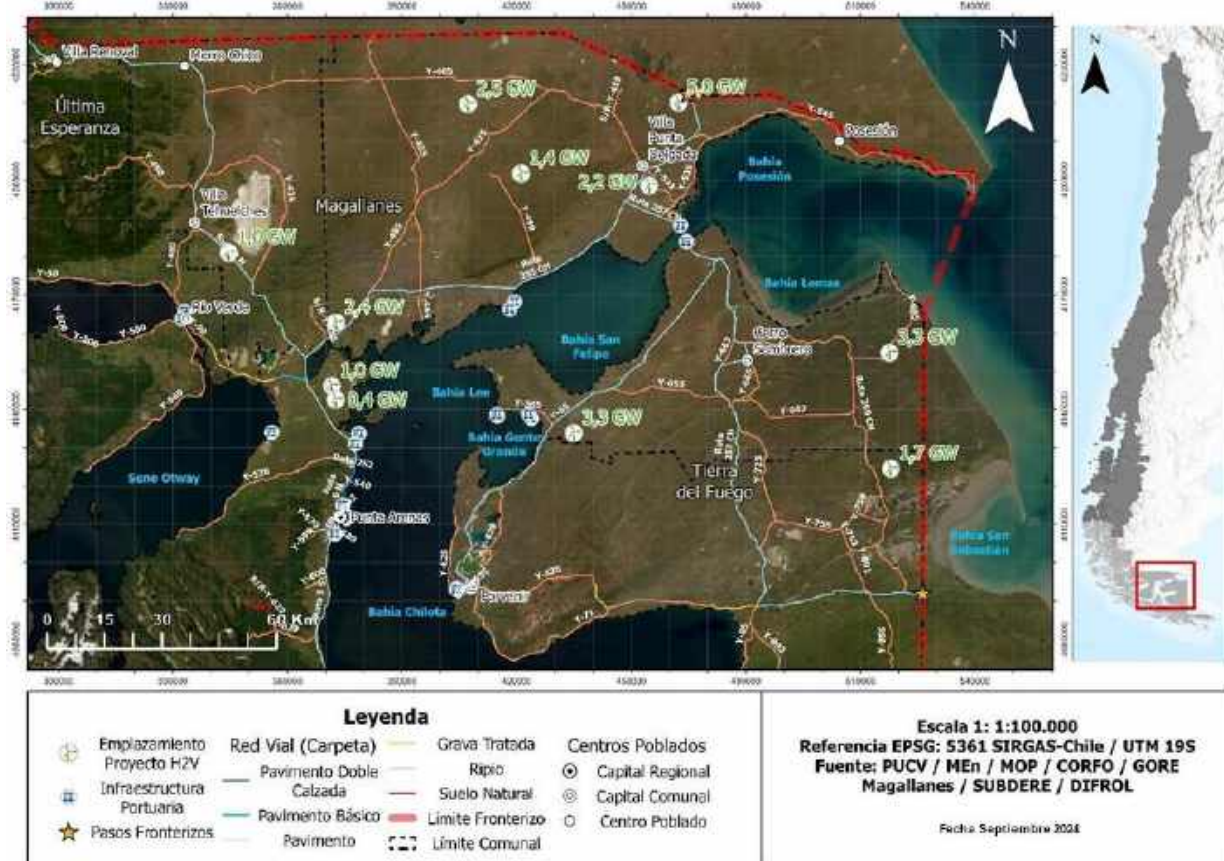
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se incorporó al proceso de estimación de demanda la dimensión geográfica de cada proyecto, con el objetivo de dimensionar posteriormente el requerimiento sobre cada elemento de infraestructura vial y portuaria para cada año de análisis. En este sentido, por la propia lógica de los escenarios, los proyectos H2V asociados a “Impulso Inicial” tienen emplazamientos conocidos<sup>10</sup>, los cuales se ilustran en la Figura 3-2. Por su parte y según se indica en la definición de escenarios, “Aporte Estrategia” asume directamente la existencia de proyectos adicionales hasta alcanzar el potencial regional total, razón por la cual se adoptó para efectos del análisis una hipótesis complementaria de agrupación de esta capacidad instalada adicional en 6 proyectos: dos de ellos conocidos y 4 para los cuales se ha supuesto

<sup>10</sup> En términos agregados 36% de la potencia instalada corresponde a Tierra del Fuego y 64% a continente.

una localización estimada, en función de las zonas con mayor potencial eólico en la zona de estudio y su conectividad con las infraestructuras portuarias conocidas. Esto permite espacializar la demanda y por tanto identificar los usos de infraestructura logística más probables.

**Figura 3-2: Ubicación de proyectos H2V en Escenario “Impulso Inicial” y conectividad vial y marítima**



Fuente: Elaboración propia

La demanda de empleo ha sido declarada por algunos de los desarrolladores, tanto para la etapa de construcción como de operación. Tomando dicha información como referencia se construyó un modelo de regresión para relacionar esa demanda de empleo con la capacidad instalada. El modelo resultante<sup>11</sup> permite estimar una generación de empleo de 16.847 empleos para el “Impulso Inicial”, y de 36.541 empleos para “Aporte Estrategia”.

La demanda de viajes de estos trabajadores se encuentra incorporada dentro de la estimación, como parte de los viajes viales adicionales no relacionados con puertos, parte de

<sup>11</sup> El modelo es una regresión lineal para el número de empleos generados en función de la capacidad instalada en GW de cada proyecto:  $\text{Empleo} = 1227 + 0,679 * \text{Cap\_Instalada}$

los supuestos resumidos en el vector de parámetros. Adicionalmente, esta estimación puede ser útil para dimensionar los requerimientos de eventuales ampliaciones aeroportuarias en la región.

## 3.2 Infraestructura para atender la demanda esperada

### 3.2.1 El desafío demanda-capacidad en Magallanes

Las siguientes son algunas de las características relevantes que definen el desafío público-privado para la provisión de infraestructura logística en Magallanes en el horizonte de estudio:

- i. La demanda total esperada a raíz del desarrollo de la industria H2V representa órdenes de magnitud muy superiores a la oferta portuaria disponible actualmente en la región<sup>12</sup>. El desarrollo de esta industria H2V debe producirse manteniendo capacidad portuaria y vial suficiente para no obstaculizar las demás actividades propias de la economía regional.
- ii. Desde el punto de vista de los puertos, la tipología de cargas H2V que se deberá atender responde a dos configuraciones muy diferentes:
  - **Desembarque de importación de bienes de capital e insumos de producción**, transportada en buques de carga general y de proyecto, en la forma mayoritaria de carga fraccionada descargada a muelle o barcaza ro-ro, cubriendo desde aerogeneradores y otros componentes sobredimensionados (y en algunos casos sobrepesados), hasta carga general transportada por ejemplo en contenedores.
  - **Embarque de graneles líquidos para exportación**, en su mayoría amoníaco, transferidos por ducto refrigerado desde las instalaciones productivas hasta estanques en puerto y desde ellos por ducto (submarino o sobre muelle) hasta dispositivos de carga adyacentes a los sitios de atención de naves cisterna.

Estas dos configuraciones requieren tipologías distintas de terminal portuario, con capacidades que no son directamente sustitutivas entre sí (sin perjuicio de eventuales economías de escala que se pueden generar en el diseño de los terminales para sus operaciones de importación y exportación).

- iii. Dentro de las cargas de importación para construcción y para operación, existe un factor de escala en que la operación representa un 24% de las cargas de construcción.

---

<sup>12</sup> A modo de ejemplo, el tonelaje promedio durante el peak de importación esperado en el Escenario Impulso Inicial corresponde a 9,2 millones de ton/año, lo cual representa 12 veces la capacidad nominal total actualmente instalada en los terminales de estudio en la región (i.e. aquellos que movilizarían carga asociada a la construcción de la industria del H2V).



Así, los supuestos que se realizan sobre la curva de avance del proceso de construcción de un proyecto, es determinante en la comparación con la capacidad. En este estudio se ha asumido que la duración de la construcción es función del tamaño del proyecto, y que el movimiento de aerogeneradores se realiza en el 80% del plazo de la construcción del proyecto. Si en la práctica, los tiempos de construcción resultan más largos, o si el inicio de la construcción se desplaza entre proyectos respecto de lo aquí planteado (3 años desde ingreso al SEA), entonces el requerimiento de capacidad por año será menor.

- iv. En el caso del Escenario “Impulso Inicial”, el período alto de demanda de importación tiene una extensión relativamente corta, con aproximadamente 6 años. En “Aporte Estrategia” la duración es de 9 años, observándose traslape con el primer grupo de proyectos a contar del año 2030.
- v. El balance entre demanda y capacidad, sobre todo en la componente portuaria es altamente dependiente de los calendarios de desarrollo de los proyectos que configuran cada escenario. A modo de ejemplo, extender el horizonte de implementación de 12 a 19 años (i.e. aproximadamente un 60% más) conduce a una disminución de las toneladas anuales promedio de aproximadamente 18%, equivalente a la capacidad combinada de 3 terminales portuarios tipo en la zona de estudio<sup>13</sup>.
- vi. La oferta portuaria actualmente en estudio y desarrollo en la Región de Magallanes considera terminales bajo dos regímenes legales separados y con normativa diferente para asegurar un eventual uso compartido: por un lado, puertos estatales con un marco tarifario y de asignación de infraestructura propios de sus obligaciones de uso público y no discriminatorio, y por otro, puertos privados en que tales condiciones son establecidas de manera directa entre las empresas involucradas bajo condiciones de negociación, no necesariamente simétricas ni extensibles directamente a terceros.
- vii. En el ámbito vial se observa también una alta sollicitación sobre la red por parte de las cargas de importación y no así las de exportación (que se mueven esencialmente por ducto y no por camión), pero su preponderancia sobre las cargas basales ocurre sólo en algunos casos como por ejemplo ciertos caminos de la red secundaria (Rutas Y).

---

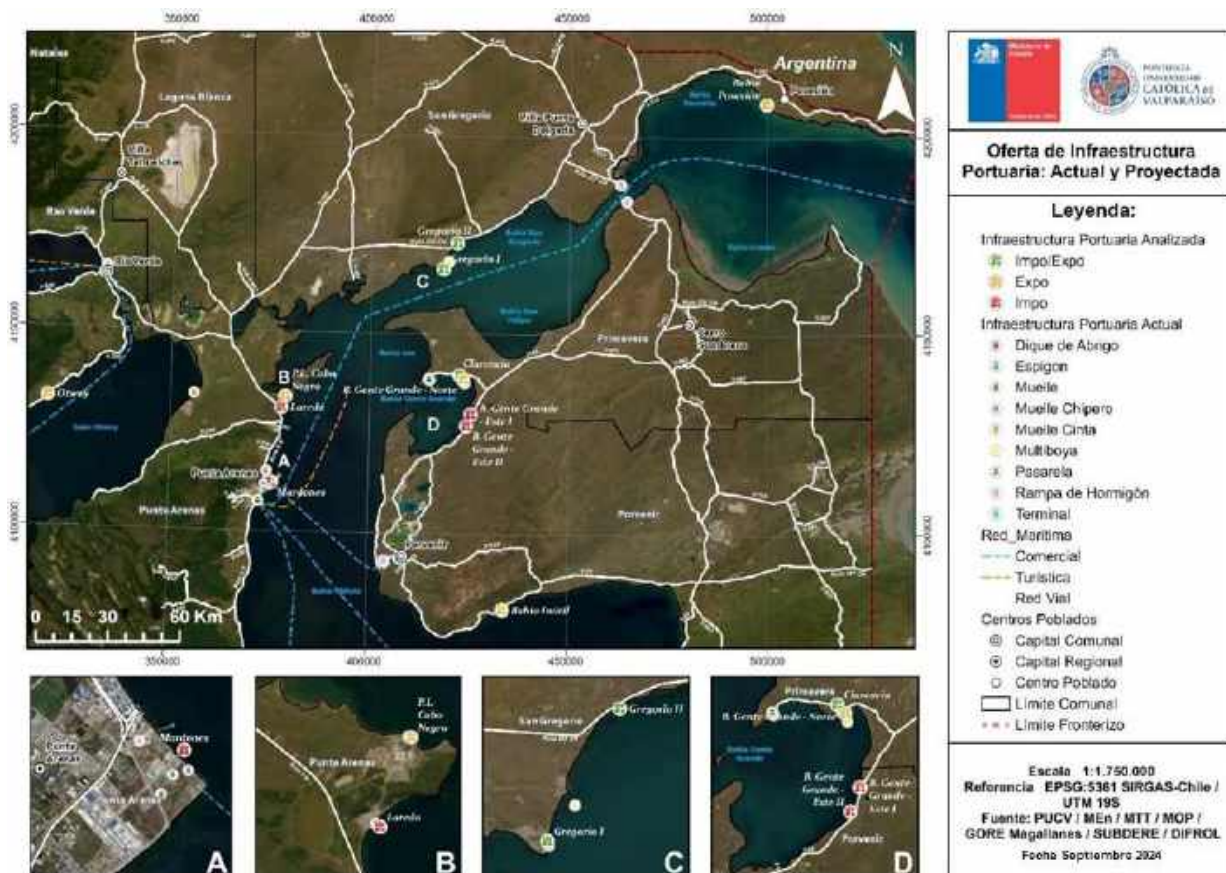
<sup>13</sup> Capacidad portuaria promedio de cuatro terminales privados propuestos por desarrolladores en la región, de entre 548.000 y 613.000 toneladas por año.

### 3.2.2 Ámbito portuario

La oferta portuaria futura estudiada para la región se puede organizar según la siguiente tipología:

- i. Infraestructura para atraque de buques y descarga a camión en muelle/pontón mediante grúas in situ o grúas propias de las naves: aplicable a aerogeneradores y otros componentes sobredimensionados, contenedores, carga fraccionada, etc.
- ii. Infraestructura para atraque de buques y descarga a camión o equipo rodado posicionado sobre barcaza ro-ro, mediante grúas in situ o grúas propias de las naves: aplicable a aerogeneradores y otras componentes, módulos industriales prefabricados, etc.
- iii. Infraestructura para varamiento de barcazas ro-ro (i.e. rampas) y transporte rodado a sitios de construcción.
- iv. Infraestructura para amarre o atraque de buques de granel líquido y su carga mediante equipamiento sellado emplazado in situ.

**Figura 3-3: Infraestructura portuaria analizada**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-4: Resumen de oferta portuaria analizada**

Terminal portuario	Tipo	Impo/expo	Régimen de uso	Descripción	Capacidad incremental importación (ton/año)
Laredo (ENAP)	I	Impo	Público	Pontón flotante en sitio existente	715.000
Gregorio I (ENAP)	I, IV	Impo/expo	Público	Nuevo terminal	1.500.000
Mardones (EP Austral)	I	Impo	Público	Reforzamiento muelle	803.500
Mardones (EP Austral)	II	Impo	Público	Nuevo muelle en terminal existente	1.108.000
Gregorio II	I, IV	Impo/expo	Privado integrado	Nuevo terminal	548.000
Bahía Posesión	I, IV	Impo/expo	Privado integrado	Nuevo terminal	548.000
Otway	II	Impo	Privado independiente	Conversión de terminal existente	153.000
Puerto Logístico Cabo Negro	I, III	Impo	Privado independiente	Nuevo terminal	1.251.000
Bahía Inútil	I, III, IV	Impo/expo	Privado independiente	Nuevo terminal	613.000
Clarencia	IV	Expo	Privado integrado	Nuevo terminal	-
Bahía Gente Grande – Lado Norte	IV	Expo	Privado integrado	Nuevo terminal	613.000
Bahía Gente Grande - Lado Este I			Privado integrado	Nuevo terminal	613.000
Bahía Gente Grande - Lado Este II		Impo	Privado integrado	Nuevo terminal	276.000
<b>Capacidad de importación adicional en continente</b>					<b>6.627.000</b>
<b>Capacidad de importación adicional en Tierra del Fuego</b>					<b>2.115.000</b>
<b>Capacidad de importación adicional Total</b>					<b>8.742.000</b>

Fuente: Elaboración propia

Nota: Capacidades evaluadas se redondean a miles de toneladas, por simplicidad.

Cabe indicar, que en la descripción se han considerado las siguientes categorías:

- Pontón: Estructura flotante de hormigón reforzado con un grupo interior de cámaras rellenas con un material impermeable ligero, normalmente poliestireno, con capacidad para ser fondeado y empleado como muelle para transferencia de carga.

- Conversión: Transformación de infraestructuras previas a través de reforzamiento, ampliación o modificación de estructuras.
- Nuevo Terminal: Construcción de terminales completamente nuevos.

En específico, los proyectos portuarios considerados en el análisis para el horizonte 2025-2050 se consignan en la Figura 3-3 y la Tabla 3-4. Más antecedentes relativos a aspectos tales como metodología de estimación de capacidad y años de entrada en operación se incluyen en Anexo 4: “Desarrollo Portuario”.

En la Tabla 3-4 anterior se incluyen las capacidades estimadas de cada terminal portuario. Antecedentes completos de estas estimaciones se incluyen en el Anexo 4. La metodología aplicada se enfoca en la componente muelle, bajo la hipótesis de que esa será la etapa del proceso portuario más proclive a enfrentar estrechez de capacidad (y no manejo en patio o salida terrestre de la carga). Para ello se considera el rendimiento de infraestructuras clave como grúas y rampas, junto con la disponibilidad horaria y anual del puerto, y se incorporan factores de eficiencia, tiempo de recalada de naves y número de sitios para la nave de diseño. La información utilizada proviene de estudios conceptuales e ingeniería básica accesible, complementada por supuestos basados en diagramas y esquemas operacionales. En cuanto a rendimientos, se empleó un factor agregado que combina la transferencia de grandes piezas (como componentes de aerogeneradores) con carga general y contenedores. De este modo, la capacidad nominal de muelle para importación se establece multiplicando el rendimiento de grúa, la disponibilidad del terminal, ajustada por factores climáticos, la capacidad de atención simultánea de múltiples grúas y el número de sitios. El factor de ocupación, que incluye la eficiencia operativa, tiempo de estadía en puerto y distribución de naves, también incide en la capacidad. Con todo ello, se obtienen estimaciones de capacidad que permiten contrastar la información directa aportada por desarrolladores con los cálculos realizados según la metodología descrita, siendo posible realizar ajustes futuros en función de información adicional que resulte del avance técnico de los diversos proyectos.

Al mes de agosto 2024, la mayor parte de los proyectos portuarios listados se encuentra en diversas etapas de estudio o diseño, siendo los más avanzados las ampliaciones de los terminales Mardones y Laredo. Estas iniciativas representan un primer paquete de infraestructura habilitante para la región, tratándose de inversiones estatales para el mejoramiento de instalaciones portuarias pre-existentes, que serán recuperadas mediante tarifa a usuarios. Estos proyectos cuentan con permisos ambientales que habilitan el inicio de obras; los demás terminales forman parte de Evaluaciones de Impacto Ambiental ya en curso o con ingreso contemplado en el horizonte hasta el año 2026.

### 3.2.3 Ámbito vial

Por su parte, se han identificado cuatro tipologías de proyecto vial, detallados a continuación, de las cuales las tres primeras fueron abordadas en el análisis:

- i. Ensanchamiento de las vías pavimentadas para incorporar una pista de circulación adicional.
- ii. Habilitación de zonas de detención temporal de vehículos sobredimensionados (zonas de amortiguamiento), emplazadas a intervalos suficientes que permitan evitar demoras significativas para los demás usuarios de la red.
- iii. Habilitación de caminos secundarios para el ruteo de cargas de proyecto evitando utilización de la vialidad estructurante.
- iv. Puntos de conflicto vial: enlaces, zonas de interferencias viales, entre otros.

De manera focalizada, se estudia la red vial asociada a las áreas en que se desarrollará la industria del hidrógeno verde en la región, con especial énfasis en el aumento de capacidad de la Ruta 255-CH en los tramos de mayor exigencia, lo cual puede alcanzarse con un proyecto de ampliación a doble calzada en los tramos de mayor uso proyectado, o bien, con la habilitación de tramos de pista o zonas de amortiguamiento, que pueden servir para el estacionamiento temporal para permitir el paso del flujo acumulado. En cuanto a los caminos secundarios, se estudia el aumento de capacidad a través de un mejoramiento de la carpeta, cambiándola del estado original no pavimentada, a alguna solución pavimentada (hormigón o asfalto).

La decisión entre pavimentar con hormigón o asfalto es económica considerando duración y uso. En términos de inversión inicial, el asfalto es generalmente más económico, pero viene acompañado de una vida útil menor en comparación con el hormigón, especialmente en climas extremos. En zonas con ciclos de hielo y deshielo, el asfalto tiende a deteriorarse con mayor rapidez; así, la flexibilidad del asfalto, que en otros contextos sería una ventaja, en estas circunstancias puede derivar en la aparición de grietas y deformaciones. Este tipo de desgaste requiere una mantención periódica para asegurar condiciones de circulación. En cambio, el hormigón, pese a su mayor rigidez, se comporta de manera más estable bajo cambios térmicos extremos, lo cual contribuye a una vida útil que puede superar fácilmente la del asfalto en estos contextos. El asfalto demanda reparaciones más frecuentes y de menor duración, con procesos de bacheo y repavimentación que deben ejecutarse varias veces durante el ciclo de vida. El hormigón, aunque también requiere mantención, demanda menos intervenciones y permite prolongar el tiempo entre reparaciones. A nivel de capacidad de carga, el hormigón soporta mejor el tránsito pesado y continuado, lo cual lo convierte en una opción adecuada en rutas de alto tráfico o donde circulan vehículos sobredimensionados.

Adicionalmente, para el desafío vial en el contexto de la construcción de aerogeneradores, existe interés también de dar solución a restricciones puntuales de radio de giro de vehículos sobredimensionados, lo cual requiere estudios específicos de simulación de ruta, levantamiento de restricciones de gálibo (estructuras, postes, cables), y propuestas de solución. Por el alcance estratégico de esta planificación, las recomendaciones sobre esta materia se realizan a nivel general; en este contexto, la regulación prevé que el proponente de cada proyecto que exija este tipo de intervenciones presente a la Dirección de Vialidad los estudios de ruta para vehículos sobredimensionados.

En términos de capacidad vial, se condujo un análisis basado en el Highway Capacity Manual<sup>14</sup> (HCM). Este documento entrega herramientas cuantitativas que permiten, para un tramo de vialidad de características físicas conocidas<sup>15</sup>, estimar su capacidad nominal máxima. Para la tipología de caminos en el área de estudio se aplicaron las fórmulas de estimación de la capacidad nominal, obteniéndose los valores de la tabla siguiente. En el Anexo 5 se entregan mayores antecedentes respecto a la metodología de estimación aplicada al área de estudio.

**Tabla 3-5: Capacidad estimada para casos representativos de la vialidad regional**

Caso	Carpeta	Pistas por sentido	Ejemplo	Capacidad Estimada (veh/sentido/h)	Comentario
1	Pavimentada	1	Ruta 9 al norte aeropuerto Ruta 255-CH	1.000	Valor adoptado de acuerdo con estimación de 986 veh/h luego de aplicar factores de ancho de berma, ancho de pista, composición, visibilidad, geometría horizontal y vertical, proporción ida-vuelta
2	Pavimentada	2	Ruta 9 al sur aeropuerto	2.000 (total) 1.000 (por pista)	Se adoptó por simplicidad, pero en este caso HCM indica valores más altos, porque no existe adelantamiento restringido por flujo en contra.
3	No pavimentada	1	Rutas “Y” antes de mejoramiento	600	Valor recomendado por HCM, de 60% de la capacidad de vía pavimentada.

<sup>14</sup> Disponible en <https://highways.dot.gov/safety/pedestrian-bicyclist/safety-tools/volume-13-22-3-25-highway-capacity-manual-hcm-5th-edition>

<sup>15</sup> Geometría vertical y horizontal, tipo de superficie, etc.

4	Pavimentada en mal estado	1	Rutas “Y” pavimentadas antes de mejoramiento	800	Supuesto del plan, en función de los valores anteriores.
---	---------------------------	---	--	-----	--

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Patrones geográficos y temporales de uso de la infraestructura

Para predecir los niveles de ocupación de la infraestructura portuaria/vial y según lo indicado en la primera sección de este capítulo, se relaciona la demanda de insumos de construcción de cada proyecto de desarrollo con la oferta portuaria. Esto implica estudiar por cuál o cuáles de los terminales activos en la región más probablemente ingresarán los componentes de aerogeneradores, el acero, los insumos de hormigón que no se encuentran en la región, los componentes de las plantas electroquímicas, los cables y tuberías, entre otros. Lo anterior se realiza para cada año. Esta heurística de relacionamiento o asignación portuaria se construye en función de:

- a) La información declarada por el desarrollador respecto a qué puertos utilizará y en qué años;
- b) La distancia de los puertos alternativos que pueden dar respuesta; y
- c) La capacidad remanente de dichos puertos.

En el caso vial, se procede de manera similar, año por año, tomando en cuenta la asignación que se ha hecho de la demanda por proyecto a cada puerto alternativo. Esta asignación previa de la alternativa portuaria genera una indicación sobre cuál será la ruta vial (si es única) o cuáles serán las rutas alternativas para ella. Se considera también, tal como el caso anterior, la declaración de rutas que pueda haber hecho un determinado proyecto de desarrollo, la longitud de las rutas y la capacidad remanente de la vialidad. Asimismo, se incorpora la circulación por vías que conectan con Argentina, toda vez que algunos proyectos han declarado su intención de transferir cargas de importación para la etapa de construcción por terminales portuarios de dicho país.

Un supuesto adicional del análisis es el funcionamiento continuo de los puertos en tres turnos operativos para generar la capacidad portuaria necesaria que habilite la industria. Este supuesto se extiende también a la mayoría de los transportistas terrestres, empresas de servicios logísticos, algunos servicios a la carga y de fiscalización. Con todo, habrá algunos servicios logísticos que tendrán un régimen de trabajo con descanso de fin de semana, generando una discontinuidad o espera en algunos de los procesos. Esto queda representado en las expansiones día-año a través del factor de 26 días por mes que se consigna en el Vector de Parámetros Esenciales.

La heurística de asignación se aplica para cada año en el horizonte: se recorre cada uno de los proyectos y se asigna a los puertos según la preferencia declarada, la distancia y capacidad remanente. De este modo, reasignaciones durante el horizonte se dan de acuerdo con estos criterios, sin considerar otras rigideces potencialmente observables en la realidad, como efecto por ejemplo de contratos. En algunos años es posible también encontrar que la oferta no es suficiente para el nivel de demanda, lo que queda reflejado como déficit de capacidad por proyecto (demanda no atendida).

**Tabla 3-6: Ejemplo de demanda asignada y déficit (ton/año). “Impulso Inicial”**

Escenario – Año - Zona	Demanda de Importación	Demanda satisfecha	Demanda no satisfecha	déficit
“Impulso Inicial” (2027) - Continente	2.533.308	2.533.308	0	0
“Impulso Inicial” (2027) - Tierra del Fuego	0	0	0	0
“Impulso Inicial” (2029) - Continente	5.896.952	5.788.483	108.469	1,8%
“Impulso Inicial” (2029) - Tierra del Fuego	3.210.672	0	3.210.672	100%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-7: Ejemplo de saturación y capacidad remanente (ton/año). “Impulso Inicial”**

Terminal	Año 2027		Año 2029	
	Capacidad	Saturación	Capacidad	Saturación
Laredo (ENAP)	2.492.627	84%	2.492.627	100%
Gregorio I (ENAP)	715.082	71%	715.082	100%
Mardones (EP Austral)	-	-	450.000	100%
Bahía Gregorio II	-	-	-	-
Bahía Posesión	-	-	153.000	99%
Seno Otway	-	-	274.000	99%
Nuevo terminal Cabo Negro	-	-	-	-
Bahía Inútil	-	-	-	-
Clarencia	-	-	-	-
Bahía Gente Grande – Lado Norte	-	-	1.251.000	100%
Bahía Gente Grande - Lado Este I	-	-	548.000	99%
Bahía Gente Grande - Lado Este II	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

La distribución de los viajes generados se realiza caso a caso de acuerdo a la distribución espacial de los puertos de entrada, la vialidad estructurante, la ciudad de Punta Arenas y su aeropuerto (para los viajes de personas), los centros de disposición de residuos, entre otros.



Al aplicar estos criterios se obtiene la siguiente distribución de viajes a asignar en la vialidad estructurante:

**Tabla 3-8: Viajes en la Vialidad Escenario “Impulso Inicial” (veh/día)**

veh/día/sentido año 2028	F. Antes	F. H2V	Suma	Solo VSD
Ruta 9, al sur de Punta Arenas	522	381	903	4
Ruta 9, sector bif. Aeropuerto	5.258	1.165	6.423	16
Ruta 9, entre Laredo y 255-CH	1.052	914	1.966	14
255-CH, entre Ruta 9 y Y-455	374	435	810	5
255-CH, entre Y-455 y Gregorio	360	186	546	2
255-CH entre Gregorio y P. Angostura	404	88	491	-
255-CH, entre P. Angostura y Posesión	49	91	140	3
Paso Integración Austral / M. Aymond	351	328	679	-
Y-485 - Y-475	16	447	463	3
Y-405 entre Y-475 y 255-CH	16	416	433	3
Y-455 entre Y-405 y Y-475	16	285	301	-
Y-499	16	146	162	2
259-CH tramo norte (E-O)	129	-	129	5
Y-667	10	-	10	-
Y-655	117	-	117	-
Y-65 entre Y-655 y Gente Grande	126	-	126	5
257-CH	361	-	361	-
Y-65 entre 257-CH y Y-655	204	-	204	5
259-CH tramo Este (N-S)	361	-	361	5
257-CH tramo sur (E-O)	204	-	204	-

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-9: Viajes en la Vialidad Escenario Aporte Estrategia (veh/día)**

veh/día/sentido año 2034	F. Antes	F. H2V	Suma	Solo VSD
Ruta 9, al sur de Punta Arenas	616	622	1.238	6
Ruta 9, sector bif. Aeropuerto	6.205	1.143	7.349	10
Ruta 9, entre Laredo y 255-CH	1.241	968	2.209	10
255-CH, entre Ruta 9 y Y-455	442	509	950	5
255-CH, entre Y-455 y Gregorio	425	31	456	-
255-CH entre Gregorio y P. Angostura	476	287	763	3
255-CH, entre P. Angostura y Posesión	58	70	128	-

Paso Integración Austral / M. Aymond	414	92	506	-
Y-485 - Y-475	19	580	599	5
Y-405 entre Y-475 y 255-CH	19	303	322	3
Y-455 entre Y-405 y Y-475	19	437	456	5
Y-499	19	34	54	-
259-CH tramo norte (E-O)	153	123	276	3
Y-667	12	62	74	-
Y-655	138	62	200	-
Y-65 entre Y-655 y Gente Grande	148	217	365	5
257-CH	426	208	634	-
Y-65 entre 257-CH y Y-655	240	72	313	-
259-CH tramo Este (N-S)	426	198	623	-
257-CH tramo sur (E-O)	240	266	507	3

Fuente: Elaboración propia. Corresponde a viajes diarios contando vehículos en un sentido. Se presentan los flujos previos (F. Antes), de la industria (F. H2V) y agregados (Suma), y también se presenta el número de vehículos sobredimensionados en esa vía. Notar que el año 2028 es máximo para escenario “Impulso Inicial”, mientras que el año 2034 es máximo para escenario “Aporte Estrategia”.

### 3.4 Balance demanda-capacidad: puertos

Este análisis apunta a evaluar si la infraestructura portuaria y sus recursos operativos pueden satisfacer la demanda proyectada de transferencia de carga o pasajeros en un horizonte de tiempo determinado. Este análisis se basa en comparar la capacidad máxima que puede ofrecer cada componente del terminal portuario (muelle, patio y accesos) frente a los volúmenes previstos de operación.

En este trabajo se abordó con detalle el análisis de la capacidad de transferencia en muelle, utilizando tasas de transferencia en toneladas por hora para grúas, realizando supuestos sobre las diversas variables que determinan la operación portuaria, lo cual está reportado en la sección 3.1 y Anexo 3, en el vector de parámetros esenciales.

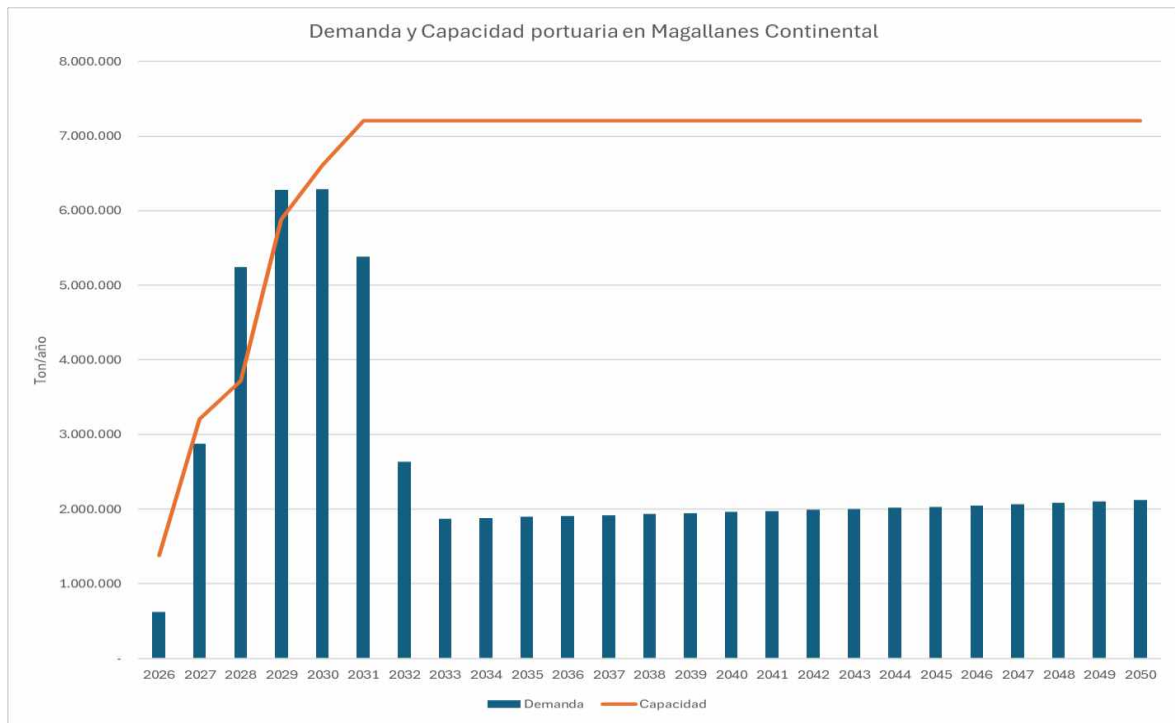
Las componentes de capacidad patio y accesos no se estudiaron con detalle porque:

- a) En su mayoría, los proyectos portuarios en análisis son nuevos en zonas sin restricción activa de, por ejemplo, estar en un centro urbano que impida su acceso a terrenos para acopio, lo que significa que pueden diseñarse de manera que esto no sea una restricción.
- b) El único puerto en la zona de estudio que podría ameritar un análisis de restricción de acopio es Mardones, en que EPA está realizando dichos análisis.

- c) El diseño de accesos (número de gates, conectividad vial y puntos singulares para asegurar virajes y movimientos de grandes piezas) debe abordarse de forma separada, con metodologías más propias del diseño vial, que excede al análisis de nivel estratégico del Plan.

La Figura 3-4 y la Figura 3-6 ilustran el balance entre demanda y capacidad nominales obtenido de los cálculos ya reportados en este documento, pero ahora separando los subsistemas componentes del área de estudio: Magallanes Continental y la Isla de Tierra del Fuego, para el horizonte en análisis, con la demanda del Escenario “Impulso Inicial” y “Aporte Estrategia” para cada una de estas áreas<sup>16</sup>.

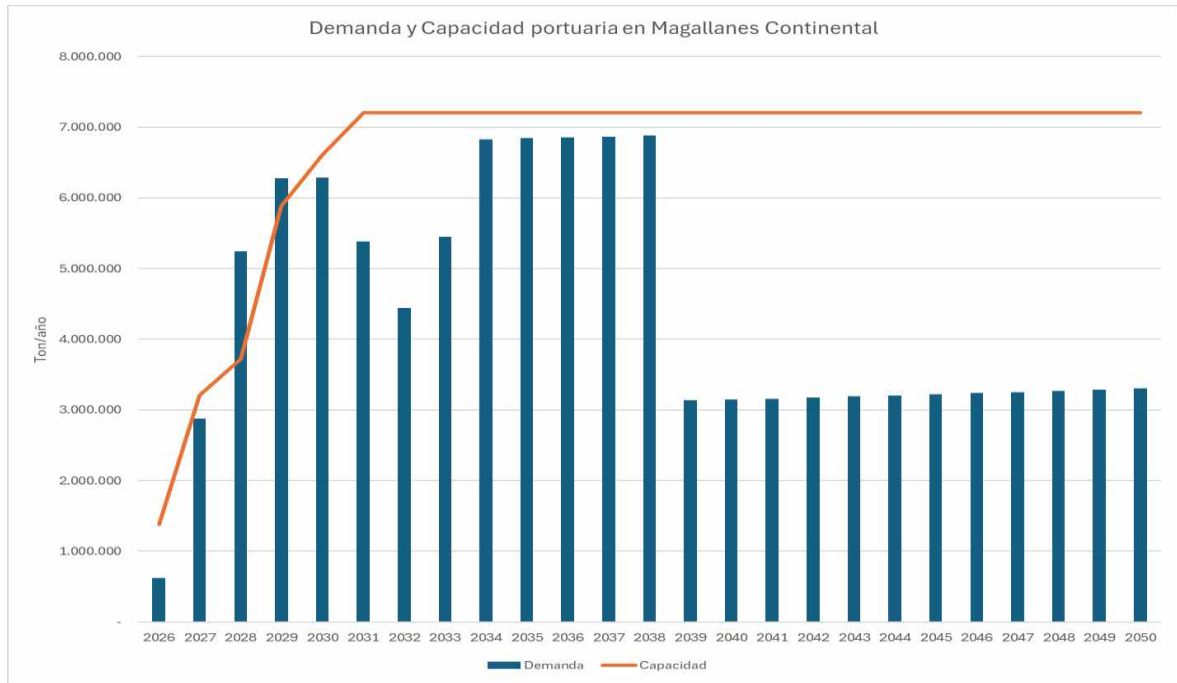
**Figura 3-4: Demanda de transferencias portuarias en Magallanes Continental y curva de capacidad. Escenario “Impulso Inicial”**



Fuente: Elaboración propia

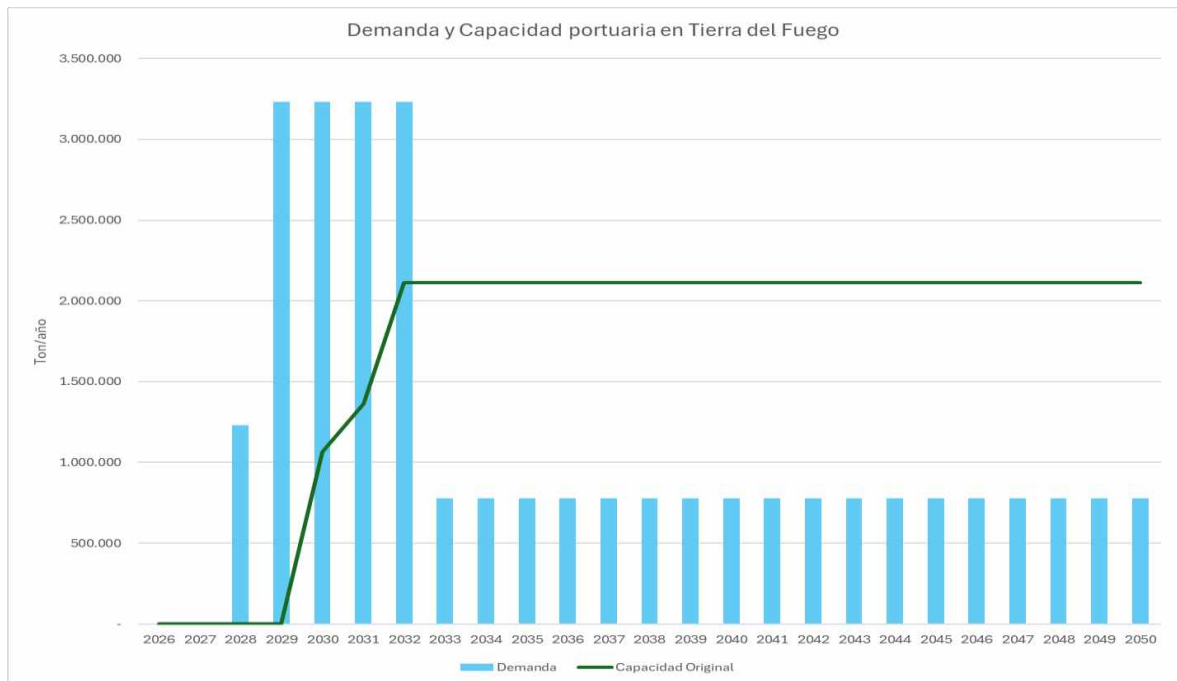
<sup>16</sup> Como fue presentado anteriormente, para el escenario Impulso inicial, el requerimiento es similar en los primeros años, careciendo de la segunda ola que se aprecia entre 2034 y 2038.

**Figura 3-5: Demanda de transferencias portuarias en Magallanes Continental y curva de capacidad. Escenario “Aporte Estrategia”**



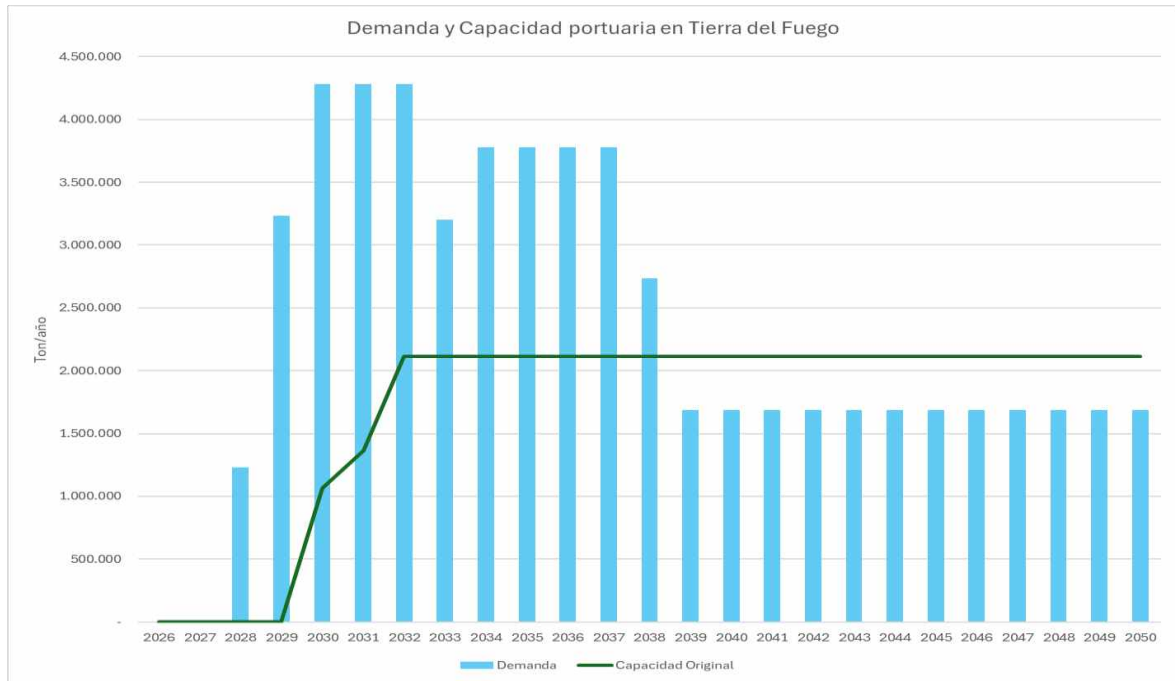
Fuente: Elaboración propia

**Figura 3-6: Demanda de transferencias portuarias en Isla Tierra del Fuego y curva de capacidad. Escenario “Impulso Inicial”**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 3-7: Demanda de transferencias portuarias en Isla Tierra del Fuego y curva de capacidad. Escenario “Aporte Estrategia”**



Fuente: Elaboración propia

Los resultados indican que en el lado continente la capacidad portuaria nominal es mayoritariamente suficiente para atender la demanda proyectada, tanto para las fases de construcción (hasta el año 2038) como de operación (desde aproximadamente 2039 a 2050)<sup>17</sup>, con la sola excepción de los años 2028 y 2029, en los que el nivel de saturación alcanza 141% y 107%. Estas últimas cifras se deben considerar más como alertas que como situaciones de estrechez portuaria, en función de la naturaleza agregada de la metodología y su precisión: el sistema se encuentra cercano a su capacidad y por lo tanto sería altamente dependiente del calendario efectivo de desarrollo de los proyectos H2V, de los rendimientos efectivos que se obtenga en terminales portuarios, etc. A modo de test de sensibilidad, en el caso hipotético de que dos proyectos de H2V de los analizados se retrasaran en un año, el sistema volvería a encontrarse en equilibrio demanda-capacidad.

En el lado Tierra del Fuego la situación es distinta. Aquí, durante prácticamente todo el período de construcción se presentaría una escasez de capacidad respecto a la demanda portuaria: en términos aproximados, esta brecha va del simple al doble. Esto se deriva directamente del hecho de que la demanda de los 5 proyectos H2V contemplados en este escenario se traslapa

<sup>17</sup> En rigor las etapas de construcción y operación no están separadas por un año de corte único en 2038, pues los proyectos individuales van terminando la primera y comenzando la segunda etapa de manera progresiva. El análisis se presenta de la manera indicada en el texto por simplicidad.

en el tiempo a un nivel suficiente como para hacer que la infraestructura ofertada por los 3 puertos disponibles (2 que forman parte de proyectos de desarrollo H2V y 1 que es independiente) no alcance a satisfacerla. Es decir, para el stock de oferta portuaria contemplado en el análisis una dinámica de infraestructura compartida sería sólo viable en la medida que el desarrollo de los proyectos productivos fuese más espaciado en el tiempo. Etapas de proyecto o proyectos H2V completos se debieran entonces diferir en el tiempo, sea en sus ciclos naturales de desarrollo (por ejemplo, tramitación de permisos) o por decisión de sus titulares.

Complementariamente al desfase temporal, algunas opciones no excluyentes para subsanar el desbalance demanda-capacidad en Tierra del Fuego serían las siguientes:

1. Mejoramiento de la conectividad en el cruce del Estrecho de Magallanes para permitir aprovechamiento de la capacidad excedentaria disponible en el lado continente. Podría tomar dos formas:
  - Desembarque de la carga en alguno de los terminales con capacidad excedentaria en 2030 y 2031 (Mardones, Bahía Gregorio, Laredo) -capacidad excedentaria de importación de aproximadamente 4.000 piezas en 2030 y 11.700 en 2031<sup>18</sup>, seguido de transporte terrestre de las cargas hasta Primera Angostura, embarque en barcaza ro-ro y continuación de viaje hasta las faenas de construcción. Requeriría mejoramiento de la infraestructura de rampas en el cruce y un mayor stock de camiones de transporte sobredimensionado y de capacidad del servicio marítimo, entre otros recursos; y
  - Transbordo de la carga en alguno de los terminales con capacidad excedentaria en 2030 y 2031 (Mardones, Bahía Gregorio, Laredo) hacia barcazas ro-ro para cruce directo del estrecho. Requeriría mejoramiento de la infraestructura de rampas en el cruce y un mayor stock de camiones de transporte sobredimensionado.
2. Ampliación de la capacidad portuaria en los terminales ya contemplados en Tierra del Fuego, mediante equipamiento e infraestructura adicional.
3. Habilitación de nuevos terminales portuarios en emplazamientos geográficos distintos; por ejemplo, en alguno de aquellos identificados en el análisis de bahías con aptitud portuaria desarrollados en este estudio (reportados en la sección 4.4 de este informe).

El dimensionamiento y estimación de costos de estas soluciones exceden el alcance del presente análisis; sin perjuicio de ello, un primer análisis cualitativo de las opciones descritas

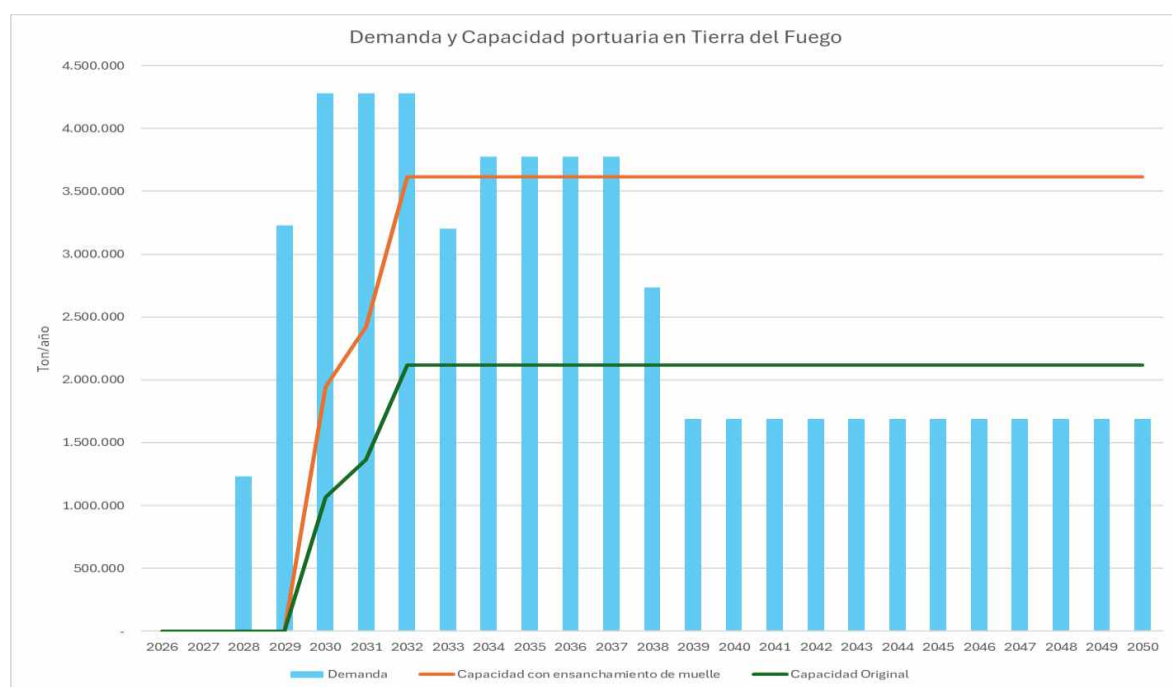
---

<sup>18</sup> Cabe recordar que en 2028-2029 existe en el continente un déficit de capacidad, por lo que, si termina posponiéndose la construcción en un año de aquellos proyectos que buscaban implementarse en 2028 o 2029, entonces esta capacidad excedentaria será menor).

indica que la alternativa número 2 podría ser la más directa y potencialmente de mayor efectividad y eficiencia en costos. Un ejemplo de esto es la realización de inversiones en uno de los terminales de importación del lado Este de Bahía Gente Grande, específicamente el ensanchamiento y refuerzo marginal de muelles para permitir la operación de un mayor número de grúas y la atención de dos naves en simultáneo. Esta solución se complementaría con un aprovechamiento de la capacidad excedentaria que podrían ofrecer las rampas en el otro terminal del lado Este, combinado con inversiones en barcazas ro-ro previo transbordo de las cargas desde la nave amarrada o atracada en el lado Norte.

Esta solución se estudió de manera exploratoria desde la perspectiva de capacidad, con los resultados indicados en la Figura 3-8.

**Figura 3-8: Balance demanda-capacidad en Tierra del Fuego comparando oferta estudiada original, y oferta con capacidad de muelle ampliada**



Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la Figura 3-8 indican que una solución de este tipo permitiría avanzar en la dirección de ofrecer suficiencia de capacidad, solucionando el problema de estrechez a contar del año 2033. Sin embargo, para los años previos el problema se mantendría, siempre bajo la hipótesis de que los calendarios de desarrollo de los proyectos se mantienen en lo indicado previamente en este informe. El seguimiento de avance de los diferentes proyectos debiese determinar si esta hipótesis se mantiene como la más cercana a la realidad esperada y, adicionalmente, estudiar la viabilidad de aumentos de capacidad al tenor de lo indicado en

función de estudios de ingeniería y otros que entreguen estimaciones detalladas de costo, prestaciones máximas, etc.

### 3.5 Balance demanda-capacidad: vialidad

En base a los estimados de capacidad indicados en la Tabla 3-5 y a las asignaciones de tráfico indicadas en la Tabla 3-8 y Tabla 3-9, se procedió a estimar el desempeño de la red vial como resultado del tráfico adicional asociado a los dos escenarios de demanda. Los resultados se indican en la Tabla 3-10 y Tabla 3-11.

**Tabla 3-10: Viajes en la Vialidad Escenario “Impulso Inicial”**

veh/hora/sentido año 2028	sin H2	sat1	con H2	sat2	satveq1	satveq2
Ruta 9, al Sur de Punta Arenas	63	6%	108	11%	8%	19%
Ruta 9, sector bif. Aeropuerto	631	32%	771	39%	43%	58%
Ruta 9, entre Laredo y 255-CH	126	13%	236	24%	17%	42%
255-CH, entre Ruta 9 y Y-455	45	4%	97	10%	6%	18%
255-CH, entre Y-455 y Gregorio	43	4%	66	7%	6%	11%
255-CH entre Gregorio y P. Angostura	48	5%	59	6%	7%	9%
255-CH, entre P. Angost y Posesión	6	1%	17	2%	1%	3%
Paso Integración Austral / M. Ayimond	42	4%	81	8%	6%	15%
Y-485 - Y-475	2	0%	56	9%	0%	21%
Y-405 entre Y-475 y 255-CH	2	0%	52	9%	0%	19%
Y-455 entre Y-405 y Y-475	2	0%	36	6%	0%	13%
Y-499	2	0%	19	3%	0%	7%
259-CH tramo norte (E-O)	16	1%	16	1%	1%	1%
Y-667	1	0%	1	0%	0%	0%
Y-655	14	2%	14	2%	3%	3%
Y-65 entre Y-655 y Gente Grande	15	2%	15	2%	2%	2%
257-CH	43	2%	43	2%	3%	3%
Y-65 entre 257-CH y Y-655	24	2%	24	2%	3%	3%



259-CH tramo Este (N-S)	43	7%	43	7%	10%	10%
257-CH tramo sur (E-O)	24	4%	24	4%	5%	5%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-11: Viajes en la Vialidad Escenario Aporte Estrategia**

veh/hora/sentido año 2034	sin H2	sat1	con H2	sat2	satveq1	satveq2
Ruta 9, al Sur de Punta Arenas	74	7%	149	15%	10%	27%
Ruta 9, sector bif. Aeropuerto	745	37%	882	44%	50%	66%
Ruta 9, entre Laredo y 255-CH	149	15%	265	27%	20%	46%
255-CH, entre Ruta 9 y Y-455	53	5%	114	11%	7%	21%
255-CH, entre Y-455 y Gregorio	51	5%	55	5%	7%	8%
255-CH entre Gregorio y P. Angostura	57	6%	92	9%	8%	16%
255-CH, entre P. Angost y Posesión	7	1%	15	2%	1%	3%
Paso Integración Austral / M. Ayimond	50	5%	61	6%	7%	9%
Y-485 - Y-475	2	0%	72	12%	1%	27%
Y-405 entre Y-475 y 255-CH	2	0%	39	6%	1%	14%
Y-455 entre Y-405 y Y-475	2	0%	55	9%	1%	20%
Y-499	2	0%	6	1%	1%	2%
259-CH tramo norte (E-O)	18	1%	33	2%	1%	3%
Y-667	1	0%	9	1%	0%	3%
Y-655	17	3%	24	4%	4%	7%
Y-65 entre Y655 y Gente Grande	18	2%	44	4%	2%	8%
257-CH	51	3%	76	4%	3%	6%
Y-65 entre 257CH y Y655	29	3%	38	4%	4%	6%
259-CH tramo Este (N-S)	51	9%	75	12%	11%	20%
257-CH tramo sur (E-O)	29	5%	61	10%	6%	19%

Fuente: Elaboración propia

En las tablas anteriores se muestra el grado de saturación calculado en vehículos, para los flujos base (sin H2) y sumando los flujos de proyecto (con H2). En todos los casos se trata de flujos por hora por sentido.

Se incluye también dos columnas adicionales con el cálculo de los niveles de saturación en vehículos equivalentes. Para ello se ha utilizado factores de equivalencia para buses y camiones de dos ejes correspondiente a 2 vehículos livianos; factor de 2,5 para camiones de más de dos ejes; y un factor de 10 para vehículos sobredimensionados.

### 3.5.1 Proyectos de intervención vial

La Dirección de Vialidad cuenta con una cartera preliminar de proyectos de mejoramiento vial en la zona de estudio (ver Anexo 7) que incluye diferentes tipos de intervenciones. Se ha seleccionado de ellas un conjunto de intervenciones que son posibles de abordar con la herramienta de análisis demanda capacidad, que se refieren esencialmente a aumentos de capacidad vial.

La Tabla 3-12 presenta la capacidad original (i.e. la vialidad como existe hoy), la capacidad base adoptada (i.e. incorporando aquellos proyectos ya sancionados por MOP) y aquella correspondiente a los proyectos en análisis (i.e. las posibles intervenciones futuras).

**Tabla 3-12: Capacidad Vial (veq/sentido/h) y Proyectos Viales**

Sector	ROL-tramo	Capacidad original	Capacidad base	Proyecto analizado	Capacidad de proyecto
Continente	Ruta 9, al Sur de Punta Arenas	1.000	1.000	n/a	n/a
Continente	Ruta 9, sector bif. Aeropuerto	2.000	2.000	n/a	n/a
Continente	Ruta 9, entre Laredo y 255-CH	1.000	1.000	Doble vía	2.000
Continente	255-CH, entre Ruta 9 y Y-455	1.000	1.000	Doble vía	2.000
Continente	255-CH, entre Y-455 y Gregorio	1.000	1.000	Doble vía	2.000
Continente	255-CH entre Gregorio y P. Angostura	1.000	1.000	Doble vía	2.000
Continente	255-CH, entre P. Angost y Posesión	1.000	1.000	n/a	n/a
Continente	Paso Integración Austral / M. Aymond	1.000	1.000	n/a	n/a
Continente	Y-485 - Y-475	600	600	n/a	n/a

Continente	Y-405 entre Y-475 y 255-CH	600	600	n/a	n/a
Continente	Y-455 entre Y-405 y Y-475	600	600	n/a	n/a
Continente	Y-499	600	600	n/a	n/a
Isla T. Fuego	259-CH tramo norte (E-O)	600	600	n/a	n/a
Isla T. Fuego	Y-667	600	600	n/a	n/a
Isla T. Fuego	Y-655	600	600	n/a	n/a
Isla T. Fuego	Y-65 entre Y655 y Gente Grande	800	800	n/a	n/a
Isla T. Fuego	257-CH	800	800	n/a	n/a
Isla T. Fuego	Y-65 entre 257CH y Y655	800	800	n/a	n/a
Isla T. Fuego	259-CH tramo Este (N-S)	600	600	n/a	n/a
Isla T. Fuego	257-CH tramo sir (E-O)	800	800	n/a	n/a

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se asigna la capacidad establecida en la Tabla 3-5, de 2.000 veq/h. Esta capacidad representa un mínimo teórico ya que, al cambiar de calzada simple a calzada doble, la pista pre-existente deja de enfrentar adelantamiento con oposición, por lo que esta capacidad total de la vía podría ser mayor. Como resultado de este aumento de capacidad al doble, los niveles de saturación disminuirán a la mitad. Dependiendo del nivel de saturación sin proyecto, esta reducción podría tener un efecto perceptible en mayor o menor medida: por ejemplo, si la saturación base es alta, por ejemplo, de un 80%, una disminución a la mitad significaría transitar desde un nivel de servicio<sup>19</sup> E (flujo inestable propenso a una alta congestión) hasta un nivel de servicio B (flujo de buenas condiciones, con velocidad algo menor que la de flujo libre). Sin embargo, si el nivel de saturación ex ante es de un 30%, una disminución a la mitad no tendrá un impacto significativo, ya que en ambos casos se enfrenta una situación muy similar a la de flujo libre, con nivel de servicio A.

La comparación de grados de saturación para las diferentes intervenciones se muestra en las tablas siguientes.

### **Tabla 3-13: Indicadores de desempeño para proyectos seleccionados año 2028**

<sup>19</sup> Mayores antecedentes respecto a esta métrica se entregan en Anexo 6. En términos resumidos, se trata de un indicador cuantitativo contemplado en el HCM, basado en tramos porcentuales de nivel de saturación (en algunas aplicaciones se emplea velocidad promedio de circulación) y que varía desde A (baja saturación, circulación a flujo libre) hasta F (alta saturación, flujo prácticamente estacionario).

ROL-tramo	veq/h /pista	Saturación base	Aumento Capac.	Saturación con proyecto	Proyecto
Ruta 9, entre bif. Aeropuerto y 255-CH	419	42%	100%	21%	Doble Calzada
255-CH, entre Ruta 9 y Y-485	179	18%	100%	9%	Doble Calzada
255-CH, entre Y-485 y Gregorio	109	11%	100%	5%	Doble Calzada
255-CH entre Gregorio y P. Angostura	89	9%	100%	4%	Doble Calzada
255-CH, entre P. Angost y Posesión	33	2%	0%	2%	No aplica

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-14: Indicadores de desempeño para proyectos seleccionados año 2034**

ROL-tramo	veq/h /pista	Saturación base	Aumento Capac.	Saturación con proyecto	Proyecto
Ruta 9, entre bif. Aeropuerto y 255-CH	464	46%	100%	23%	Doble Calzada
255-CH, entre Ruta 9 y Y-485	210	21%	100%	10%	Doble Calzada
255-CH, entre Y-485 y Gregorio	77	8%	100%	4%	Doble Calzada
255-CH entre Gregorio y P. Angostura	155	16%	100%	8%	Doble Calzada
255-CH, entre P. Angost y Posesión	28	2%	0%	2%	No aplica

Fuente: Elaboración propia

Los resultados en la Tabla 3-13 indican que los grados de saturación en la situación con simple vía para la ruta 255-CH son menores al 20%, lo que indicaría -contrario a la intuición- que la doble vía no tendría un impacto muy significativo sobre el porcentaje del tiempo que los vehículos perciben congestión, ya que el efecto de los flujos de la industria del hidrógeno verde no alcanzaría a ser un porcentaje relevante de la capacidad ofertada.

Lo anterior, no indica necesariamente que no deban implementarse proyectos de mejora en la ruta 255-CH. Sólo indica que el análisis flujo-capacidad clásico, para este nivel de demanda, no aporta los argumentos sobre congestión y cambio en el nivel de servicio que

comúnmente se utilizan para tomar esta decisión. Podría haber otras consideraciones para intervenir dicha ruta al tenor de lo indicado, como por ejemplo asociadas a seguridad vial, el carácter internacional de la ruta y/o a participación ciudadana.

En cualquier caso, tomando como punto de partida que se estaría estudiando un aumento de capacidad en esa ruta, y de manera complementaria, el estudio analizó tres soluciones viales alternativas para acomodar los flujos de proyecto, específicamente aquel de carga sobredimensionada:

- Ampliación a doble calzada de la Ruta 255-CH entre Ruta 9 y la ruta Y-485. Este tramo de 26 km permitiría llegar a un punto donde los flujos pudieran dividirse entre continuar la Ruta 255-CH o pasar a la Y-485.
- Generación de zonas de amortiguamiento para el tráfico sobredimensionado: en esta solución no se interviene mayormente la vialidad actual, habilitándose a cambio un conjunto de espacios físicos para parqueo de camiones sobredimensionados, emplazados a intervalos con una regularidad suficiente tal que permita a estos vehículos removerse temporalmente del pelotón de circulación, evitándose con ello imponer demoras significativas al tráfico basal.
- Circulación nocturna: en este esquema, el tráfico de carga de proyecto circula en horario diferido respecto al grueso del tráfico basal (que se produce en horario diurno), sin intervenir mayormente la vialidad existente.

Sin perjuicio de la *efectividad* del ensanchamiento de la Ruta 255-CH como solución vial al tenor de las cifras en la Tabla 3-13 precedente, estos tres esquemas alternativos apuntan a la *eficiencia* de la inversión. Con esto último como motivación general aplicable a toda intervención de infraestructura pública, la aproximación de estos tres esquemas alternativos se deriva del hecho, mencionado anteriormente, de que el peak de carga de proyecto se producirá en un número acotado de 5 a 12 años<sup>20</sup>. En el paradigma decisional clásico de intervenciones viales mayores, el tráfico crece de manera sostenida en el tiempo y los períodos de aprovechamiento y evaluación costo-beneficio de las intervenciones son de al menos 20 años, hipótesis que en el caso de estudio no aplican directamente.

Estos esquemas alternativos fueron evaluados comparativamente tanto para la ruta 255-CH entre Ruta 9 y Ruta Y-485 (26 km) como también para la Ruta 9 entre bifurcación aeropuerto y Ruta 255-CH (33 km). Esto se abordó con un análisis costo-beneficio que contrasta el monto de inversión con el tiempo (valorizado) de los usuarios, consumo de combustible y otros costos de operación.

---

<sup>20</sup> El periodo de construcción se extiende por 5 años en el escenario 1 y por 12 años en el escenario 2.

El estudio de las alternativas debe realizarse contrastando cada una contra una situación de referencia (base). En términos generales del estado de la práctica, esta situación de referencia puede referirse a la misma situación actual (“do nothing”) o a una situación mejorada (“do minimum”). En este caso se estudia las alternativas de doble calzada y de zonas de amortiguamiento contra la situación de tránsito nocturno de vehículos sobredimensionados. Vale decir, que la situación base es la de no hacer inversiones en infraestructura vial, pero sí habilitar condiciones mínimas (iluminación por ejemplo) para el tránsito nocturno de vehículos sobredimensionados por esa vía.

La Tabla 3-15 reporta los resultados del análisis costo-beneficio en el tramo de estudio de la Ruta 255-CH. Las velocidades indicadas se basan en la siguiente mecánica de circulación asociada a cada esquema:

- En el estudio se adopta el supuesto de que la implementación de doble calzada permite a los vehículos sobredimensionados circular de día por la pista derecha mientras que el resto del tráfico normal circularía por la izquierda experimentando perturbaciones de interacción vehicular que se autorregulan, y no generan impacto caótico en el flujo y su consiguiente reducción de capacidad.
- Las zonas de amortiguamiento liberan periódicamente el pelotón de tráfico acumulado detrás de cada camión sobredimensionado (permitiéndole circular a una velocidad cercana a flujo libre), instante hasta el cual los vehículos experimentarán demoras asociadas (velocidad promedio del camión se asume en 20 km/h).

**Tabla 3-15: Análisis comparado de esquemas en la Ruta 255-CH 2025-2050**

Intervención	Ahorro tiempo	Ahorro combustible	Inversión	VAN Social
<b>Doble calzada (90 km/h)</b>	18,90	-2,66	-65	-49
<b>Zonas de amortiguamiento (50 km/h)</b>	-102	0,68	-6,5	-108

Fuente: Elaboración propia. Detalle en Anexo 6. Cifras en millones de dólares

Los indicadores de costo efectividad de la inversión indican que para la ruta 255-CH la alternativa de circulación nocturna de la carga sobredimensionada podría representar la de mayor eficiencia, pues irroga muy bajo costo de inversión y operación, proveyendo la capacidad requerida para las cargas de proyecto mediante el aprovechamiento de capacidad ociosa disponible durante la jornada nocturna. Sin perjuicio de esto, este análisis exploratorio no incorpora las externalidades que la circulación nocturna podría generar en comunidades aledañas a la ruta analizada, aspecto que debiera a futuro ser cuantificado en función del número de personas afectadas y la cuantía de la afectación, entre otros aspectos.

Adicionalmente, la Tabla 3-15 consigna también que, a continuación del tránsito nocturno, la implementación de doble calzada sería preferible a las zonas de amortiguamiento en términos del bienestar social medido como valor presente de costos versus beneficios. De hecho, el esquema de bahías presenta una rentabilidad social negativa, principalmente asociada a no aportar beneficio en tiempo de circulación derivado de la menor velocidad promedio<sup>21</sup>.

Se reporta a continuación el análisis para el tramo en estudio de la Ruta 9. La Tabla 3-16 resume los resultados del análisis costo-beneficio para ella.

**Tabla 3-16: Análisis comparado de esquemas en la Ruta 9 2025-2050**

Intervención	Ahorro tiempo	Ahorro combustible	Inversión	VAN Social
Doble calzada (90 km/h)	207	-108	82,5	207
Zonas de amortiguamiento (50 km/h)	-1.115	120	7,8	-1.115

Fuente: Elaboración propia. Detalle en Anexo 6. Cifras en millones de dólares

Puede apreciarse que en este caso hay un indicador de rentabilidad positivo para la solución de doble calzada. Esto indicaría que dado que el flujo es mayor que los de la 255-CH, las dinámicas de espera, interacción y congestión acumulan demoras más significativas para las soluciones que implican menor velocidad. Estos ahorros de tiempo son superiores al mayor gasto de combustible en conjunto con la inversión necesaria. Así, el análisis indica que la doble vía es la más efectiva, seguida del esquema de zonas de amortiguamiento.

Mayor nivel de detalle sobre el análisis realizado puede encontrarse en el Anexo 6 “Análisis Vial Beneficio Costo”.

---

<sup>21</sup> En este sentido, el análisis vial consideró que en vía simple con circulación de vehículos sobredimensionados, se acumula un pelotón tras él que obliga a reducir su velocidad desde la de flujo libre (80 km/h) a la del sobredimensionado (20 km/h). En un tramo entre zonas de amortiguamiento, el primer vehículo del pelotón de espera llega al inicio del tramo y recorre el tramo a 20km/h, mientras que el último vehículo del pelotón llega justo antes de que el sobredimensionado llegue a la zona de amortiguamiento, siendo su velocidad 80 km/h. Si los vehículos del pelotón llegan de manera homogénea, en promedio circularán a 50 km/h. Por otra parte, al cambiar a doble vía, la velocidad de flujo libre sube a 90 km/h producto de que ya no existen prevenciones que tomar sobre flujo en sentido contrario. Estas son las velocidades (80, 90 y 50) que se usan en el modelo de estimación de gastos de combustible y tiempo de usuarios.

### 3.6 Requerimientos especiales de los vehículos sobredimensionados

El análisis presentado en la sección anterior se centra en la capacidad disponible y la demanda proyectada, evaluando su balance y los niveles de servicio esperados en promedio por hora. Si bien estos resultados aportan una visión relevante, cabe notar que la circulación de cargas sobredimensionadas en la vialidad requiere un enfoque especializado que considere aspectos tanto de diseño físico como operacional.

Este tratamiento es particularmente relevante en el contexto de una intervención sin precedentes en la región, donde la ejecución simultánea de múltiples proyectos podría generar dinámicas que superen la efectividad de soluciones de excepción. Estas, diseñadas para casos puntuales, podrían no ser adecuadas cuando los movimientos de cargas sobredimensionadas se convierten en eventos recurrentes.

Un análisis complementario debería abordar, al menos, los siguientes aspectos:

- **Diseño vial adaptado:** Evaluar y ajustar puntos críticos de las rutas para garantizar radios de giro adecuados. Si no es posible evitar la invasión de pistas, se deben implementar medidas de seguridad operativa, como interrupciones controladas y alternadas del tránsito mediante bandereros.
- **Señalización especializada:** Incorporar señalética complementaria que anticipe a los usuarios las maniobras, conflictos o situaciones específicas relacionadas con la circulación de estas cargas. Esto incrementaría la claridad y seguridad en la ruta.
- **Restricciones operativas:** Analizar posibles modificaciones temporales en el uso de la vialidad, incluyendo restricciones de movimientos o habilitación de tramos específicos, priorizando la seguridad y fluidez del tránsito.
- **Planificación de operaciones:** Optimizar los movimientos en función de la disponibilidad de luz natural y las temporadas de mejor clima, minimizando riesgos asociados a condiciones adversas típicas de la región.
- **Ajustes normativos:** Evaluar y, de ser necesario, modificar la normativa relacionada con permisos de circulación y gestión de rutas para cargas sobredimensionadas. Esto podría incluir procesos más ágiles y criterios ajustados a las condiciones y exigencias locales.



## 4 PROPUESTA DE INFRAESTRUCTURA PARA MAGALLANES

### 4.1 Infraestructura habilitante

En función del análisis presentado en este informe y apuntando a objetivos prioritarios de suficiencia, disponibilidad oportuna y eficiencia en la habilitación y uso de la infraestructura, las principales recomendaciones a efectos de planificación son:

- I. Priorizar el avance de los proyectos asociados a los terminales de EPA y ENAP en Mardones, Laredo y Gregorio:
  - a) En el caso de Mardones y Laredo, potencian infraestructura preexistente con montos de inversión comparativamente eficientes<sup>22</sup>;
  - b) Tienen tiempos de desarrollo comparativamente cortos, pudiendo disponibilizar un primer tramo de capacidad ya en el año 2027. Esto habilitaría el inicio oportuno de la fase de construcción de los proyectos de hidrógeno en el sector continental de la región, pudiendo movilizar un 89% del total combinado de carga de importación de dichos proyectos; así como generar una alternativa operacional para abordar la falta de capacidad en el período de mayor congestión en Tierra del Fuego; y
  - c) Proveen por sí solos más de un 50% de la demanda máxima<sup>23</sup> y un 62% del tonelaje total de importación requeridos en el escenario “Impulso Inicial”.
- II. Complementando las infraestructuras de titularidad estatal ya indicadas, definir formalmente un portafolio público-privado de infraestructura habilitante que sea objeto de seguimiento regular por su efecto en los objetivos de suficiencia, oportunidad y eficiencia que constituyen la esencia del Plan, permitiendo con ello la identificación oportuna de alertas (en plazos, capacidades efectivas en los diseños definitivos, etc.) y posibles soluciones por parte de todos los actores interesados en el desarrollo de la industria. La identificación de este portafolio público-privado no exime del cumplimiento de la normativa vigente en materia de autorizaciones y desarrollo de infraestructura junto con las exigencias que de ahí se deriven, ni implica en ningún escenario futuro, potenciales inhibiciones o limitaciones de la competencia entre terminales cuando ésta aplique.

---

<sup>22</sup> El costo de Mardones y Laredo por unidad de capacidad es de US\$ 53 por ton/año, valor que compara favorablemente con el equivalente de US\$ 711 por ton/año que se deriva de la información disponible públicamente para el proyecto H2V ya ingresado al SEIA.

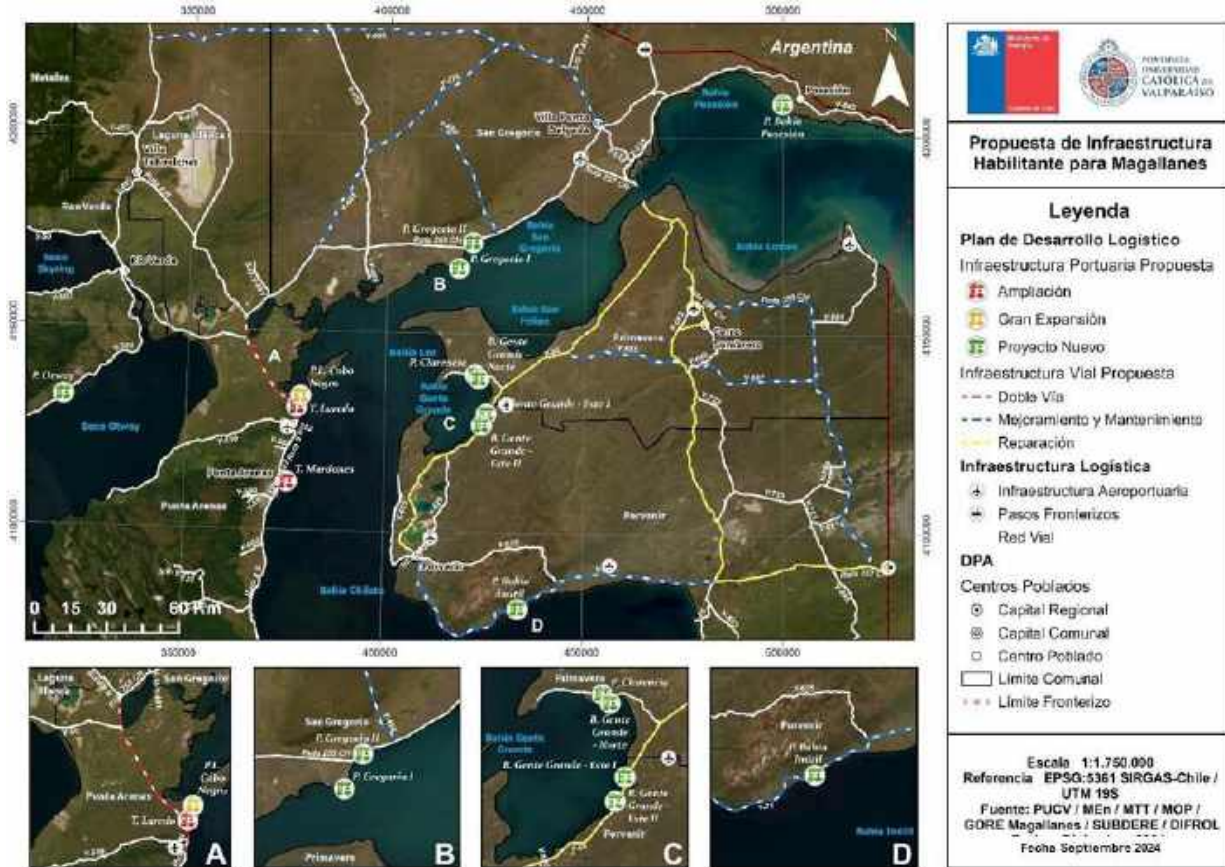
<sup>23</sup> Capacidad combinada de aproximadamente 3,3 millones ton/año para una demanda promedio del bienio *peak* 2029-2030 de 6,3 millones ton/año.

- III. Incorporar la capacidad de los siguientes proyectos de terminales portuarios de iniciativa privada al portafolio de infraestructura habilitante ya mencionado, en las respectivas bahías:
- a) Segundo terminal portuario en Bahía Gregorio
  - b) Puerto en Bahía Posesión
  - c) Terminal en seno Otway
  - d) Nuevo terminal en Cabo Negro
  - e) Puerto en Bahía Inútil
  - f) Puerto Clarencia
  - g) Puerto en Bahía Gente Grande – Lado Norte
  - h) Puerto en Bahía Gente Grande – Lado Este I
  - i) Puerto en Bahía Gente Grande – Lado Este II
- IV. En el caso de Tierra del Fuego se deben estudiar alternativas de aumento de oferta portuaria efectiva para cargas de importación, debido a que la capacidad ofertada por los terminales contemplados a la fecha no sería suficiente para atender la demanda de insumos para la construcción de los proyectos. Según se consigna previamente en este informe, algunas opciones (no necesariamente excluyentes) en este sentido serían tres:
- a) Mejoramiento de la conectividad en el cruce del Estrecho de Magallanes para aprovechar capacidad excedentaria que se haría disponible entre 2029 y 2031 en el lado continente;
  - b) Ampliaciones de capacidad en terminales ya proyectados, por ejemplo, mediante ensanchamiento de muelles y provisión de equipamiento adicional; lo cual plantea interesantes ventajas, al basarse en proyectos existentes, utilizando bahías ya seleccionadas, y con costos incrementales menores que el beneficio de casi duplicar la capacidad, al poder descargar dos naves al mismo tiempo, lo que posiciona esta alternativa como una solución costo-eficiente.
  - c) Habilitación de nuevos terminales portuarios, que aseguren el uso común y no discriminatorio para los diversos proyectos de H2V que requieren dicha capacidad habilitante.
- V. Con el objetivo de asegurar que la capacidad asociada a los terminales portuarios efectivamente se materialice, se deben estudiar y realizar oportunamente intervenciones en sus nudos viales de acceso al terminal, tales como:
- a) Reorganización y eventual modificación geométrica de las rutas de acceso a principales terminales (e.g. conexión de Mardones y Laredo a Ruta 9).

- b) Revisión de gálibos aéreos que puedan ser limitantes para movimiento de cargas sobredimensionadas (cableado, pasarelas, etc.).
  - c) Verificación estructural de eventuales obras de arte en la ruta.
- VI. Respecto a la capacidad vial requerida para circulación de camiones con las cargas de proyecto, el análisis demanda-capacidad recomienda:
- a) Implementar la segunda calzada en Ruta 9 entre la bifurcación al aeropuerto Carlos Ibáñez del Campo y el cruce con la Ruta Internacional 255-CH.
  - b) Revisar la calendarización de las ampliaciones de calzada en Ruta 255-CH dado que, desde el punto de vista del análisis demanda-capacidad, no justificaría esta intervención en el corto plazo. Sin perjuicio de lo anterior y de la planificación de eventual construcción de doble vía, la implementación de facilidades puntuales para la detención de vehículos sobredimensionados para permitir el sobrepaso de vehículos de emergencia es una consideración de estándar de seguridad que debiera ser incluida, así como la revisión detallada de otras condiciones diferentes al análisis de capacidad (como, por ejemplo, condiciones de seguridad de circulación, impacto de las condiciones climáticas, conectividad de zonas extremas, flujos asociados a la conectividad argentina, etc.).
  - c) Se espera que las rutas Y al norte de la Ruta 255-CH, es decir: Y-405, Y-475, Y-485, Y-499 enfrenten un flujo importante de la industria del H2V (cifras indican centenas de camiones de carga utilizando estas rutas de ripio diariamente). Así, se recomienda implementar un esquema de mejoramiento mínimo al inicio y un riguroso mantenimiento periódico de la carpeta de rodadura que permita la circulación de camiones (incluidos los sobredimensionados) según los patrones de flujo que se detallan en los gráficos del Anexo 8. No debería descartarse la eventual pavimentación de estas rutas en el mediano plazo a través de la cooperación público-privada.
  - d) Lo mismo es válido para la vialidad en Tierra del Fuego, que incluyen Y-655, Y-667, 259-CH, e Y-71. Para la vialidad pavimentada (257-CH y Y-65) se recomienda bacheo y/o reparación de los tramos con mayor deterioro, para evitar el desgaste progresivo producto del aumento del tráfico.
- VII. Mantener permanentemente actualizada la información de calendarios de desarrollo esperados de los proyectos ya que el balance demanda-capacidad de infraestructura es altamente dependiente de ello.
- VIII. Estudiar opciones de aumento de productividad en muelles actuales y proyectados mediante equipamiento adicional, con el objetivo de identificar posibles economías de escala que permitan, por ejemplo, atender de mejor manera la carga general de sectores

productivos distintos al H2V y con ello liberar disponibilidad de frente de atraque para cargas sobredimensionadas, etc.

Figura 4-1: Cartografía del Plan propuesto



Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Calendario referencial de actuaciones

A continuación, se presenta una propuesta de cronograma para las actuaciones indicadas anteriormente.

**Tabla 4-1: Propuesta de cronograma de actuaciones**

Familia	Proyecto	Hito	Año/Trimestre
Estudios	Estudios de seguimiento y actualización	Estudios de actualización anual de calendarios previstos de implementación de proyectos de H2V en función de perspectivas del mercado y condiciones habilitantes	A partir de 2025Q4
		Estudio de opciones de aumento de capacidad de terminales actuales mediante equipamiento adicional	2025
	Definición de estándares mínimos y brechas para vehículos sobredimensionados	Estudio de Estándares	2025Q2
		Estudio de Brechas	2025 Q4
Acuerdos y Convenios	Acuerdos estratégicos de inversión vial pública plurianual	Convenio Gore-MOP	2025
		Convenios MOP-Privados mitigación y/o mantenimiento vial	2027Q1
	Acuerdos estratégicos de estandarización y mantenimiento vial público-privados.	Convenio Gore-MOP	2025
		Convenios MOP-Privados mitigación y/o mantenimiento vial	2027Q1
	Acuerdos público-privados para modificar los proyectos portuarios con limitaciones de atención simultánea de naves, especialmente en Tierra del Fuego	Validación de que ensanchamiento de muelles es la mejor opción	2025
		Generación de los acuerdos para modificar los proyectos y generar fast-track de autorización	2026
Obras Puertos	Reforzamiento Mardones Muelle 1 y operación de grúa de muelle	Finalización de Obras	2026Q1
		Inicio operación Grúa	2026Q1
	Ampliación Mardones Nuevo Muelle	Inicio Estudios de Diseño de ingeniería	2025Q1
		Inicio de Construcción	2026Q1
	Adaptación Laredo (ENAP)	Estudios y Permisos	2025
		Inicio de Construcción	2026
	Puerto Gregorio I (ENAP)	Estudios y Permisos	2026 2027
		Inicio de Construcción	2028

Obras Vialidad	Doble calzada Ruta 9 entre bifurcación aeropuerto y ruta 255-CH	Inicio Estudios de Diseño de ingeniería	2025Q1*
		Inicio de Construcción	2026Q3
	Implementación de estándares mínimos en vialidad para vehículos sobredimensionados	Estudios Ingeniería	2025
		Inicio de Construcción	2026Q1
	Incorporación de zonas de amortiguamiento por estándares de seguridad (255-CH, Rutas Y)	Inicio Estudios de Diseño de Ingeniería	2025Q2
		Inicio de Construcción	2026Q3

Fuente: Elaboración propia

Este plan permitirá que la infraestructura pública ingrese acorde con los años en que juega un rol para dar respuesta a la demanda del desafío de hidrógeno verde, el cual puede verse en la tabla siguiente.

**Tabla 4-2: Años de entrada de incrementos de capacidad de puertos públicos**

Proyecto	Capacidad aproximada (ton/año)	Año
Mardones (EP Austral)	800.000	2026
Mardones (EP Austral)	1.000.000	2027
Laredo (ENAP)	700.000	2027
Gregorio I (ENAP)	1.500.000	2029 (30%)
		2030 (60%)
		2031 (100%)

Fuente: Elaboración propia

Estos calendarios son funcionales a la proyección de entrada de los proyectos de desarrollo de acuerdo a declaración que han formulado los desarrolladores de acuerdo a lo informado previamente en este documento.

### 4.3 Gobernanza

Las materias específicas abordadas en este documento y la necesidad de mantener actualizado el Plan plantean el desafío práctico de establecer un mecanismo de ordenamiento y coordinación entre las diferentes instancias tomadoras de decisión, de manera de mantener la mirada integral sobre el sistema logístico asociado a la industria e impulsar el avance oportuno de los proyectos requeridos. A continuación, se plantea una propuesta en este sentido:

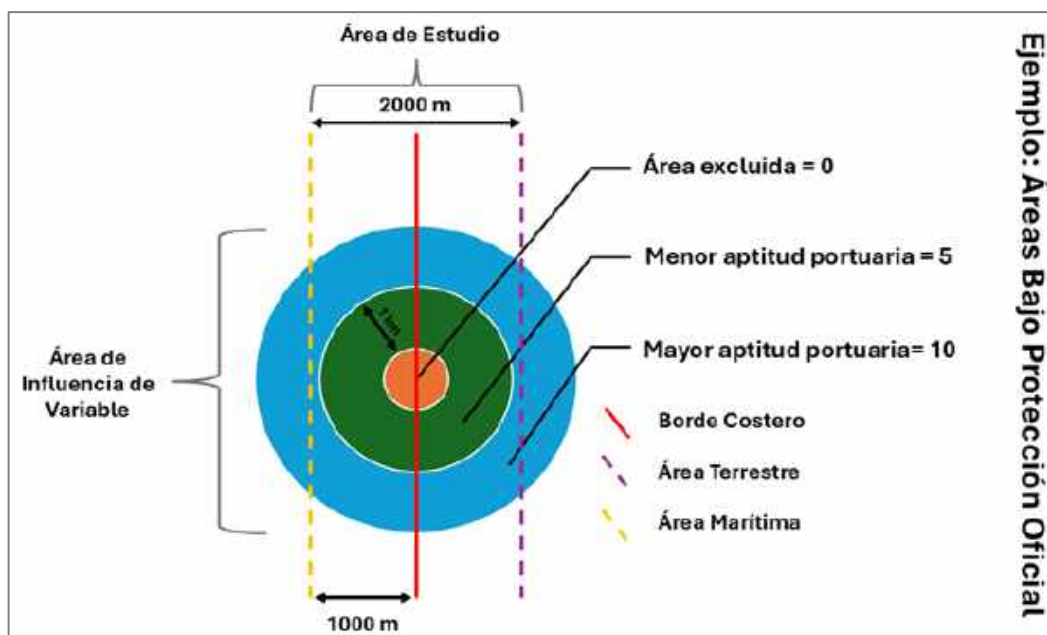
1. Radicar la administración técnica de la herramienta de análisis en el Programa de Desarrollo Logístico de MTT, entidad responsable, dentro del MTT, de proponer las políticas, planes y proyectos en materia de desarrollo logístico, que ha oficiado de contraparte técnica en el desarrollo de este trabajo y cuyo Coordinador General actúa como Secretario Ejecutivo de la Comisión Nacional para el Desarrollo Logístico (CONALOG).
2. Poniendo en valor esto último, se propone establecer un mecanismo de reporte regular a dicha instancia (por ejemplo, semestral o anual), integrada por los Ministros de Transporte y Telecomunicaciones (preside), de Defensa Nacional, de Hacienda, de Economía, Fomento y Turismo, de Obras Públicas, la Secretaría General de la Presidencia y el Sistema de Empresas Públicas (SEP).
3. El Decreto Supremo N°298 de 2011, que crea la CONALOG como instancia asesora del Presidente de la República, y su modificación mediante Decreto Supremo N°3 de 2024, contemplan la posibilidad de incorporar autoridades adicionales según proceda en sesiones específicas, con lo cual se facilita la convocatoria al Ministerio de Energía (MEN) y otras autoridades atinentes, como el Gobierno Regional de Magallanes y de la Antártica Chilena.
4. El mencionado reporte regular a autoridades presupone un trabajo previo de la Secretaría Ejecutiva con todas las entidades participantes en un Grupo de Trabajo específico, lo cual genera condiciones propicias a una coordinación permanente en las materias objeto del Plan. En su funcionamiento regular y a efectos de habilitar el trabajo preparatorio de las sesiones del Comité de Ministros, cada repartición designa un representante técnico activo.
5. El plan de trabajo anual de este Grupo de trabajo debiera incorporar las actualizaciones periódicas (por ejemplo, trimestrales o cuando nuevos antecedentes o planes reguladores sean aprobados) de aquellas materias críticas consignadas en la sección anterior de este documento. Este es el caso de hitos como el ingreso de proyectos de H2V al SEIA, y la materialización oportuna de análisis técnicos complementarios por parte de MTT, MOP, MEN y otras reparticiones públicas.

6. En términos de la coordinación con las instancias regionales del caso, se propone la designación de un representante del Gobierno Regional para formar parte del Grupo de Trabajo de CONALOG. A través suyo se garantiza, por una parte, la visibilidad de las inquietudes técnicas que emanen directamente de la máxima autoridad regional, asegurándose asimismo que otras reparticiones públicas regionales e incluso actores del ámbito privado tengan un canal de comunicación idóneo con la instancia decisonal colegiada del Ejecutivo en materias logísticas.
7. Provisionar instancia(s) regular(es) de reporte del Secretario Ejecutivo de CONALOG en la región, o su representante, en coordinación con el representante del Gobierno Regional, a efectos de facilitar un canal de comunicación y trabajo conjunto expeditos entre los ámbitos nacional y regional respecto al Plan y sus actualizaciones.

#### 4.4 Emplazamientos adicionales para desarrollo portuario

Mediante un enfoque basado en el Análisis Multicriterio (AMC) y apoyado en herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se llevó a cabo una evaluación de las bahías del Estrecho de Magallanes para determinar su aptitud para el desarrollo de infraestructura portuaria. Este análisis consideró la creciente demanda futura asociada a sectores estratégicos como la industria del hidrógeno verde (H2V) y otras actividades económicas emergentes, proyectando necesidades adicionales más allá de las capacidades actuales.

**Figura 4-2: Esquema resumen de la metodología de definición de Buffers o Área de Influencia para generar las variables que fueron utilizadas en el análisis.**



Fuente: Elaboración propia



El estudio analizó 40 variables, agrupadas en cuatro criterios principales:

- Condiciones Naturales
- Compatibilidad Territorial
- Compatibilidad Ambiental
- Conectividad

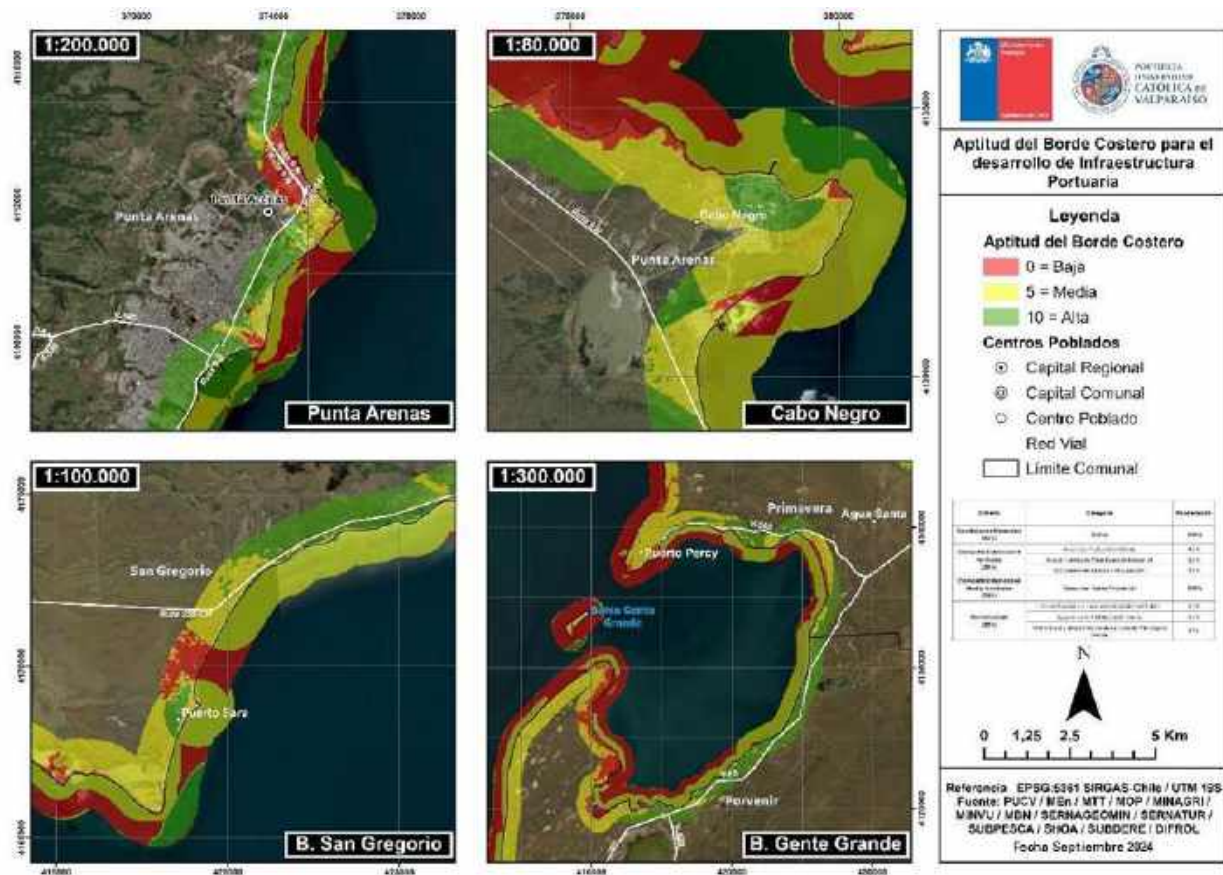
El área de análisis se delimitó mediante un buffer de 1 km desde la línea costera, permitiendo considerar los posibles impactos ambientales, sociales y territoriales. Para el procesamiento de datos geoespaciales se emplearon el software R, para estandarizar y ponderar las variables, y ArcGIS Pro, para sintetizar los criterios y generar cartografías que faciliten la visualización de los resultados.

El análisis identificó siete bahías estratégicas con potencial logístico y ambiental para la región:

- Bahías San Gregorio, Gente Grande y Posesión: Estas bahías presentan valores de "Media" y "Alta" aptitud para infraestructura portuaria, gracias a su compatibilidad territorial, ambiental y proximidad a corredores logísticos terrestres y marítimos. En el caso de Bahía Posesión, se recomienda realizar estudios técnicos adicionales sobre las condiciones naturales costeras, climáticas y oceanográficas.
- Bahía Inútil: El sector noroeste de esta bahía, 25 km al sur de Porvenir y próximo a la ruta Y-71, muestra valores de "Alta" aptitud, mientras que los sectores noreste, este, sur y suroeste presentan principalmente valores de "Baja" y, en menor medida, "Media" aptitud. Estas limitaciones están asociadas a la conectividad con corredores logísticos y las condiciones naturales litorales.
- Bahía Lomas: Presenta valores de "Baja" aptitud debido al aporte sedimentario fluvial asociado a desembocaduras de ríos y al alto valor ecosistémico de la zona, reconocida como humedal de importancia mundial bajo el Convenio Ramsar (UNESCO, 2024).
- Zona Litoral Este de Punta Arenas: El área contigua a las rutas 9 Norte y 9 Sur presenta valores de "Media" y "Alta" aptitud, considerando criterios de condiciones naturales, compatibilidad ambiental y conectividad logística. Sin embargo, el sector sureste, a 40 km del límite urbano, aunque muestra "Alta" aptitud, se encuentra distante de los clústeres industriales asociados al desarrollo del hidrógeno verde.
- Seno Otway: La zona noroeste del seno presenta valores de "Alta" y "Media" aptitud, mientras que el sureste muestra una combinación de "Media" y "Baja" aptitud. No obstante, se identifica un sesgo debido a la falta de datos climáticos (vientos) y oceanográficos (oleaje, corrientes y batimetría), por lo que se recomienda realizar estudios técnicos complementarios.

Las áreas identificadas representan una reserva estratégica para la Región de Magallanes, con capacidad para responder a las demandas de proyectos actuales y futuros, más allá del 2050. Sin embargo, es fundamental coordinar su desarrollo portuario con otros usos del territorio, garantizando un equilibrio entre el crecimiento económico, la conservación ambiental y la cohesión social. Este enfoque contribuirá a la sostenibilidad de una región única y de gran valor estratégico.

**Figura 4-3: Cartografía de ejemplo: “Aptitud del Borde Costero para el desarrollo de Infraestructura Portuaria”.**



Fuente: Elaboración propia.

## 4.5 Comentarios finales

Se reseñan a continuación algunos aspectos considerados clave respecto a los alcances del análisis aquí presentado y de la aplicación práctica de sus resultados:

1. Perfil temporal de demanda: el balance con la capacidad depende fuertemente de los calendarios de desarrollo de los proyectos productivos, los cuales serán naturalmente variables a medida que las iniciativas progresen en sus etapas de ingreso y trámite ambiental, procesamiento de las Resoluciones de Calificación Ambiental en eventuales instancias posteriores, cierre financiero de los proyectos, compra de equipos, contratación de obras e instalaciones, etc.
2. La propia naturaleza de los proyectos H2V (tipología de equipos, instalaciones, obras, etc.) y la voluntad de desarrolladores privados de materializar una cartera substancial de iniciativas en plazo de aproximadamente una década determina una concentración de la demanda en relativamente pocos años. Sin perjuicio de economías de escala que se pueden generar en el diseño de los terminales portuarios, la infraestructura portuaria de desembarque asociada al período de construcción no es directamente utilizable para las operaciones de exportación. Si se suma a esto el hecho de que los volúmenes de carga desembarcada por la industria H2V son significativamente más altos que las cargas de las demás actividades económicas regionales, existe un riesgo de que los terminales de importación queden a futuro sub-utilizados respecto a sus capacidades máximas. Por ello, análisis y definiciones en el sentido de maximizar el aprovechamiento de la infraestructura mediante esquemas de compartimiento de ella o incluso mediante un manejo económicamente racional de los calendarios de los proyectos deben mantenerse presentes durante los próximos años en las instancias públicas y privadas del caso.
3. En el caso de Tierra del Fuego todo lo anterior cobra mayor relevancia, al haberse detectado un desbalance entre la oferta y demanda portuaria agregadas, con especial impacto en los años iniciales.
4. Sin perjuicio de lo indicado, que apunta en el sentido de la racionalización del borde costero y el aprovechamiento de economías de escala ante la concentración temporal de la demanda, el análisis aquí presentado aconseja por el momento sostener el avance expedito de una capacidad equivalente a la de los proyectos portuarios actualmente presentados, manteniéndose a la vez una política de actualización permanente de los calendarios de desarrollo especialmente entre ahora y el año 2026 (fecha de corte del primer escenario de análisis que conlleva el ingreso al SEIA de un primer conjunto de proyectos H2V).

5. Respecto a las estimaciones de capacidad presentadas en este informe, se hace presente su carácter agregado y macroscópico, por lo cual sus resultados deben ser ponderados desde una mirada estratégica. Por construcción, la herramienta analítica desarrollada se basa en supuestos y metodologías que no pretenden recoger impactos puntuales de emplazamientos e instantes de desarrollo específicos de la infraestructura, permitiendo sin embargo su incorporación a medida que nueva información vaya estando disponible (por ejemplo, al finalizarse el diseño de los proyectos portuarios privados). Casos ilustrativos en este sentido son el *downtime* portuario por factores climáticos (variable que influye directamente en la capacidad total de un terminal) y los impactos *intra hora promedio* que podrían producirse en la operación de la red vial. El Vector de Parámetros Esenciales consignado en la Sección 3 de este documento busca ser una guía concisa y clara en este sentido.
6. Respecto al análisis vial y portuario contenido en este informe, se hace presente el hecho de que este se enfocó en la capacidad de transporte como criterio central, sin considerarse criterios adicionales, locales o globales, que podrían incluso aconsejar por sí solos inversiones adicionales en infraestructura. Este podría ser el caso por ejemplo el de asegurar las condiciones de seguridad vial durante la circulación de cargas sobredimensionadas o evaluaciones costo-beneficio de resiliencia de la oferta portuaria durante las fases de construcción y operación.
7. Análisis más detallados que aquel objeto de este Plan debiesen considerar el efecto de variables climáticas en los calendarios de construcción de los proyectos H2V y su interacción con la dimensión logística de los mismos.
8. En el mismo sentido de lo indicado previamente en esta sección respecto a los calendarios de desarrollo, futuras actualizaciones de este Plan debiesen mantener actualizadas y validadas con los respectivos titulares otras variables descriptivas de los proyectos, como por ejemplo potencia eólica instalada; y tipología, configuración y disposición espacial de aerogeneradores en el diseño definitivo. Si bien estas variables no se reportan explícitamente en el presente documento, se encuentran incorporadas para cada proyecto en la herramienta analítica que quedará a disposición del mandante.

## ANEXO 1: DEMANDA LOGÍSTICA BASAL

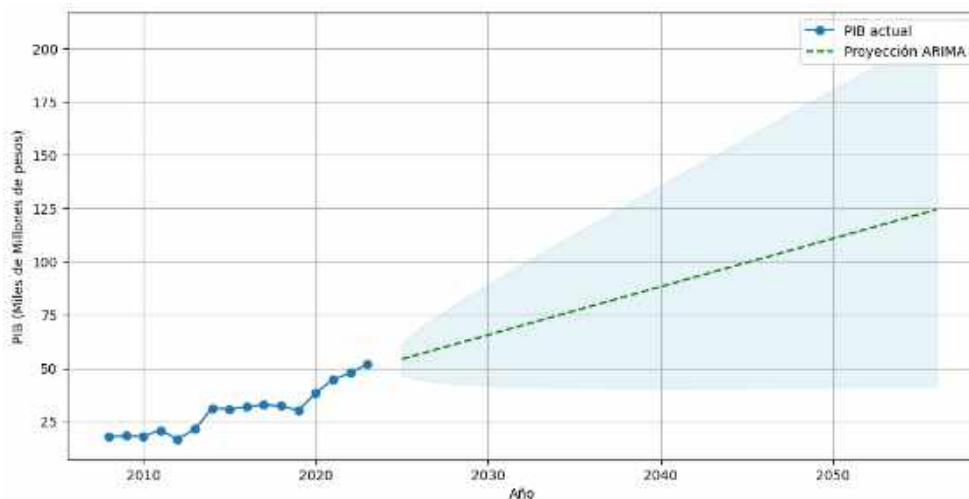
Las cargas que se movilizan diariamente en la región -y que dan lugar a flujos vehiculares en la vialidad y transferencias de carga en terminales portuarios- tienen su propia génesis y motivación, y deberán seguir moviéndose con independencia de si se desarrolla o no la industria de hidrógeno verde. Así, se necesita proyectarlas en tanto constituyen cargas basales que utilizan capacidad del sistema logístico.

La demanda por transporte es derivada del sistema de actividades. Así, para poder contar con una proyección de los flujos de transporte, es necesario explicar el crecimiento de los diferentes sectores económicos que motivan dichos movimientos.

Se desarrollaron modelos de proyección para los sectores económicos que componen el producto regional. La fuente de datos es la base de Cuentas Nacionales del Banco Central. Los sectores económicos estudiados fueron: agropecuario, pesca, minería, industria, construcción, energía, comercio y servicios. Se usaron datos de la Dirección Nacional de Aduanas del año 2022 con montos en valor y en unidades físicas por agrupaciones de producto en frontera, para encontrar factores de transformación de las proyecciones en valor a toneladas y con ello contar con factores de crecimiento representativos del desafío de mover toneladas por una parte, y de la movilidad de las personas por otra.

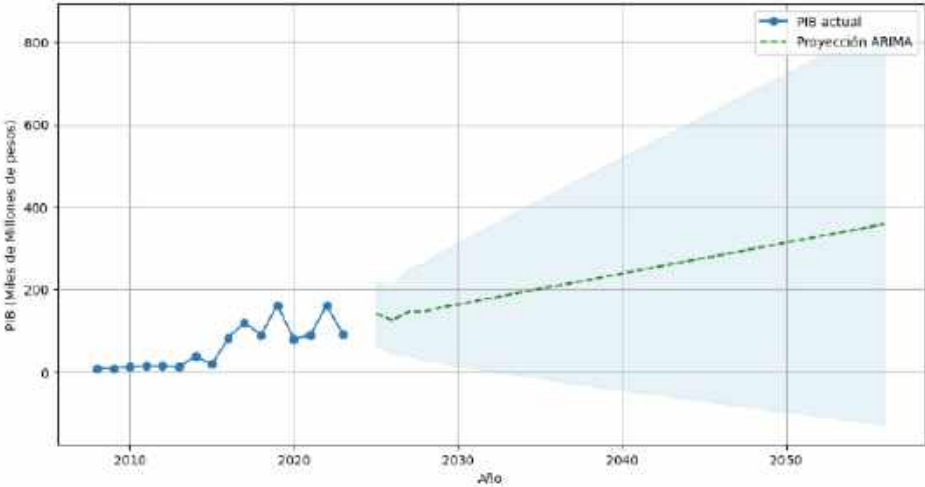
Finalmente se usan estos factores para ser aplicados sobre el flujo vehicular base, y de este modo obtener flujos para los cortes temporales de estudio 2030 y 2050.

**Figura A1- 1. Proyección del sector agropecuario**



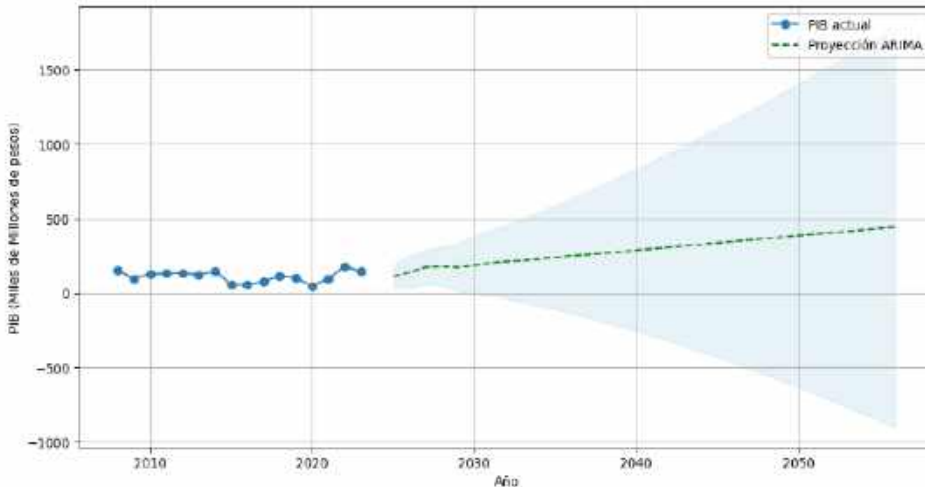
Fuente: Elaboración propia

**Figura A1- 2. Proyección del sector pesca**



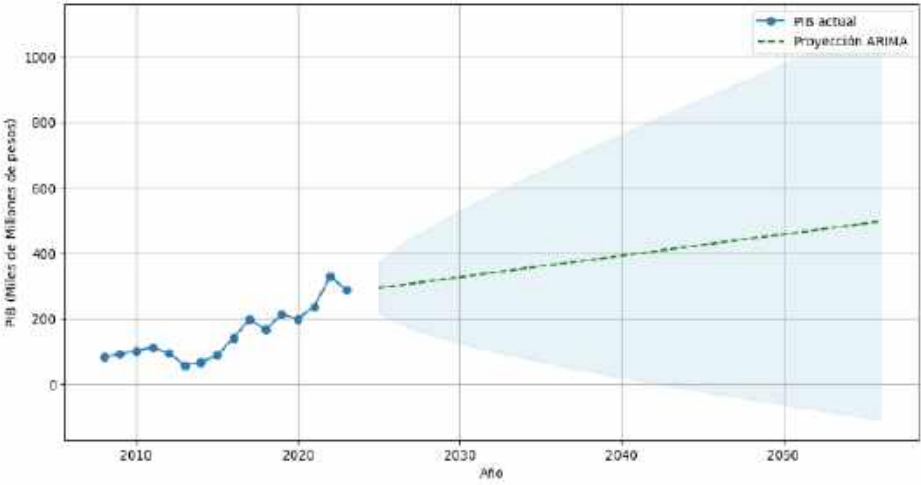
Fuente: Elaboración propia

**Figura A1- 3. Proyección del sector minería**



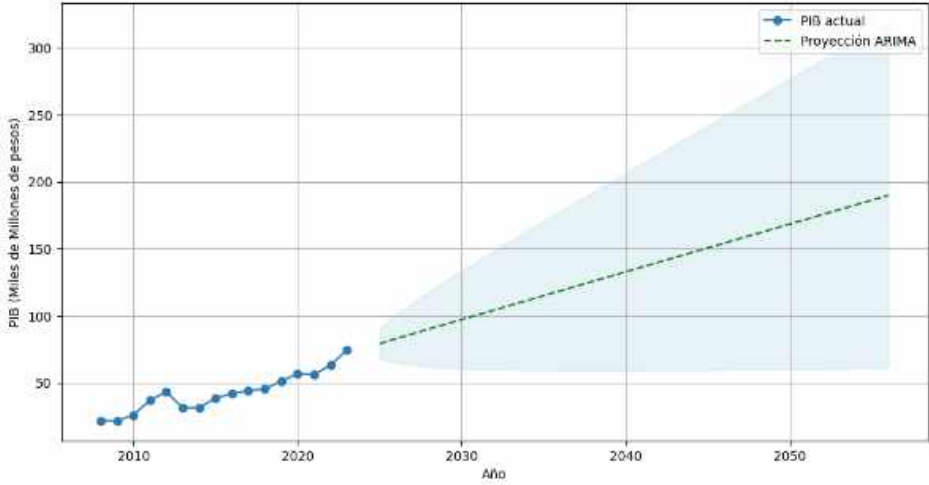
Fuente: Elaboración propia

**Figura A1- 4. Proyección del sector industria**



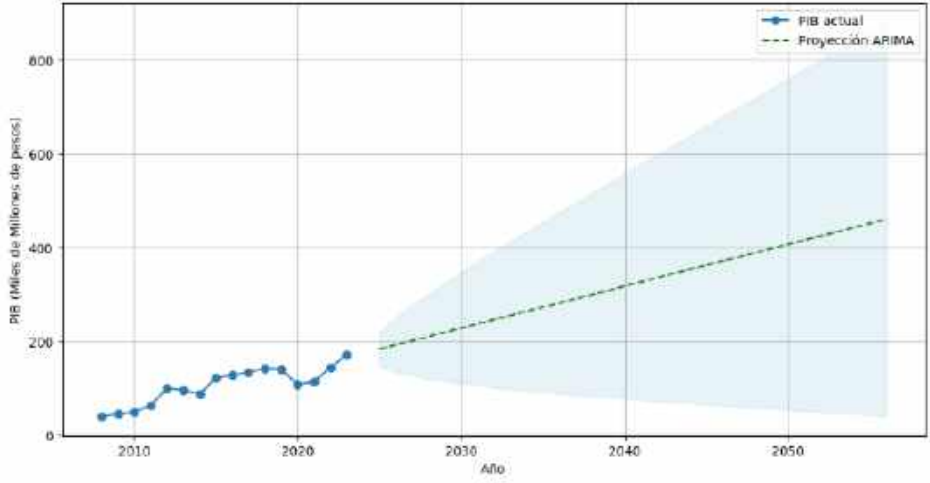
Fuente: Elaboración propia

**Figura A1- 5. Proyección del sector electricidad, gas, agua y residuos**



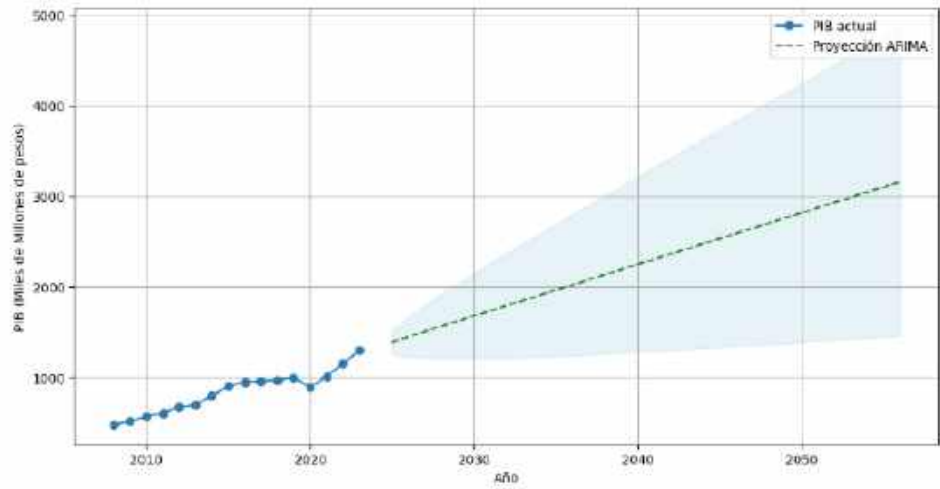
Fuente: Elaboración propia

Figura A1- 6. Proyección del sector construcción



Fuente: Elaboración propia

Figura A1- 7. Proyección del sector comercio y servicios



Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 2: ESCENARIOS Y DEMANDA INDUSTRIA H2

La proyección de la industria de H2V se realiza para dos escenarios de desarrollo:

- E1: “Impulso Inicial”
- E2: “Aporte Estrategia” a Estrategia H2V

### A2.1 Escenario “Impulso Inicial”

El escenario está definido por las siguientes características:

- Industria H2V moviliza productos hasta por un 45% del potencial de generación eólico de la región.
- Capacidad eólica instalada 23 GW
- Exportación de producto por más de 10 millones de toneladas por año
- Aproximadamente 3.200 torres eólicas a instalar.

**Tabla A2- 1. Características principales de proyectos considerados en el escenario “Impulso Inicial”**

Proyecto H2V	Ingreso estimado al SEIA	Potencia eólica instalada (GW)	Producción (Ton/año)
Proyecto 1	2023	0,4	170
Proyecto 2	2024	1,4	800
Proyecto 3	2024	5,0	2.000
Proyecto 4	2026	1,7	1.000
Proyecto 5	2024	3,3	1.300
Proyecto 6	2025	1,0	430
Proyecto 7	2025	2,2	1.000
Proyecto 8	2025	3,3	1.600
Proyecto 9	2025	2,4	1.000
Proyecto 10	2026	2,5	1.000
<b>TOTAL</b>		<b>23,2</b>	<b>10.300</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla A2- 2. Agrupación de proyectos según emplazamiento en el escenario “Impulso Inicial”**

Zona de Estudio	Potencia eólica instalada (GW)	Producción (Ton/año)
Continente	17,0	7.830
Tierra del Fuego	6,2	2.470
<b>Total</b>	<b>23,2</b>	<b>10.300</b>

Fuente: Elaboración propia

## A2.2 Escenario “Aporte Estrategia” Estrategia Nacional H2V

El escenario está definido por las siguientes características:

- Industria H2V moviliza insumos para su desarrollo y productos de exportación según la proyección de electrólisis esperada máxima de la Región de Magallanes, en consistencia con la planificación nacional.
- Capacidad eólica instalada 52 GW.
- Esta potencia se implementa con el escenario anterior (23 GW), más una estimación de generación de acuerdo a las zonas geográficas con mayor potencial según un análisis multicriterio que considera factores de planta, cercanía a la costa y otros.
- Aproximadamente 7.200 torres eólicas a instalar.
- Exportación de producto por más de 23 millones de toneladas.

**Tabla A2- 3. Características principales de proyectos considerados en el escenario “Aporte Estrategia”**

Etapas	Inicio Construcción	Potencia eólica instalada (GW)	Producción (ton/año)
Proyectos del escenario 1	2025	23	10.300
Proyectos incrementales del escenario “Aporte Estrategia”	2030	29	13.050
<b>Total Escenario “Aporte Estrategia”</b>	-	<b>52</b>	<b>23.350</b>

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 3: VECTOR DE PARÁMETROS ESENCIALES

El vector de parámetros esenciales supuestos resume los valores claves que se han utilizado en el análisis. Algunos de ellos provienen directamente de la información recopilada en entrevistas con desarrolladores y administradores de proyectos; otros responden a una agregación criteriosa de datos de diferentes fuentes para aplicarlas a un contexto más general. Finalmente, otros son supuestos operacionales que provienen de experiencias en otras regiones, adaptados con criterio experto. El vector de supuestos se muestra en la tabla siguiente:

**Tabla A3- 1. Vector de parámetros esenciales**

Parámetro	Descripción	Valor	Influye en
Piezas por aerogenerador (#)	Componentes por torre (3 segmentos de torre, 3 palas, 1 nacelle, 1 drive train, 1 hub)	9	Demanda
Potencia por aerogenerador (MW)	Potencia de generación eólica promedio Este valor se utiliza en ausencia de un valor específico expresado por el desarrollador. Algunos declaran usar de 6 MW, otros 7 MW y otros 7,5 MW	7,2	Demanda
Otras piezas (%)	Los desarrolladores requieren movilizar no solo partes de torres aerogeneradores sino también módulos integrados de la planta química. Se asume un % que se suma al número de piezas de torres AG para obtener el número total de cargas sobredimensionadas.	12%	Demanda
meses con movimiento de aerogenerador (%)	Fracción del período de construcción durante la cual se movilizan unidades desde puerto a faena	80%	Demanda
Años entre Ingreso EIA e Inicio Construcción (#)	Tiempo para obtener la Resolución de Calificación Ambiental (RCA), conseguir el financiamiento y tomar la decisión de inversión final.	3	Demanda
Ajuste estimación de la AH2M (150 mil TEU por GW) (%)	La Asociación H2 Magallanes estima que para construir una capacidad eólica tipo de 10 GW se requiere, además de los aerogeneradores, el equivalente a la carga que se puede transportar en un millón y medio de contenedores de 20 pies (TEU). Este parámetro de ajuste (multiplicativo) permite hacer sensibilización	100%	Demanda
Otros viajes / viajes impo (%)	Sobre la estimación de toneladas de desembarque, se agrega un porcentaje adicional de carga que no ingresa por puertos. Son viajes de trabajadores, alimentación, agua potable, tolvas de cantera, residuos, lodos, etc.	100%	Demanda
Oper/Const (%)	Relación entre la demanda en la etapa de operación y la etapa de construcción.	24%	Demanda

Carga Cam Puerto (ton/veh)	Tasa de ocupación (ton/veh) de los camiones de importación. Es lo que transforma las toneladas a vehículos.	25	Demanda vial
día/mes (días)	Días de trabajo por mes. Se usa único para todos los procesos.	26	Demanda
Horas día proyecto (horas)	Número de horas diarias de transporte en vías. Sirve para el análisis vial de demanda capacidad, que es por hora	14	Demanda vial
Rendimiento grúa (ton/h)	Rendimiento de las grúas en puertos (toneladas transferidas por hora).	194	Capacidad Portuaria
Cierre (%)	Porcentaje del tiempo en que el puerto está cerrado por razones climáticas (downtime)	40%	Capacidad Portuaria

Fuente: Elaboración propia

Supuestos sobre la generación de carga a partir de la potencia instalada:

- Se utiliza la información declarada sobre la potencia nominal por aerogenerador que será usada en cada proyecto. Algunos son de 6 MW, otros de 7,2 MW y otros de 7,5 MW. En ausencia de información para escenario 1 se usará 7,2 MW, mientras que en escenario 2, se asume 7,5 MW para recoger la mayor disponibilidad de tecnología de este tipo en la diferencia de horizonte de 6 años.
- Se utiliza la información declarada por la asociación H2 Magallanes, que además resuena con la información de proyectos específicos analizada, respecto del número de toneladas de carga portuaria generada por GW: 150 mil TEU equivalentes, o bien, 1.200.000 ton.
- Se asume que por sobre la demanda que ingresa portuaria existe un porcentaje adicional de cargas que se mueven en la misma región, correspondiente al personal, a insumos locales, a agua potable e industrial, y a desechos que deben ir a depósitos. Este porcentaje se estudió con los antecedentes presentados en los estudios actualmente en el SEA, y se estima en 100% por sobre las cargas portuarias.
- En función de la información revisada de proyectos actualmente en el SEA, se aplica para todos los proyectos una razón de 100/25 para las cargas de construcción versus las de operación. Vale decir que, en la etapa de operación, la demanda es un 25% de las toneladas, tanto para las transferencias en puerto, como para los movimientos viales locales.

Supuestos sobre la demanda de movimientos de cargas sobredimensionadas:

- Se utiliza 9 piezas sobredimensionadas por aerogenerador. En algunas referencias se encontró declaradas 10 y 11 piezas, aunque no pudo determinarse si esas dos piezas adicionales era realmente sobredimensionadas o podrían movilizarse en un camión

convencional de hasta 45 toneladas. En virtud de esto, se adoptó el guarismo más frecuente.

- Se utiliza un 12% de piezas adicionales por componentes de plantas electroquímicas. Este es un número muy variable entre las referencias, porque los diseños de planta responden a particularidades y porque el nivel de desarrollo de los proyectos es disímil. Además, es difícil juzgar qué constituye una pieza sobredimensionada en estos casos, porque si bien algunas se comparan a edificios, estas son contadas y puntuales.

Supuestos sobre concentración de la demanda en el tiempo:

- Años de construcción: se construyó un modelo de regresión para la duración declarada de los proyectos con estudios y cartas Gantt, respecto de la potencia instalada. Se aplicó dicho modelo.
- Se asumió adicionalmente que en un 80% de los meses de construcción estimada con este modelo, se tenía movimiento de piezas de aerogenerador. Si bien esto en realidad construye una curva creciente y decreciente (sinusoide) por simplicidad se adoptó una función escalón en el primer 80%.
- El inicio de la construcción de los proyectos de desarrollo de H2V se asumió 36 meses después de iniciado el trámite ambiental, con el fin de representar tiempos realistas de obtención de RCA, y también la gestión del financiamiento y la decisión final de inversión.

Supuestos sobre tasas de ocupación de vehículos:

- Se asume 25 ton/vehículo promedio para las cargas que vienen de puertos (insumos de la construcción, componentes, acero, cables, tuberías, etc.)
- Se asume 15 ton/vehículo promedio para las cargas locales (agua potable, agua industrial, alimentos, cantera, insumos locales, residuos)

Supuestos temporales:

- Para la transformación de unidades anuales a diarias se usa un factor de 26 días por mes, para representar que algunas cargas se moverán en fin de semana y otras no; además de las razonables interrupciones inesperadas.
- Para la transformación de flujos diarios a horarios, se utiliza para los flujos no programados el factor de diseño de la hora 30 más cargada, que es equivalente a dividir por 8,33 horas por día. Por otra parte, para los flujos programables por la industria se utiliza 14 horas por día para representar que algunos se programan 24 horas al día y otros solo en la ventana diurna.

#### Supuestos de capacidad portuaria:

La capacidad portuaria se toma de los estudios presentados por las respectivas empresas en el caso de que existan. En el caso de que no se cuente con dicha estimación, se construye una función de estos supuestos:

- Rendimiento de grúas: Se utiliza un rendimiento de 194 toneladas equivalentes por hora, lo deriva de agregar rendimientos diferenciados por componentes de aerogeneradores, contenedores y carga general.
- Cierre de puertos: El downtime en la región ha sido adoptado por los diferentes estudios de diseño portuario con valores desde 10% el más optimista a 35% el más pesimista. Se asumió 40% para incorporar el hecho de que hay dos meses en el año en que los fuertes vientos dificultan las operaciones regulares (máxime entonces para palas de aerogenerador), y esto no ha sido recogido en otros factores.
- Ocupación: Se utilizan factores diferenciados por puerto, desde 30% hasta 70% (media 60%) para representar los diferentes esquemas operacionales declarados.

## ANEXO 4: DESARROLLO PORTUARIO

Se analizan los proyectos portuarios actualmente presentados (con mayor o menor grado de avance), asignándoseles una capacidad nominal a cada uno en función de la información declarada en los respectivos estudios presentados a las autoridades pertinentes de otorgar los permisos. En los casos en que no existe una capacidad informada, se estima utilizando una fórmula multiplicativa que incluye:

- El rendimiento de grúas.
- El número de sitios equivalentes dado por la configuración de muelles.
- La cantidad de grúas actuando al mismo tiempo en una nave.
- El factor de ocupación que depende de la eficiencia y complejidad de operaciones.
- El downtime por factores climáticos.

**Tabla A4- 1. Iniciativas portuarias analizadas**

Desarrollo portuario en bahía	Descripción	Capacidad estimada importación (ton/año)	Año de entrada	Capacidad en primer año
Laredo (ENAP)	Pontón flotante en sitio existente	715.000	2027	100%
Gregorio I (ENAP)	Nuevo terminal	1.500.000	2029	30%
Mardones (EP Austral)	Reforzamiento muelle	803.500	2026	100%
Mardones (EP Austral)	Nuevo muelle en terminal existente	1.108.000	2027	100%
Bahía Gregorio II	Nuevo terminal	548.000	2028	15%
Bahía Posesión	Nuevo terminal	548.000	2028	50%
Seno Otway	Conversión de terminal existente	153.000	2028	100%
Nuevo terminal Cabo Negro	Nuevo terminal	1.251.000	2029	100%
Bahía Inútil	Nuevo terminal	613.000	2030	100%
Clarencia	Nuevo terminal	-	2030	30%
Bahía Gente Grande - Lado Norte	Nuevo terminal	613.000	2030	30%
Bahía Gente Grande - Lado Este I	Nuevo terminal	613.000	2030	30%
Bahía Gente Grande - Lado Este II	Nuevo terminal	276.000	2030	30%

Fuente: Elaboración propia

Se describe a continuación la derivación individual de cada capacidad y el supuesto de *ramp up* para dicha capacidad. Salvo excepción indicada, el rendimiento de grúa es 194 toneladas

equivalentes por hora, que deviene de un promedio de los rendimientos para piezas, contenedores y carga general.

- **Terminal ENAP Laredo:** El nuevo pontón permitirá el atraque simultáneo de dos naves. Se asume que no existe maniobrabilidad suficiente para operar dos grúas al mismo tiempo para la atención de carga sobredimensionada. La ocupación se asume 70% y el downtime 40%. Según calendario presentado, la infraestructura estaría disponible al 100% en 2027.
- **Terminal ENAP Gregorio:** Es un proyecto de transformación que cuenta con diferentes alternativas para desarrollar capacidad tanto para importación como para exportación. En el caso de la importación se soporta un jetty con muelle para desembarco de hasta 5 naves de manera simultánea. La capacidad se toma de lo declarado por el proponente.
- **Terminal EPA Mardones:** Considera dos proyectos para aumentar capacidad de la actual que está entre 500.000 y 600.000 ton/año. El primero es un reforzamiento del muelle para poder soportar una grúa realizar de este modo una especialización en desembarque de contenedores. El segundo es un proyecto de muelle nuevo, adosado al existente, que funcionaría de manera independiente. El proyecto se enfoca en carga general y no exportación de producto.
- **Terminal Gregorio II:** El proyecto apunta a mover carga de importación (carga general) y exportación (granel líquido). Considera un jetty, muelle para atraque de naves y además rampa para carga Ro-Ro en la costa. Se irá implementando por etapas y de este modo ofrece una capacidad creciente en el tiempo.
- **Bahía Posesión:** El proyecto incluye un muelle de proyección y un jetty, para abordar tanto exportación como importación. Se plantea por etapas.
- **Seno Otway:** El proyecto consiste en la transformación del terminal existente, utilizando un muelle para atraque de naves y su uso en combinación con una rampa para carga Ro-Ro.
- **Puerto en Bahía Inútil:** El proyecto apunta a carga de importación. Cuenta con muelle de penetración y una rampa para carga Ro-Ro. Permite el atraque de naves y transferencia al muelle.
- **Puerto Clarenia:** Es un puerto multi-boya, principalmente de exportación. Cuenta con una rampa para la descarga de componentes de plantas químicas.
- **Bahía Gente Grande Norte:** Es un proyecto mixto, con tuberías para exportación de producto, y el uso del jetty para atraque y descarga de componentes de aerogeneradores.



- **Bahía Gente Grande Este I:** Proyecto para descarga de materiales y piezas, con muelle de proyección y rampa para carga Ro-Ro.
- **Bahía Gente Grande Este II:** Proyecto de descarga de materiales y piezas, también con muelle de proyección y rampa para carga Ro-Ro.

## ANEXO 5: CAPACIDAD VIAL

La capacidad vial en vías rurales se refiere al número máximo de vehículos que pueden transitar por una carretera rural en condiciones específicas durante un período de tiempo determinado, normalmente expresado en vehículos por hora. El cálculo de esta capacidad está regulado por los principios establecidos en el Highway Capacity Manual (HCM), un estándar ampliamente utilizado en ingeniería de transporte. El HCM proporciona una metodología para evaluar y cuantificar la capacidad de una carretera teniendo en cuenta diversos factores que afectan el flujo vehicular.

El cálculo de la capacidad de una vía rural se basa en la calzada de circulación, es decir, el número de carriles y el ancho de estos, así como las condiciones geométricas de la carretera, como el perfil longitudinal (pendientes) y el alineamiento horizontal (curvas). Las vías rurales suelen tener una infraestructura más limitada en comparación con las carreteras urbanas o autopistas, lo que las hace más sensibles a las variaciones en las condiciones de la vía. Las carreteras rurales de un solo carril por sentido, por ejemplo, tienen una capacidad significativamente menor que las autopistas, debido a las limitaciones para realizar adelantamientos y a las velocidades variables que imponen los vehículos más lentos.

El HCM también establece que la capacidad teórica de una vía rural se determina bajo condiciones ideales, es decir, una calzada seca, sin intersecciones significativas, y con un flujo de tráfico continuo y uniforme. En estas condiciones, la capacidad de una carretera bidireccional típica se sitúa entre 1,700 y 2,000 vehículos por hora por carril. Sin embargo, este valor se reduce cuando se consideran factores reales que afectan el rendimiento, tales como el tipo de tráfico, las condiciones climáticas, y la interacción entre vehículos.

Un factor crítico en vías rurales es el comportamiento del tráfico mixto, compuesto por vehículos ligeros, vehículos pesados (como camiones o autobuses), y vehículos agrícolas. Los vehículos pesados, en particular, influyen negativamente en el flujo de tráfico debido a su menor velocidad y mayor longitud, lo que dificulta los adelantamientos y reduce el espacio disponible en el carril. El HCM recomienda ajustar la capacidad tomando en cuenta un factor de equivalencia vehicular (en inglés *Passenger Car Equivalents*, *PCE*, en español *veq*), que convierte el impacto de los vehículos pesados en una equivalencia a vehículos ligeros. Esto permite una evaluación más precisa del flujo real en una carretera rural.

Otro aspecto esencial es la velocidad de operación, que se refiere a la velocidad promedio a la que los vehículos pueden circular en la vía rural. La velocidad está influenciada por la geometría de la carretera, las condiciones del pavimento, el tipo de tráfico y la visibilidad. En vías rurales, especialmente aquellas con carriles únicos por sentido, la velocidad de operación tiende a disminuir en presencia de vehículos lentos, pendientes pronunciadas o curvas cerradas, lo que reduce significativamente la capacidad real de la vía.

El HCM también introduce el concepto de nivel de servicio (LOS) para clasificar el rendimiento de una vía en función del confort y la eficiencia que experimentan los conductores. El nivel de servicio varía desde A (flujo libre, con mínimas restricciones) hasta F (congestión grave). En vías rurales, la capacidad se considera óptima cuando se opera en niveles de servicio A o B, pero a medida que el tráfico aumenta y el nivel de servicio cae a C o D, los usuarios comienzan a experimentar retrasos, mayor densidad vehicular y dificultades para realizar maniobras como adelantamientos.

El tráfico bidireccional es una característica que distingue a muchas carreteras rurales y añade un desafío adicional a la capacidad. A diferencia de las autopistas con múltiples carriles en un solo sentido, en las carreteras rurales bidireccionales, los vehículos que circulan en direcciones opuestas comparten la misma calzada. Esta configuración reduce las oportunidades de adelantamiento, especialmente cuando la cantidad de vehículos en uno o ambos sentidos es alta, lo que disminuye el rendimiento general de la vía. El HCM proporciona herramientas para evaluar cómo el tráfico en dirección opuesta influye en la capacidad y la velocidad de operación, utilizando modelos matemáticos que simulan el comportamiento del flujo vehicular en estas condiciones.

El entorno rural también puede afectar la capacidad de una vía. Factores como la presencia de intersecciones no controladas, cruces de ferrocarril o incluso actividades agrícolas cercanas a la carretera pueden generar interrupciones o demoras. A diferencia de las vías urbanas, las intersecciones en zonas rurales son menos frecuentes, pero su impacto puede ser más significativo, ya que suelen carecer de infraestructura semafórica avanzada o de carriles de desaceleración, lo que interfiere en el flujo continuo de tráfico.

Las condiciones climáticas son otro factor relevante que influye en la capacidad de una carretera rural. En zonas con climas adversos, como fuertes lluvias, nevadas o niebla densa, la capacidad puede disminuir notablemente debido a la reducción en la visibilidad y a la menor fricción entre los neumáticos y la calzada. El HCM recomienda ajustar los cálculos de capacidad en función de las condiciones meteorológicas locales, ya que estas condiciones imponen restricciones de velocidad y aumentan las distancias de frenado necesarias, afectando la seguridad y el rendimiento de la vía.

a) Aplicación a vía rural de dos pistas, (bidireccional). Pavimentada

- Ancho de berma: 1 m  $\rightarrow$   $f=0,96$
- Ancho de pista: 3.6 m  $\rightarrow$   $f=1$
- Proporción de vehículos pesados: 50%  $\rightarrow$   $f= 0,571$
- Visibilidad: Buena  $\rightarrow$   $f=1$
- Geometría horizontal y vertical: Excelente (plano y sin curvas)  $\rightarrow$   $f=1$
- Bidireccionalidad: 50% en cada dirección  $\rightarrow$   $f=1$

- **Capacidad = 986 veh/pista**
- NS: D (740<C<1000)

b) Vía rural de dos pistas, (bidireccional). Pavimentada. Metodología simplificada

El HCM también establece una metodología simplificada que recomienda utilizar para análisis de capacidad el nivel de servicio E, con una capacidad de 1490 vehículos por pista. La referencia se ilustra en la tabla siguiente.

**Tabla A5- 1. Parámetros considerados según la metodología HCM**

Highway Type	Terrain	Peak Hour Peak Direction (veh/h)		
		LOS A-C	LOS D	LOS E (capacity)
Class I	Level	440	750	1,490
Class I	Rolling	340	690	1,450
Class II	Rolling	430	790	1,490

Fuente: HCM

Se adoptará en función de lo anterior una capacidad de 1000 veh/h por pista en el caso de vías pavimentadas.

En cambio, para vías no pavimentadas se aplicará un factor de reducción al 60%, siendo par este tipo de vías entonces una capacidad de 600 veh/h.

En resumen, la capacidad a utilizar esta dada por la siguiente tabla.

**Tabla A5- 2. Capacidades a utilizar para el análisis vial**

Vía	Capacidad 1p (veq/h)	Capacidad 2p (veq/h)
Pavimentada	1.000	2.000
No Pavimentada	600	1.200

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 6: ANÁLISIS VIAL BENEFICIO COSTO

Se realizó un análisis vial para aquellos proyectos más relevantes en discusión, en el contexto de infraestructura habilitante para la industria. Este análisis vial consideró las siguientes variables:

- Grados de saturación de la vialidad, medido como flujo de vehículos equivalentes por hora, sobre la capacidad nominal de vehículos por hora.
- Dinámicas de espera considerando bloqueos por vehículos sobredimensionados.
- Beneficios por ahorro de tiempo y costos operacionales y comparación con inversiones.

Los proyectos de interés son:

- Alternativas de aumento de capacidad Ruta 255-CH.
- Alternativas de aumento de capacidad Ruta 9.

### A6.1 Metodología de análisis de grados de saturación

- Se estima la capacidad nominal de vehículos por hora en función de las características de la infraestructura, siguiendo los procedimientos del HCM como se muestra en Anexo 5.
- Se realiza la transformación de los vehículos a vehículos equivalente según los factores:
  - Vehículos livianos y camionetas: 1 veq
  - Buses: 2 veq
  - Camiones: 2,5 veq
  - Camiones sobredimensionados: 10 veq
- Notar que se ha usado un valor excepcionalmente alto para la transformación de vehículos sobredimensionados con el fin de recoger un efecto en la metodología, a pesar de que no se tienen antecedentes de análisis teórico del impacto del flujo para estos vehículos.
- El flujo base se divide por 8,33 que representa el factor de diseño para la hora 30 más cargada. Por otra parte, el flujo de la industria se divide por 14, que representa el mayor control que tiene la industria para programar los flujos, y que además es consistente con la combinación entre algunos flujos que serán diurnos y otros que funcionarán las 24 horas.
- La saturación resulta de dividir el flujo resultante horario por la capacidad horaria.

- La saturación es un indicador del nivel de servicio de la ruta, como proxy del porcentaje del tiempo que un vehículo se encuentra “en seguimiento”, a una velocidad menor a la deseada. Los niveles de servicio se catalogan en:
  - Nivel de servicio A. Velocidad de flujo libre. Saturación de 0 a 35%.
  - Nivel de servicio B. Saturación de 35% a 50%.
  - Nivel de servicio C. Saturación de 50% a 75%.
  - Nivel de servicio D. Saturación de 75% a 90%.
  - Nivel de servicio E. El más congestionado. Saturación mayor a 90%.

## A6.2 Dinámicas de espera por vehículos sobredimensionados

En la estimación de demanda se utilizan dos supuestos principales para estimar el número de vehículos sobredimensionados. Uno es el número de componentes de aerogeneradores (9 por torre) y otro es el número de componentes sobredimensionados adicionales, que están relacionadas con las plantas electroquímicas. Este segundo grupo se estimó, en función de la información de los proyectos revisada, en un 12% adicional a los componentes de torres.

Se utiliza un supuesto de que en el 80% del calendario de construcción se movilizan estos componentes sobredimensionados.

Se asume también que la velocidad de circulación es de 20 km/h y que en vía simple el adelantamiento no es posible, mientras que en doble vía sí lo es<sup>24</sup>.

En el trayecto podrá haber puntos de invasión de pista contraria en viraje y otras singularidades similares que deberán ser reguladas. Para fines de este análisis se supone que se ha tomado las medidas necesarias ajustando los diseños con radios de giro apropiados, o definiendo puntos regulados (con semáforo o bandereo, por ejemplo) para resolver estos puntos, en el marco de los estudios de ruta que los propios interesados deben ingresar a la Dirección de Vialidad.

Considerando lo anterior, el análisis de la dinámica de sobrepaso tiene como resultados para el estudio:

- Una doble calzada habilita la convivencia de vehículos sobredimensionados con otros flujos.

---

<sup>24</sup> Análisis posteriores deberán considerar que algunas de las cargas sobredimensionadas sobrepasan el ancho de pista, y esto supondrá que algunos vehículos podrán sobrepasar con precaución y para otros esto será contraindicado, debiendo programarse cada cierto recorrido un desplazamiento hacia berma o eventual detención para habilitar el sobrepaso.

- Una calzada simple generará una acumulación de vehículos que será aliviada cuando ese vehículo salga de la calzada, por ejemplo, estacionándose en un sobrecancho de pista. Es posible estimar el flujo acumulado en función de las velocidades de circulación y la frecuencia de sobrecancho.

### A6.3 Acumulación de vehículos por bloqueo de pista

Un vehículo que bloquea la pista de calzada simple y que circula a 20 km hora, generará una acumulación de vehículos en espera tras él, que dependerá del flujo de la vía y la distancia entre zonas de amortiguamiento (equivalentemente, pista lenta, bahía de detención, sobrecancho para adelantamiento, o pista de descanso).

En un caso extremo sin bahía, para una ruta de 38 km (coincidente con la Ruta 255-CH entre la Ruta 9 y la Y-455), con un flujo de 1.500 veq/día/sentido, la acumulación resulta de multiplicar este flujo por lo que demora este vehículo de 20 km/h en recorrer 38 km. Es decir 1,9 horas por 106 veq/h/sentido, son 206 vehículos equivalentes en cola; insostenible.

Pero si se cuenta con bahías cada 3 kilómetros en que el vehículo sobredimensionado libera el pelotón acumulado, entonces la cola máxima se reduciría a 16 vehículos. La fila máxima sería 16. La fila promedio 8 veq. En vehículos reales, serían entre 4 y 5.

La siguiente tabla de doble entrada presenta la fila máxima acumulada para diferentes situaciones de composición de flujo y de espacio entre bahías.

**Tabla A6- 1. Largo máximo de fila tras bloqueo de sobredimensionado**

Flujo Base	Flujo H2V	veq/h	Bahías cada 10 km	Bahías cada 7 km	Bahías cada 5 km	Bahías cada 3 km
200	2.000	83	42	29	21	13
8.000	2.000	552	276	193	138	83
200	3.000	119	60	42	30	18
8.000	3.000	587	294	206	147	88
200	5.000	191	95	67	48	29
8.000	5.000	659	329	231	165	99

Fuente: Elaboración propia

Puede apreciarse que para flujos base altos, como los de la Ruta 9, la situación es siempre insostenible. En este caso, la decisión de generar una doble calzada está bien justificada.

Pero cuando los flujos base son bajos, los flujos de la industria de hasta 3.000 veq por día (ambos sentidos) podrían generar situaciones viables, con bahías cada 3 km, en que se tendrían hasta 18 vehículos en espera máximo, 9 en promedio.

Una bahía de 250 m (para 2 vehículos sobredimensionados) cada 3 km, representa aproximadamente un 10% de la inversión necesaria para doble calzada<sup>25</sup>.

#### **A6.4 Circulación nocturna de vehículos sobredimensionados**

La circulación nocturna de vehículos sobredimensionados es una práctica utilizada para evitar el impacto sobre el flujo previo, que se concentra de día. En este caso deben tomarse precauciones, generando la iluminación de refuerzo suficiente para fortalecer la seguridad vial.

El análisis de envío nocturno de 20 camiones por sentido (40 en ambos sentidos) se construye a continuación. Se considera envíos de 4 vehículos por hora. Podría ser uno cada 15 minutos, dos cada 30 minutos o un convoy de 4 cada hora. Así se comenzaría enviando los camiones a las 22.00 (camiones 1, 2, 3 y 4) y se continuaría a las 23.00 con los siguientes (camiones 5 al 8), se requerirían 5 horas para completar el envío de 20 camiones. Aunque los camiones no necesariamente parten de un mismo puerto, se plantea el caso más restrictivo en el que todos salen de un mismo sector (e.g., Mardones/Laredo) y se dirigen a una planta a 100 km. Circulando a 20 km/h, el tiempo de viaje sería de 4 horas. A las 03:00 llegaría habría ya llegado a destino el primer grupo de 4 camiones, y a las 6.00 el último. En la tabla siguiente se muestran los kilómetros acumulados por cada grupo de 4 camiones.

Este análisis indica que una ventana nocturna de 9 horas permitiría movilizar un flujo de 20 vehículos por sentido, con salidas cada 15 minutos. Es directo seguir que, si el supuesto inicial hubiese sido que se envían dos camiones cada 15 minutos, la capacidad de envío nocturna sería de 40 vehículos por sentido.

---

<sup>25</sup> Supone bahías de 250 m y un sobrecargo de construcción respecto al caso unitario por km de doble calzada del 30%.



**Tabla A6- 2. Análisis de envío de camiones con carga sobredimensionada en horario nocturno**

Hora	Vehículo n°				
	1-4	5-8	9-12	13-16	17-20
22:00	0				
23:00	20	0			
0:00	40	20	0		
1:00	60	40	20	0	
2:00	80	60	40	20	0
3:00	100	80	60	40	20
4:00		100	80	60	40
5:00			100	80	60
6:00				100	80
7:00					100

Fuente: Elaboración propia

Para la ejecución de esta operación se requerirá diseñar, sobre todo para los puntos singulares restrictivos, sistemas de paso alterno, como banderilleros o semaforización, para mantener el flujo seguro y eficiente.

## **A6.5 Costos operacionales del modelo HDM IV**

La evaluación de un proyecto vial con HDM IV involucra analizar un tramo de vía, con su proyección de flujo en el horizonte, clasificada por tipo de vehículo (liviano, bus, camión de dos ejes y camión de más de dos ejes), comparando las condiciones de circulación antes y después del proyecto. Las diferencias ingresan como cambios en la velocidad media de circulación y como rugosidad de la carpeta, que afecta a los costos y rendimientos.

Así, se tendrá para la situación con y sin proyecto, diferentes consumos en las componentes a) tiempo de los usuarios; b) consumo de combustible; y c) otros costos de operación, que involucra neumáticos, lubricantes, etc.

Estos se compararán en valor presente con las inversiones necesarias.

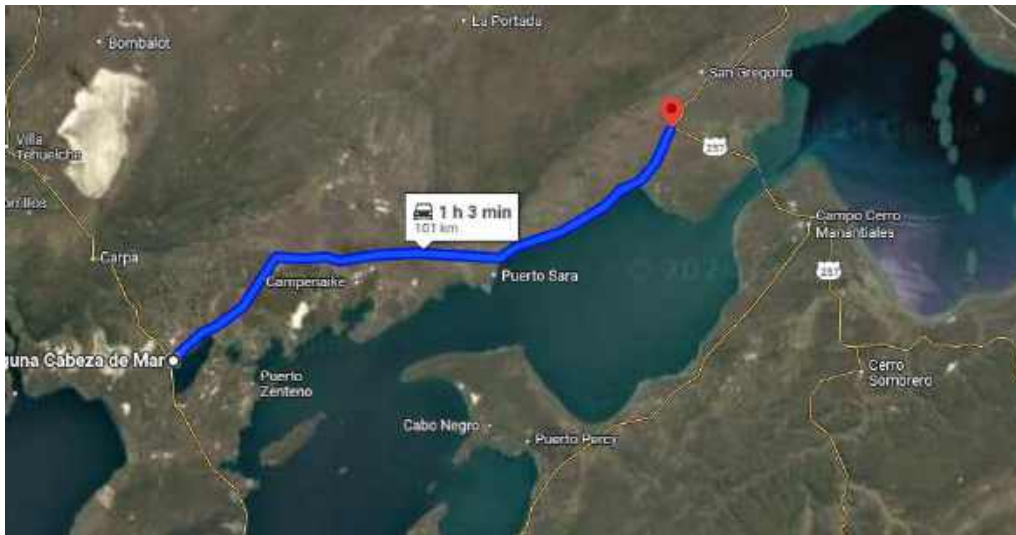
## A6.5.1 Intervenciones estudiadas

### A6.5.1.1 Proyecto 1: Mejoramiento Ruta 255-CH en 100 km

Las intervenciones analizadas son:

- Alternativa 1-A: Calzada simple, tránsito nocturno
- Alternativa 1-B: Calzada doble
- Alternativa 1-C: Bahías de 250 m cada 3 kilómetros

Figura A6- 1. Distancia en la ruta 255-CH entre los cruces con Ruta 9 y ruta 257-CH



Fuente: Google Maps

Las inversiones son:

- Alternativa 1-A: Cero
- Alternativa 1-B: US\$ 2,5 millones x 100 km = US\$ 250 millones
- Alternativa 1-C: US\$ 2,5 millones x 1,3 (recargo) x 33 x 0,25 = US\$ 25 millones

Las velocidades son:

- Alternativa 1-A: 80 km/h
- Alternativa 1-B: 90 km/h
- Alternativa 1-C: 50 km/h

Notar que la ruta enfrenta según tabla 3-11 grados 19% 10% y 11% según el tramo. En todas las alternativas 1A y 1B se trata de un nivel de servicio A, con características de flujo libre, pero hay una diferencia de velocidad porque en la alternativa 1-A no hay flujo opuesto que impida

el adelantamiento. Por otra parte, en la alternativa 1C, la mitad del flujo circularía a velocidad deseada (80) y la otra mitad en seguimiento a 20. Luego, la velocidad media es 50 hm/h.

Para estas velocidades, los tiempos resultantes de la aplicación de HDM IV, de la comparación con la Alternativa 1-A, en valor presente, son:

- Alternativa 1-B (vs 1-A): US\$ 351 millones
- Alternativa 1-C (vs 1-A): US\$ -1.894 millones

Las velocidades diferenciales respecto del 1-A son determinantes en el ahorro de tiempo.

Los costos por consumo de combustible, en valor presente, son:

- Alternativa 1-B (vs 1-A): US\$ -181 millones
- Alternativa 1-C (vs 1-A): US\$ 203 millones

En este caso, la mayor velocidad genera un mayor consumo de combustible (ahorro negativo), mientras que la menor velocidad genera un ahorro.

Y los otros costos de operación, en valor presente, son:

- Alternativa 1-B (vs 1-A): 0
- Alternativa 1-C (vs 1-A): 0

En este caso no se asume un cambio de la rugosidad, por lo que no hay cambios sobre estos ítems.

Finalmente, el beneficio de los tres ítems, junto con la inversión, comparados contra la alternativa 1-A, son:

- Alternativa 1-B (vs 1-A):  $351-181-250 = \text{US\$ } -80$  millones
- Alternativa 1-C (vs 1-A):  $-1.894+203-25 = \text{US\$ } -1.716$  millones

En conclusión, ambas intervenciones generan desbeneficio social. En consecuencia, considerando este análisis económico, se debería mantener la carretera en similares condiciones, con envío de sobredimensionados de noche.

#### *A6.5.1.2 Proyecto 1 variante: Mejoramiento Ruta 255-CH en 26 km*

Las intervenciones analizadas son:

- Alternativa 1-A: Calzada simple, tránsito nocturno
- Alternativa 1-B: Calzada doble
- Alternativa 1-C: Bahías de 250 m cada 3 kilómetros

Las inversiones son:

- Alternativa 1-A: Cero
- Alternativa 1-B: US\$ 2,5 millones x 26 km = US\$ 65 millones
- Alternativa 1-C: US\$ 2,5 millones x 1,3 (recargo) x 0,33 x 26 x 0,25 = US\$ 6,5 millones

Las velocidades son:

- Alternativa 1-A: 80 km/h
- Alternativa 1-B: 90 km/h
- Alternativa 1-C: 50 km/h

Para estas velocidades, los tiempos resultantes de la aplicación de HDM IV, de la comparación con la Alternativa 1-A, en valor presente, son:

- Alternativa 1-B (vs 1-A): US\$ 18,9 millones
- Alternativa 1-C (vs 1-A): US\$ -2,66 millones

Las velocidades diferenciales respecto del 1-A son determinantes en el ahorro de tiempo.

Los costos por consumo de combustible, en valor presente, son:

- Alternativa 1-B (vs 1-A): US\$ -102 millones
- Alternativa 1-C (vs 1-A): US\$ 0,68 millones

En este caso, la mayor velocidad genera un mayor consumo de combustible (ahorro negativo), mientras que la menor velocidad genera un ahorro.

Y los otros costos de operación, en valor presente, son:

- Alternativa 1-B (vs 1-A): 0
- Alternativa 1-C (vs 1-A): 0

En este caso no se asume un cambio de la rugosidad, por lo que no hay cambios sobre estos ítems.

Finalmente, el beneficio de los tres ítems, junto con la inversión, comparados contra la alternativa 1-A, son:

- Alternativa 1-B (vs 1-A): 351-181-250 = US\$ -49 millones
- Alternativa 1-C (vs 1-A): -1.894+203-25 = US\$ -108 millones

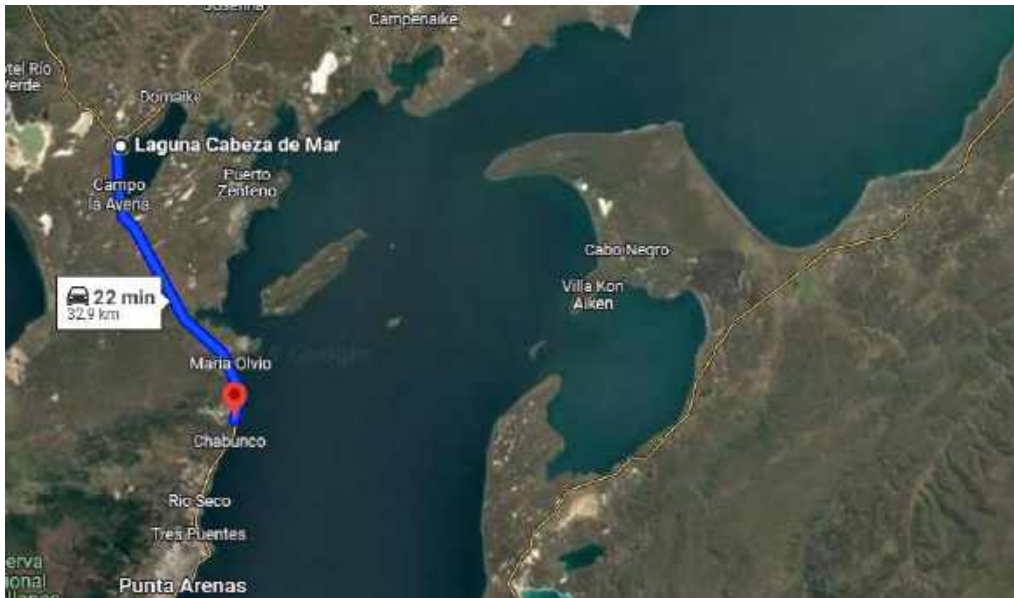
En conclusión, ambas intervenciones generan desbeneficio social. En consecuencia, considerando este análisis económico, se debería mantener la carretera en similares condiciones, con envío de sobredimensionados de noche.

### A6.5.1.3. Proyecto 2: Mejoramiento Ruta 9 en 33 km

Las intervenciones analizadas son:

- Alternativa 2-A: Calzada simple, tránsito nocturno
- Alternativa 2-B: Calzada doble
- Alternativa 2-C: Bahías de 250 m cada 3 kilómetros

**Figura A6- 2. Tramo de la Ruta 9 en análisis, entre la bifurcación del aeropuerto y cruce con ruta 255-CH**



Fuente: Google Maps

Las inversiones son:

- Alternativa 2-A: Cero
- Alternativa 2-B: US\$ 2,5 millones x 33 km = US\$ 82,5 millones
- Alternativa 2-C: US\$ 2,5 millones x 1,3 (recargo) x 10 x 0,25 = US\$ 7,8 millones

Las velocidades son:

- Alternativa 2-A: 80 km/h
- Alternativa 2-B: 90 km/h
- Alternativa 2-C: 50 km/h

Para estas velocidades, los tiempos resultantes de la aplicación de HDM IV, en valor presente, son:

- Alternativa 2-B (vs 2-A): US\$ 207 millones

- Alternativa 2-C (vs 2-A): US\$ -1.115 millones

Los costos por consumo de combustible, en valor presente, son:

- Alternativa 2-B (vs 2-A): US\$ -108 millones
- Alternativa 2-C (vs 2-A): US\$ 120 millones

Y los otros costos de operación, en valor presente, son:

- Alternativa 2-B (vs 2-A): 0 millones
- Alternativa 2-C (vs 2-A): 0 millones

Finalmente, el beneficio de los tres ítems, junto con la inversión, comparados contra la alternativa 2-A, son:

- Alternativa 2-B (vs 2-A): US\$ 181 millones
- Alternativa 2-C (vs 2-A): US\$ -987 millones

En conclusión, el mayor beneficio social se da al generar la segunda calzada de 33 km.

## ANEXO 7: CARTERA DE PROYECTOS EXPLORATORIA MOP

El Ministerio de Obras Públicas cuenta con un conjunto de proyectos para la región de Magallanes, que constituye una cartera exploratoria. Algunos de los proyectos representan continuidad de obras en desarrollo, otros constituyen ejecución de proyectos que ya han sido estudiados, y por último existen también estudios de prefactibilidad para proyectos. En su mayor parte se trata de obras de mejoramiento vial, pavimentaciones o repavimentaciones. Se encuentran también proyectos de ampliación a segunda calzada e incluso el estudio de una alternativa de conexión entre Magallanes continental y la Isla de Tierra del Fuego a través de un túnel bajo el estrecho.

Este conjunto de proyectos se presenta en la tabla siguiente. Los proyectos se agrupan por familia:

- Mejoramiento Ruta Y-71 (conectividad Sur de TdF): US\$ 108 millones
- Mejoramiento Ruta Y-65 (conectividad Norte de TdF): US\$ 36 millones
- Reposición Ruta 9 Norte (doble vía al norte del aeropuerto): US\$ 125 millones
- Mejoramiento Ruta 255-CH (doble vía 100km): U\$ 233 millones
- Red secundaria Tierra del Fuego: US\$ 3 millones
- Red secundaria Magallanes (Y-50 y puente Fitz Roy): US\$ 187 millones
- Proyectos interprovinciales (Túnel bajo estrecho): US\$ 125 millones

En el contexto del presente estudio resulta interesante para:

- a) Seleccionar algunos proyectos singulares que pudiesen ser analizados en el contexto del estudio, usando la estimación de demanda y el análisis de grados de saturación.
- b) Conocer el orden de magnitud de las obras de mejoramiento, para fines de construir indicadores de beneficio-costos.
- c) Estudiar la distribución geográfica y conectividad resultante antes y después de la implementación, contrastándola con la localización de los proyectos de desarrollo de H2V para analizar su capacidad de habilitar la construcción de dichos proyectos.

**Tabla A7- 1. Cartera exploratoria de proyectos de inversión del MOP**

<b>NOMBRE PROYECTO</b>	<b>2024 (M\$)</b>	<b>2025 (M\$)</b>	<b>2026 (M\$)</b>	<b>2027 (M\$)</b>	<b>2028 (M\$)</b>	<b>2029 M\$</b>	<b>2030 M\$</b>	<b>2031 M\$</b>	<b>2032 M\$</b>	<b>2033 M\$</b>
<b>Mejoramiento Ruta Y-71 Tierra del Fuego</b>										
Mejoramiento Ruta Y-71 tramo km 96 – 77 (en ejecución)	11.794.250	10.051.000	6.753.000	6.000.000						
Mejoramiento Ruta Y-71 tramo km 77 - 59 (en ejecución)	11.557.034	17.290.914								
Mejoramiento Ruta Y-71 tramo km 59 - 43 (obra programada)		2.000.000	8.100.000	12.000.000						
Mejoramiento Ruta Y-71, tramo km 27 al km 36 (obra en adjudicación). Ficha en <b>RE</b>	8.000.000	11.800.000								
<b>Mejoramiento Ruta Y-65 Tierra del Fuego</b>										
Mejoramiento Ruta Y-65: tramo km 55 - 25 (en ejecución)	12.442.292									
Mejoramiento Ruta Y-65: tramo km 25 – 0 (en ejecución)	17.749.703	4.453.439	85.000							
<b>Reposición Ruta 9 Norte</b>										
Reposición Ruta 9: tramo km 30 al 32 y km 35 - 41 (obra en licitación)	898.760	3.935.780	6.187.000	6.320.128						
Mejoramiento Ruta 9, Barrio Industrial - Apto. CH 252 (iluminación y accesos) (diseño en ejecución)	474.928	41.024								
Mejoramiento Ruta 9, Barrio Industrial - Apto. CH 252 (iluminación y accesos) (ejecución programada)			63.780	5.580.750	5.580.750					
Reposición Puente Chabunco km 18 (en ejecución)	4.359.332	1.944.000								
Mejoramiento Intersecciones Ruta 9 Sector: Circunvalación y Av. Frei (Prefactibilidad programada)		300.000	317.000							
Mejoramiento Ruta 9, doble vía Aeropuerto – Gob. Phillipi km 19 – 52 (Diseño programado).		557.500	1.000.000	1.000.000						
Mejoramiento Ruta 9, doble vía Aeropuerto – Gob. Phillipi km 19 – 52 (Ejecución programado).				500.000	25.500.000	30.500.000	26.000.000			
<b>Mejoramiento Ruta 255-CH San Gregorio</b>										
Mejoramiento doble vía Ruta 255-CH Monte Aymond (Diseño programado 144 km).		500.000	1.000.000	1.000.000						



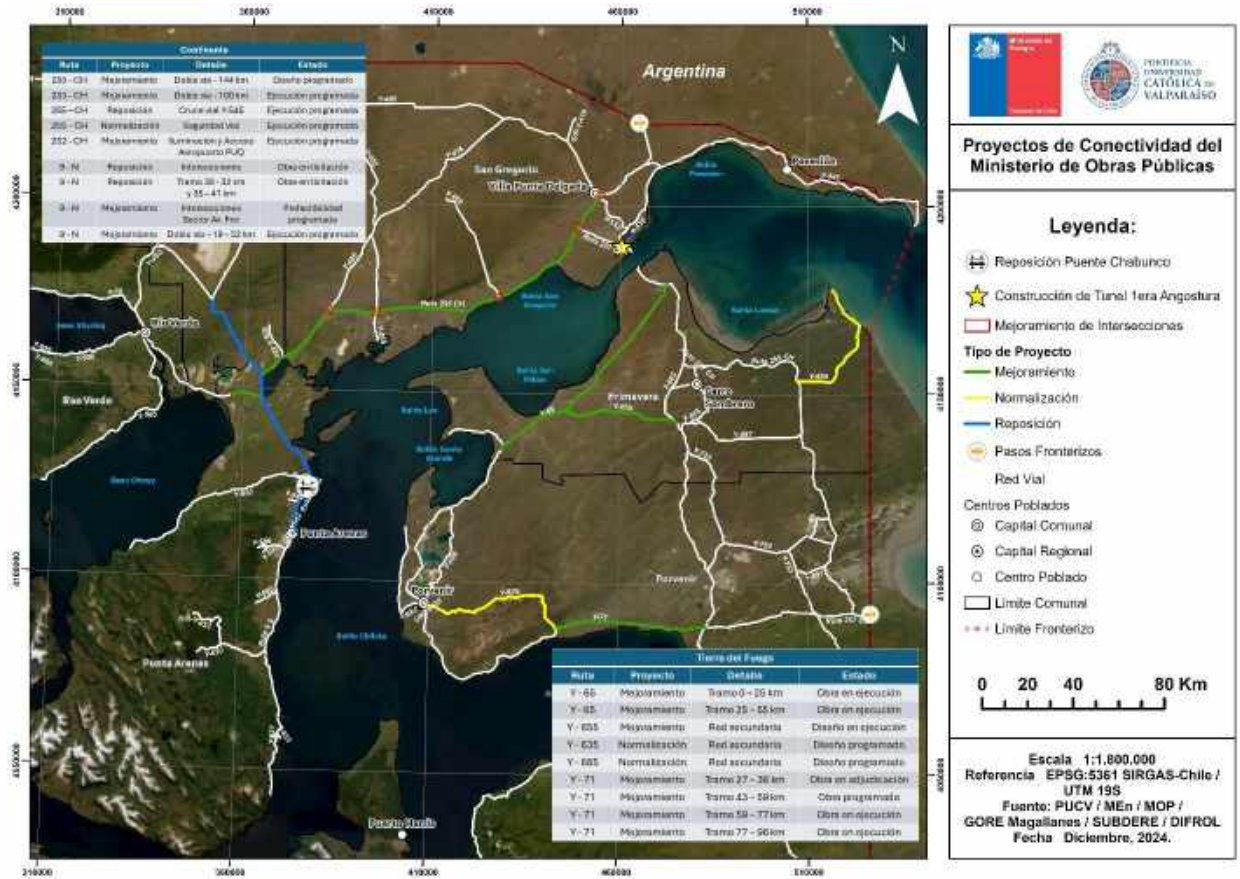
Mejoramiento doble vía Ruta 255-CH Monte Aymond (Ejecución programada 100 km).					50.000.000	80.000.000	70.000.000			
Reposición Ruta 255-CH, cruce ruta Y-545 – Monte Aymond 10km (obra programada)		2.255.200	11.055.200	9.992.200						
Normalización Seguridad Vial Varias intersecciones (Cruce 255-CH y 257-CH a transbordo Primera Angostura) (Obra programada)	650.000									
<b>Red secundaria Tierra del Fuego</b>										
Mejoramiento Ruta Y-655, Tierra del Fuego (Diseño en ejecución)	658.733	316.941								
Normalización Ruta Y-685, Pta. Catalina, Comuna de Primavera (Diseño programado)		40.000	200.000	200.000						
Normalización Ruta Y-635, Cordón Baquedano, Comuna de Porvenir (Diseño programado)		60.000	600.000	540.000						
<b>Red secundaria Magallanes</b>										
Mejoramiento Ruta Y-50 Cabeza del Mar - Cruce Fabres (Y-50 KM 0 AL 50 - Y-460 KM 0 al 22,1) (Diseño programado)		50.000	630.000	870.000						
Mejoramiento Ruta Y-50 Cabeza del Mar - Cruce Fabres (Y-50 KM 0 AL 50 - Y-460 KM 0 al 22,1) (Ejecución programada)				60.000	18.000.000	18.000.000	18.000.000	18.000.000	18.000.000	
Reposición Puente Chorrillo Vapor, Ruta Y-50 (Obra programada)	12.562	5.850.000	5.850.000							
Construcción Puente sobre el Canal FitzRoy, Comuna de Río Verde (400m) (Prefactibilidad programada)		500.000	500.000	500.000						
Construcción Puente sobre el Canal FitzRoy, Comuna de Río Verde (400m) (Diseño programado)					500.000	1.000.000	500.000			
Construcción Puente sobre el Canal FitzRoy, Comuna de Río Verde (400m) (Ejecución programada)								15.000.000	25.000.000	35.000.000
<b>Proyectos interprovinciales</b>										
Construcción Tunel en Primera Angostura, Provincias de Magallanes y Tierra del Fuego.		700.000	800.000							
Construcción Tunel en Primera Angostura, Provincias de Magallanes y Tierra del Fuego. (Prefactibilidad - Diseño - Ejecución)			1.000.000	2.000.000	2.000.000					

Construcción Tunel en Primera Angostura, Provincias de Magallanes y Tierra del Fuego. (Prefactibilidad - Diseño - Ejecución)						7.500.000	20.000.000	25.000.000	52.500.000	
Construcción Tunel en Primera Angostura, Provincias de Magallanes y Tierra del Fuego. (Prefactibilidad - Diseño - Ejecución)						2.500.000	2.500.000	3.000.000	2.500.000	

Fuente: Ministerio de Obras Públicas

En la imagen siguiente se puede apreciar la distribución de los proyectos de conectividad.

Figura A7- 1. Distribución de proyectos de la cartera exploratoria de inversión en conectividad



Fuente: Elaboración propia

**Figura A7- 2. Obras de pavimentación vial en la región de Magallanes**

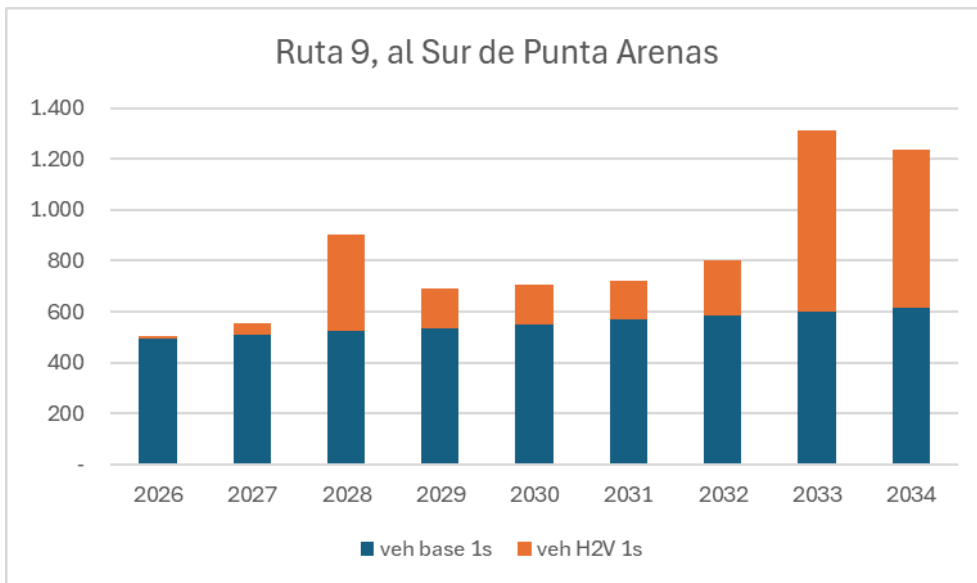


Fuente: Ministerio de Obras Públicas

## ANEXO 8: ASIGNACIÓN DE FLUJOS A LA VIALIDAD

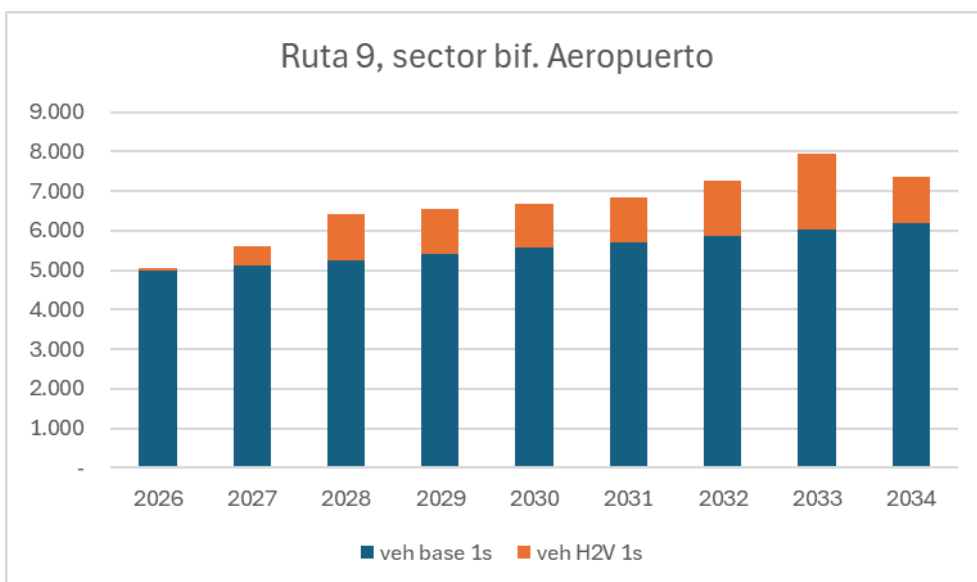
Se presentan los flujos base y de la industria de hidrógeno verde asignados a los roles y tramos de la red vial relevante.

Figura A8- 1: Asignación de flujo a la Ruta 9, al sur de Punta Arenas



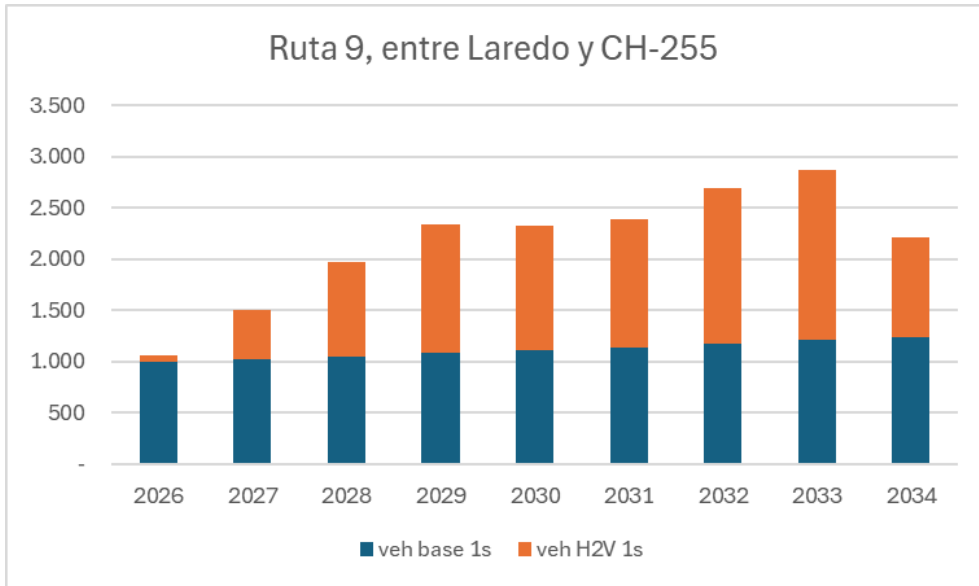
Fuente: Elaboración propia

Figura A8- 2: Asignación de flujo a la Ruta 9, sector bifurcación Aeropuerto



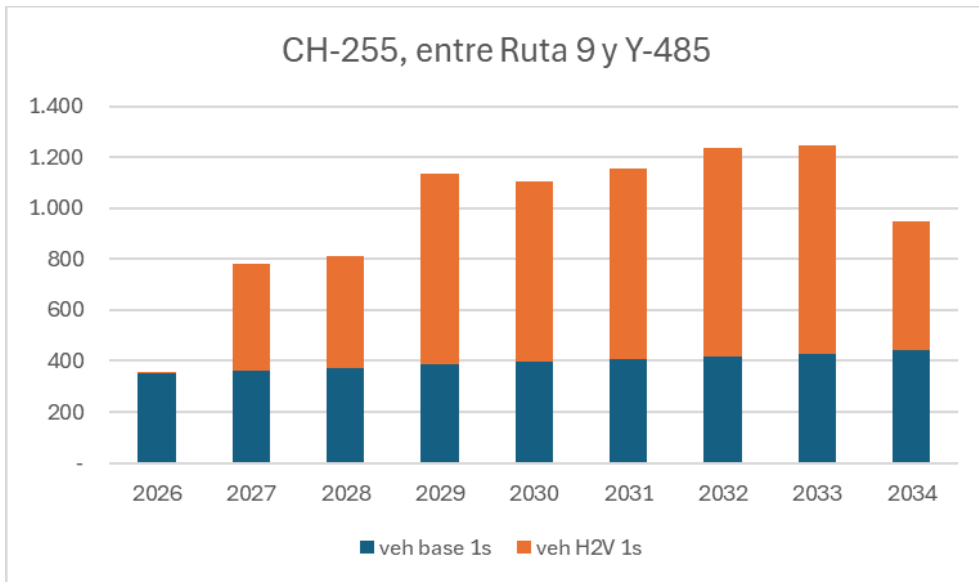
Fuente: Elaboración propia

**Figura A8- 3: Asignación de flujo a la Ruta 9, entre Laredo y cruce con ruta 255-CH**



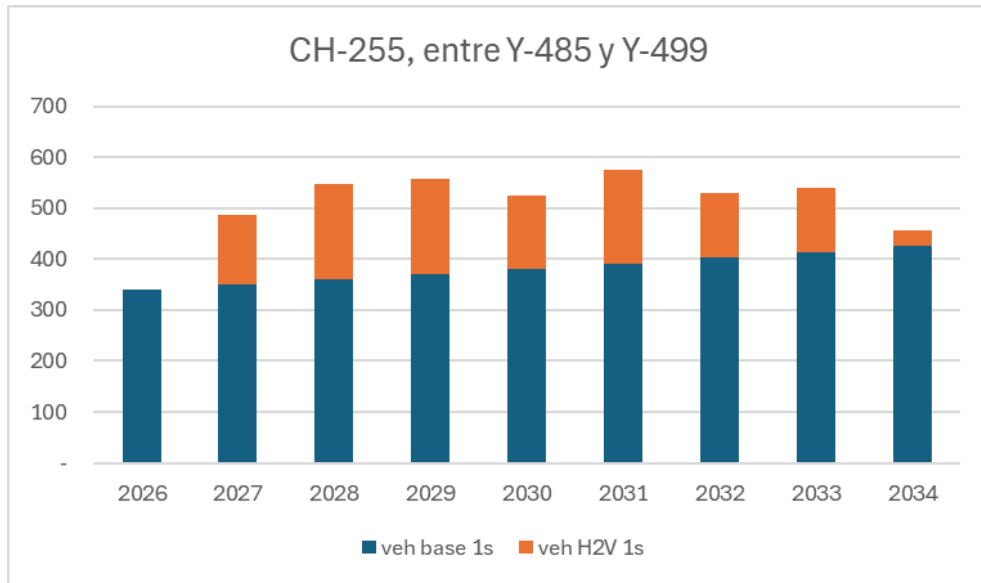
Fuente: Elaboración propia

**Figura A8- 4: Asignación de flujo a la Ruta 255-CH, entre cruces con ruta 9 y ruta Y-485**



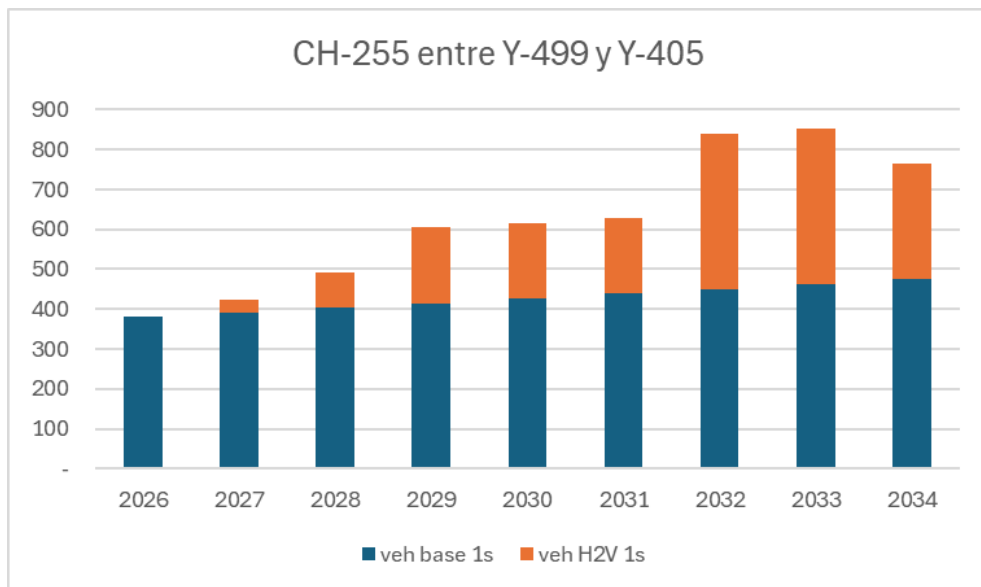
Fuente: Elaboración propia

**Figura A8- 5: Asignación de flujo a la Ruta 255-CH, entre cruces con rutasa Y-485 e Y-499**



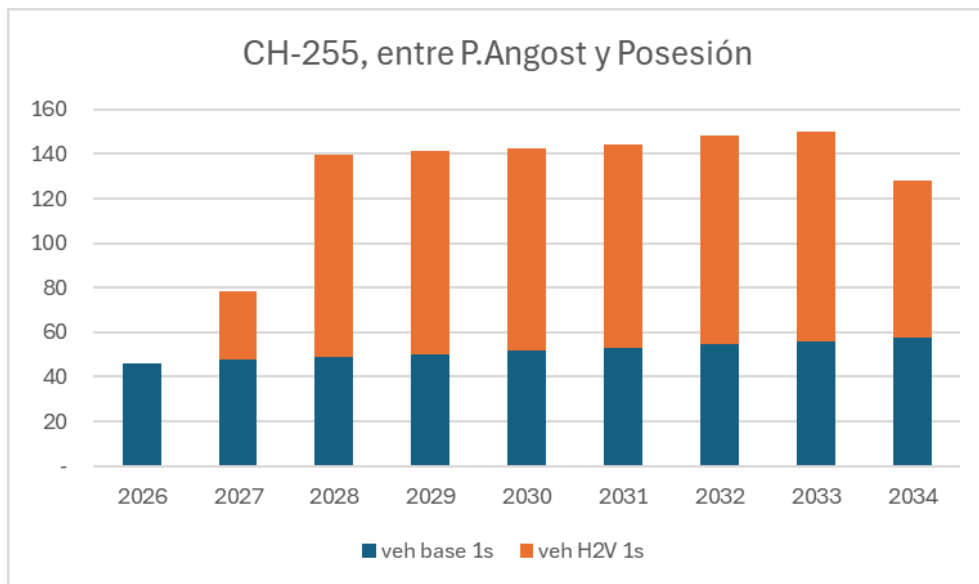
Fuente: Elaboración propia

**Figura A8- 6: Asignación de flujo a la ruta 255-CH, entre cruces con rutasa Y-499 e Y-405**



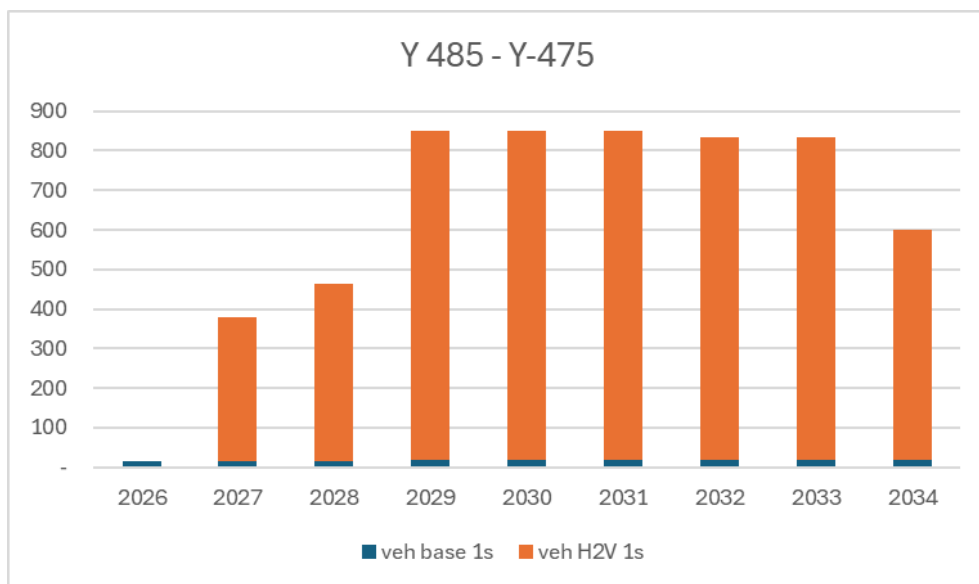
Fuente: Elaboración propia

**Figura A8- 7: Asignación de flujo a la ruta 255-CH, entre Primera Angostura y bahía Posesión**



Fuente: Elaboración propia

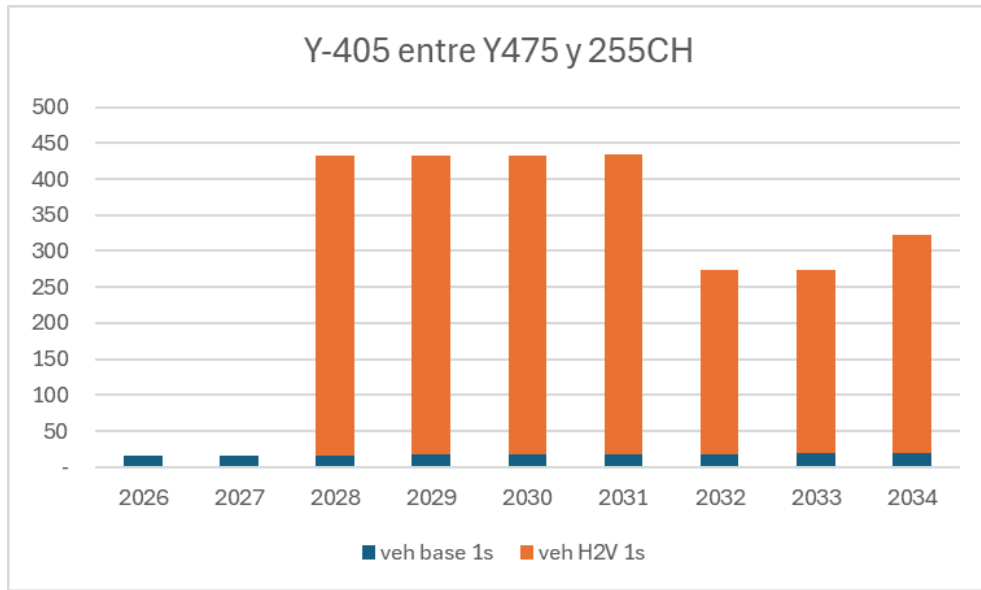
**Figura A8- 8: Asignación de flujo a las rutas Y-485 e Y-475**



Fuente: Elaboración propia

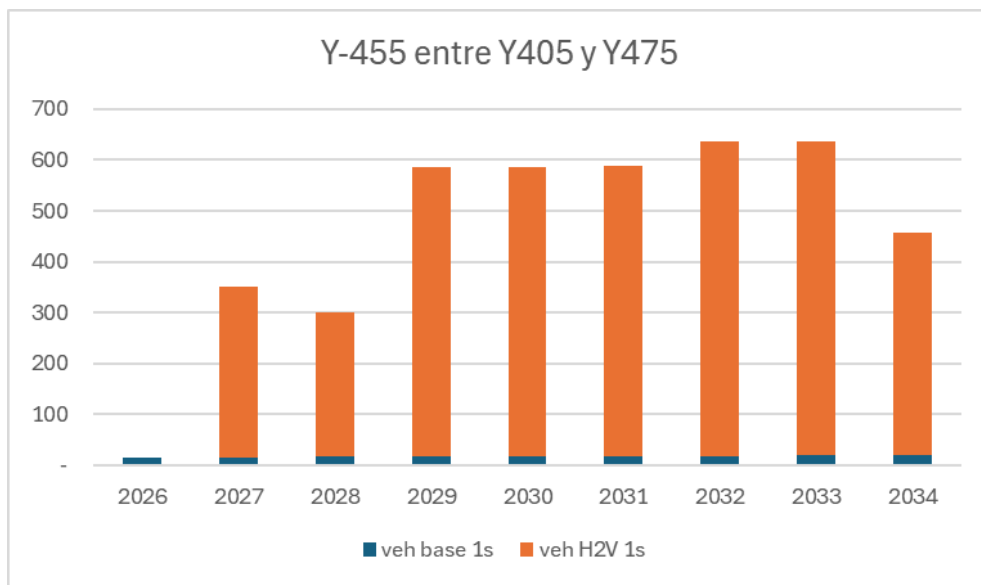


Figura A8- 9: Asignación de flujo a la ruta Y-405, entre cruces con rutas Y-475 y 255-CH



Fuente: Elaboración propia

Figura A8- 10: Asignación de flujo a la ruta Y-455, entre cruces con rutas Y-405 e Y-475



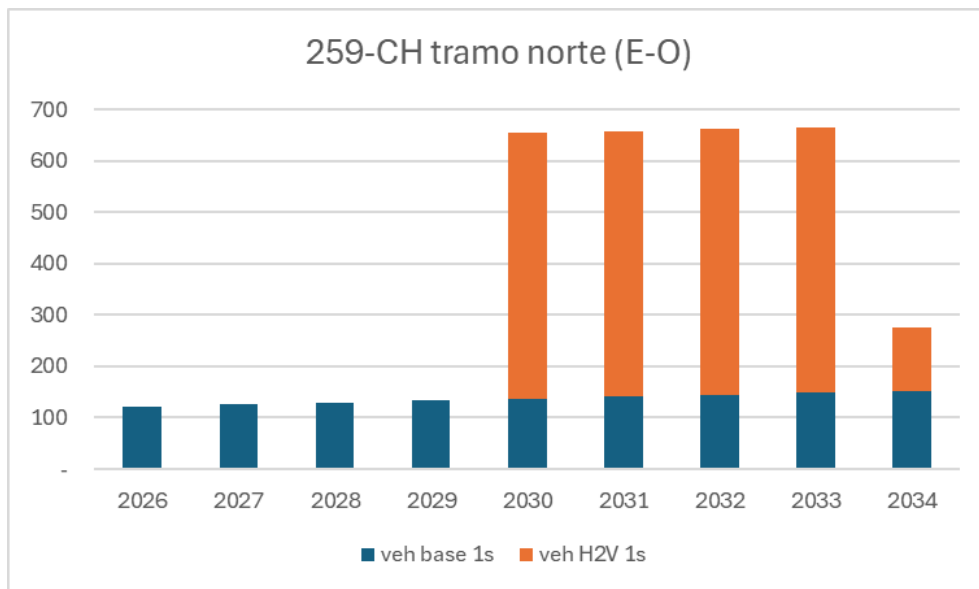
Fuente: Elaboración propia

**Figura A8- 11: Asignación de flujo a la ruta Y-499**



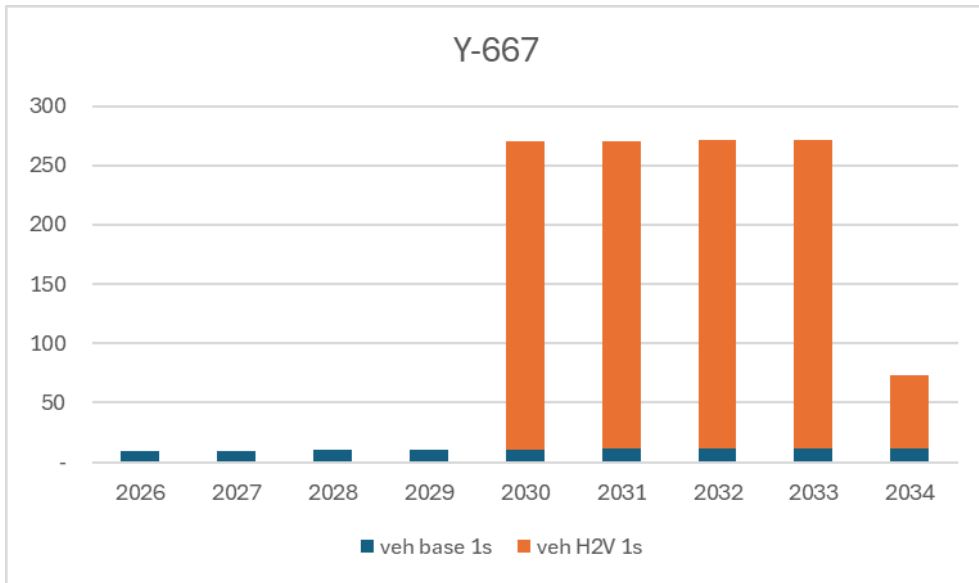
Fuente: Elaboración propia

**Figura A8- 12: Asignación de flujo a la ruta 259-CH, tramo norte**



Fuente: Elaboración propia

**Figura A8- 13: Asignación de flujo a la ruta Y-667**



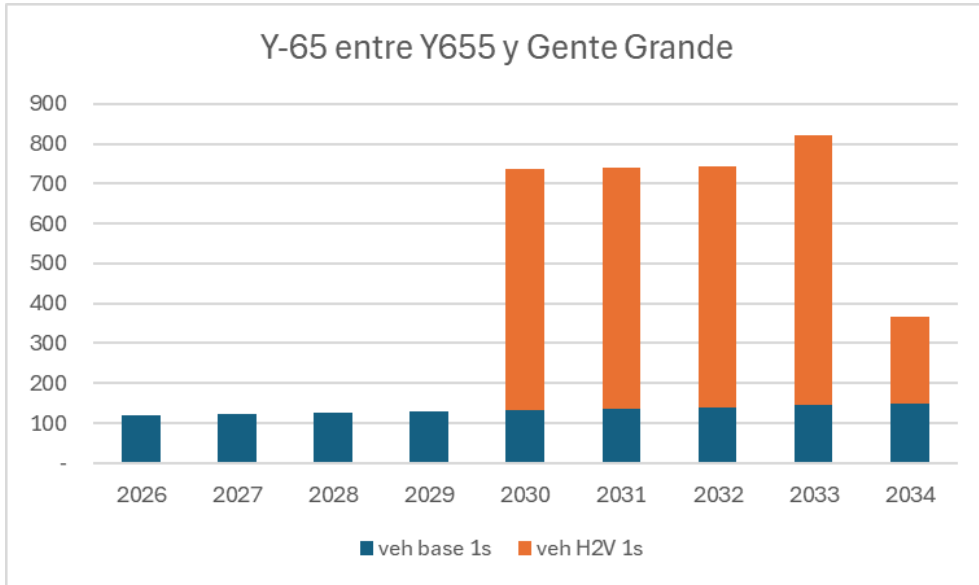
Fuente: Elaboración propia

**Figura A8- 14: Asignación de flujo a la ruta Y-655**



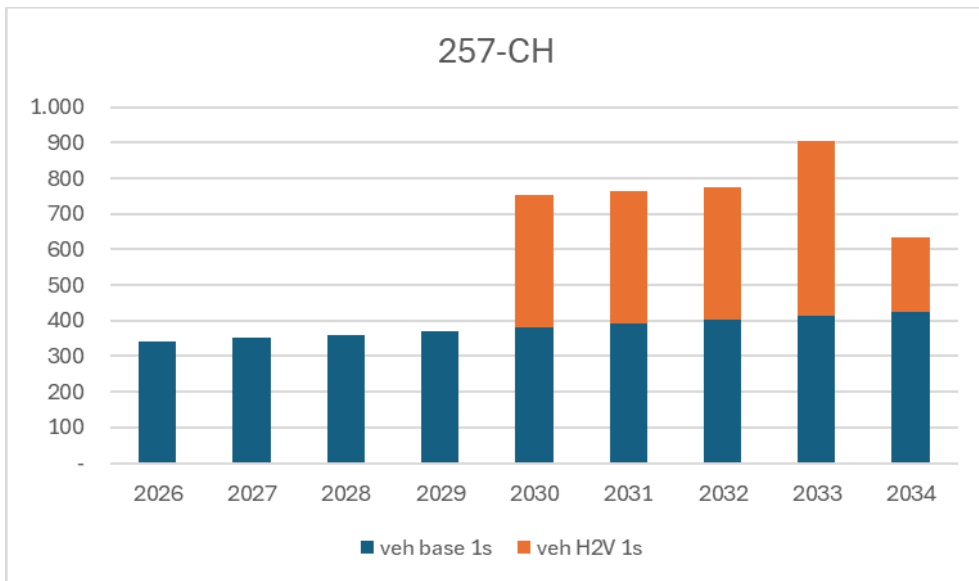
Fuente: Elaboración propia

**Figura A8- 15: Asignación de flujo a la ruta Y-65, entre cruces con Y-655 y bahía Gente Grande**



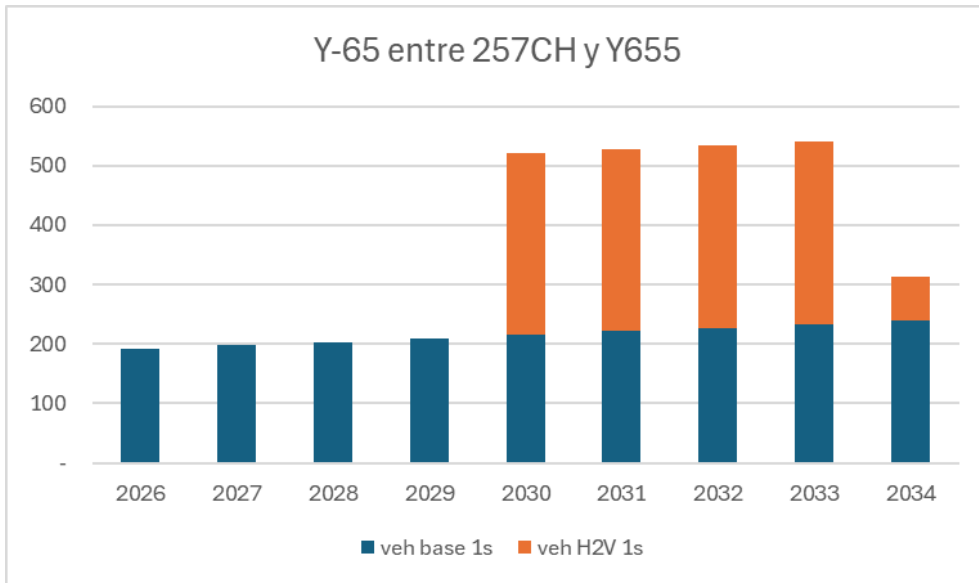
Fuente: Elaboración propia

**Figura A8- 16: Asignación de flujo a la ruta 257-CH**



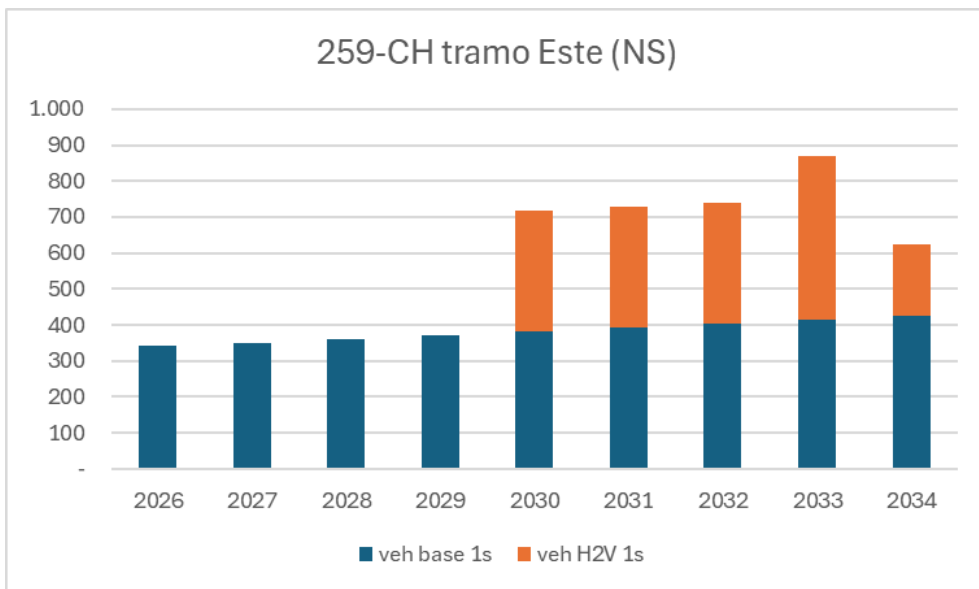
Fuente: Elaboración propia

**Figura A8- 17: Asignación de flujo a la ruta Y-65, entre cruces con rutas 257-CH e Y-655**



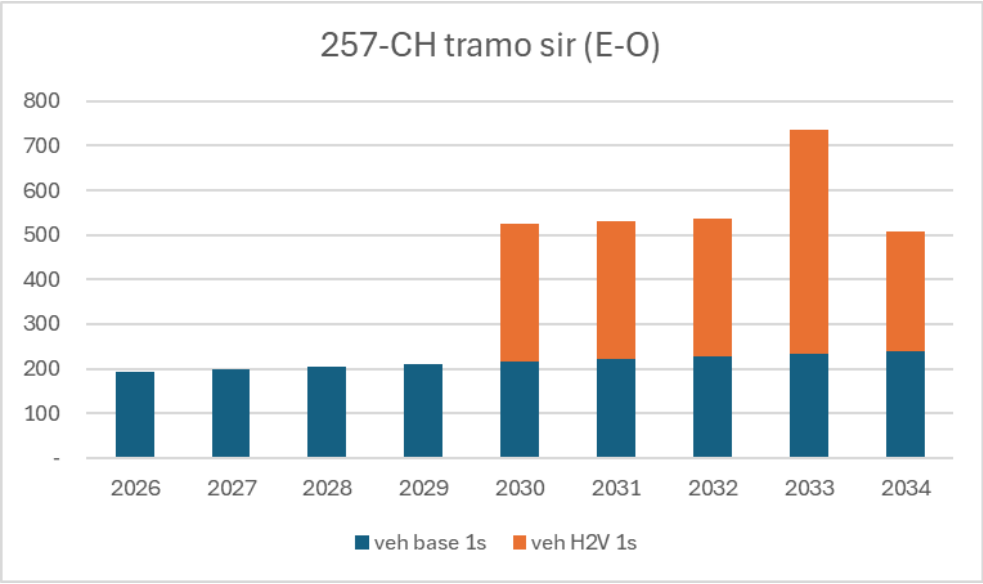
Fuente: Elaboración propia

**Figura A8- 18: Asignación de flujo a la ruta 259-CH, tramo este**



Fuente: Elaboración propia

Figura A8- 19: Asignación de flujo a la ruta 257-CH, tramo sur



Fuente: Elaboración propia

