

Revista Chilena de

INGENIERIA

ISSN 0370 - 4009 - N° 489 - Abril 2020



Anales del Instituto de Ingenieros

Vol. 132, N° 1 - ISSN 0716 - 2340

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Fundado en 1888

Miembro de la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros (UPADI)

Miembro de la American Society of Civil Engineers (ASCE)

Presidente

Luis Nario Matus

DIRECTORIO 2020

Iván Álvarez Valdés

Elías Arze Cyr

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Juan E. Cannobbio Salas

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Alex Chechilnitzky Zwicky

Raúl Demangel Castro

Andrés Fuentes Torres

Roberto Fuenzalida González

Javier García Monge

Rodrigo Gómez Álvarez

Cristian Hermansen Rebolledo

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Valdés

Rodrigo Muñoz Pereira

Ricardo Nanjarí Román

Luis Nario Matus

Ricardo Nicolau del Roure G.

Jorge Pedrals Guerrero

Humberto Peña Torrealba

Luis Pinilla Bañados

Daniela Pollak Aguiló

Miguel Ropert Dokmanovic

Mauricio Sarrazin Arellano

Alejandro Steiner Tichauer

Ximena Vargas Mesa

Luis Valenzuela Palomo

René Vásquez Canales

Jorge Yutronic Fernández

Secretario General

Carlos Gauthier Thomas

SOCIEDADES ACADÉMICAS MIEMBROS DEL INSTITUTO

ASOCIACIÓN CHILENA
DE SISMOLOGÍA E INGENIERÍA
ANTISÍSMICA, **ACHISINA**.

Presidente: Rodolfo Saragoni H.

ASOCIACIÓN INTERAMERICANA
DE INGENIERÍA SANITARIA
Y AMBIENTAL - CAPÍTULO
CHILENO, **AIDIS**.

Presidente: Alexander Chechilnitzky Z.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA
HIDRÁULICA, **SOCHID**.

Presidente: José Vargas B.

SOCIEDAD CHILENA
DE GEOTECNIA, **SOCHIGE**.

Presidenta: Gonzalo Montalva A.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA
DE TRANSPORTE, **SOCHITRAN**.

Presidente: Carolina Palma A.

PMI SANTIAGO CHILE CHAPTER.

Presidente: Alfonso Barraza San M.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN
EN INGENIERÍA, **SOCHEDI**.

Presidente: Mario Letelier S.

COMISIONES DEL INSTITUTO

ECONOMÍA CIRCULAR.

Presidente: Javier García M.

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL
Y EL BIG DATA**.

Presidente: Juan Carlos Barros M.

INGENIEROS EN LA HISTORIA PRESENTE.

Presidente: Ricardo Nanjarí R.

INGENIERÍA Y CIENCIAS DE LA VIDA.

Presidente: Alejandro Steiner T.

**LA GESTIÓN Y CALIDAD DEL DISEÑO
DE LOS PROYECTOS DE INGENIERÍA**.

Presidente: Ricardo Nicolau del Roure G.

PROSPECTIVAS DE LA INGENIERÍA.

Presidente: Jorge Yutronic F.

VISIÓN DEL NEGOCIO DEL COBRE.

Presidente: Andrés Fuentes T.

CONSEJO CONSULTIVO

Raquel Alfaro Fernandois

Elías Arze Cyr

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Bruno Behn Theune

Sergio Bitar Chacra

Mateo Budinich Diez

Juan Enrique Castro Cannobbio

Jorge Cauas Lama

Joaquín Cordua Sommer

Luis Court Moock

Alex Chechilnitzky Zwicky

Raúl Espinosa Wellmann

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Tristán Gálvez Escuti

Alejandro Gómez Arenal

Tomás Guendelman Bedrack

Diego Hernández Cabrera

Jaime Illanes Piedrabuena

Agustín León Tapia

Jorge López Bain

Jorge Mardones Acevedo

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Pérez

Guillermo Noguera Larraín

Luis Pinilla Bañados

Rodolfo Saragoni Huerta

Mauricio Sarrazin Arellano

Raúl Uribe Sawada

Luis Valenzuela Palomo

Solano Vega Vischi

Hans Weber Münnich

Andrés Weintraub Pohorille

Jorge Yutronic Fernández



Nuestra portada

ASMAR. El proyecto Antártica Uno. El primer buque Antártico construido en el Hemisferio Sur. Tendrá 111 metros de eslora, una manga de 21 metros, 7,2 de calado, son 10.800 toneladas de buque. Será el buque que el Estado de Chile mantendrá operando en la Antártica, por los próximos 40 a 50 años.

REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA N° 489, abril de 2020

Dirección: San Martín N° 352, Santiago
Teléfonos: 22696 8647 - 22698 4028 - 22672 6997
www.iing.cl • e-mail: iing@iing.cl

DIRECTOR

Raúl Uribe S.

CONSEJO EDITORIAL

Álvaro Fischer A.
Roberto Fuenzalida G.
Tomás Guendelman B.
Jaime Illanes P.
Germán Millán P.
Mauricio Sarrazin A.

REPRESENTANTE LEGAL

Luis Nario Matus
Dirección: San Martín N° 352, Santiago

SECRETARIO GENERAL

Carlos Gauthier T.

SECRETARÍA

Patricia Núñez G.

DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN

versión productora gráfica SpA

EDITORIAL.

Pág. 2

ASMAR, SU PRESENTE Y FUTURO.

Pág. 3

Conferencia del Sr. Luis Kohler Gary,
Contralmirante Director de ASMAR.

CHILE SOBRE RIELES: NUESTRO ITINERARIO AL 2027.

Pág. 25

Conferencia del Sr. Pedro Pablo Errázuriz,
Presidente de Grupo EFE.

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS

Pág. 37

- Sra. Eliana Almendras C.
- Sr. Bruno Behn T.

Comisión de Ingenieros en la Historia
Presente
Presidente: Ricardo Nanjarí R.

Esta edición da cuenta de las dos conferencias finales de 2019 realizadas en el Club de la Unión, dictadas por los señores Luis Kohler Gary, Contralmirante Director de ASMAR, titulada “ASMAR, su presente y futuro”, y por el señor Pedro Pablo Errázuriz, Presidente de Grupo EFE, titulada “Chile sobre rieles: nuestro itinerario al 2027”.

El transporte en Chile tiene una estrecha relación con la geografía y morfología del territorio nacional, lo que conduce a desplazamientos de carácter longitudinal. Por tal motivo, las dos conferencias indicadas son complementarias entre sí, orientadas a describir cómo se facilitan los desplazamientos de carga y de personas en el país.

El señor Luis Kohler Gary es Ingeniero Naval Electricista, con especialización en Ingeniería en Aviación Naval, y un Diplomado en Gestión Estratégica de Recursos Humanos en la Universidad Marítima, y un Magíster en Ciencias Navales y Marítimas, con mención en Ingeniería Naval Eléctrica.

Su excelente presentación mostró a la audiencia aspectos históricos, presentes y proyecciones futuras de ASMAR, empresa autónoma del Estado, dependiente del Ministerio de Defensa, cuyas funciones principales consisten en brindar atención a la Armada de Chile y a terceros, tanto nacionales como extranjeros, en el ámbito de los buques mercantes y pesqueros. Los servicios consisten, principalmente, en efectuar reparaciones, carenas y construcciones de naves y artefactos navales. Los recintos de ASMAR tienen la calidad de Recintos Militares, bajo el mando de un Director o de un administrador, Capitán de Navío.

El señor Pedro Pablo Errázuriz es Magíster en Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Católica, Master of Science in Management Science/Operational Research/Finance de la London School of Economics.

Su exposición repasó los antecedentes históricos que han caracterizado el accionar de EFE, enfatizando en la importancia de este medio de transporte para Chile. Señala que los resultados a la fecha son satisfactorios, pero enfatiza en que se necesita un monto muy importante de recursos para hacer posible una progresiva extensión de la red.

EFE tiene, a la fecha, 2.400 kilómetros de vías, 82 trenes y presencia en 41 comunas de diez Regiones del país. Se transportan cerca de 11 millones de toneladas de carga al año, por lo que la mayor parte de la infraestructura ferroviaria está dedicada al transporte de carga. Los servicios de transporte de pasajeros son de menor volumen, porque los desplazamientos son, en general, cortos, del orden de 50 a 60 kilómetros, o incluso menos que eso. Concluyó su exposición refiriéndose a futuras acciones de este servicio.

Continuando con las tareas de reconocimiento y difusión del quehacer de Ingenieros Destacados, que lleva a cabo la Comisión de Ingenieros en la Historia Presente, presidida por el colega Ricardo Nanjarí, se incluyen en la presente edición las entrevistas realizadas a la señora Eliana Almendras y al señor Bruno Behn, ambos Ingenieros Civiles de Minas, con una larga trayectoria profesional y académica.

ASMAR, SU PRESENTE Y FUTURO

*Conferencia del Contralmirante
Director de ASMAR,
don Luis Kohler Gary.*



*Contralmirante Kohler, durante su conferencia
"ASMAR, su presente y futuro".*

En el mes de julio del año pasado, en el Club de la Unión y ante numerosa asistencia de personalidades del ámbito público y privado, se realizó la conferencia del Contralmirante Director de ASMAR don Luis Kohler Gary, quien se refirió a "ASMAR, su presente y futuro".

El Contralmirante Kohler ingresó a inicios de 1978 a la Escuela Naval "Arturo Prat", graduándose como Guardiamarina el 1 de enero de 1983. Es Ingeniero Naval Electricista, a contar del 31 diciembre de 1988, y de Estado Mayor a contar del 2000. En 1989 aprobó el curso de especialidad complementada de Ingeniería en Aviación Naval. El 2005 realiza el Diplomado en Gestión Estratégica de Recursos Humanos en la Universidad Marítima.

Posee los grados académicos de Magíster en Ciencias Navales y Marítimas con mención en Ingeniería Naval Eléctrica. Además, posee el título de Profesor Militar de Escuela en la Especialidad Complementada de Aviación Naval.

Sus últimos ascensos y destinaciones han sido: 2014 el Supremo Gobierno le confirió el grado de Contraalmirante; los años 2014-2017 se desempeñó como Director de Ingeniería de Sistemas Navales; 2018 asume como Director de Astilleros y Maestranzas de la Armada.

Contralmirante Kohler.

—Muy buenas tardes, primero que nada, quisiera agradecer la invitación que me hacen como director de ASMAR, para poder presentar nuestro astillero a tan selecto grupo de ingenieros.

Lo que voy a presentar es qué somos, qué hacemos y qué pretendemos hacer.

Algunos aspectos de lo que voy a tratar, dicen relación con que ASMAR una empresa estratégica del Estado, los segmentos de negocio y sus características, las capacidades que tenemos productivas, las inversiones mayores y su plan y el proyecto de construcción naval.

Vemos el organigrama (Figura 1) de la administración del Estado y de la Contraloría General de la República y podemos decir que ASMAR es una empresa autónoma del Estado, que está en la sección de las empresas descentralizadas del estamento público, dependiente del Ministerio de Defensa junto con Fábrica de Maestranzas del Ejército y la Empresa Nacional de Aeronáutica de Chile.

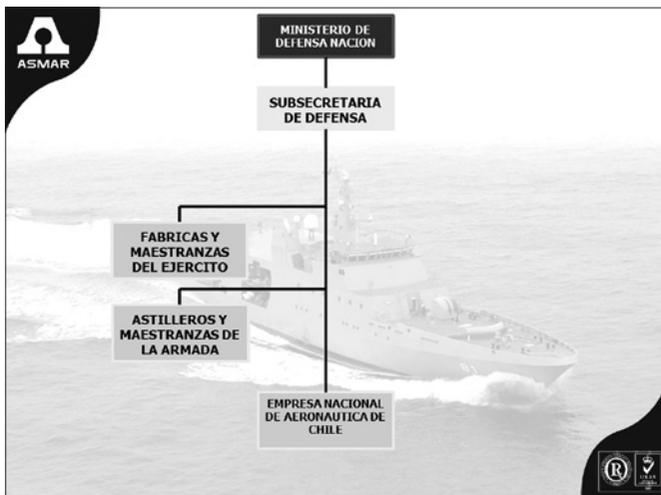


Figura 1

Similar situación a la que tienen la Empresa de Ferrocarriles del Estado, las Empresas Portuarias que son 10, la Empresas de Correos de Chile y la Empresa Nacional de Minería, la Empresa Nacional del Petróleo y la Corporación Nacional del Cobre.

ASMAR no nace de la nada. Viene de los Arsenales de Marina y éstos nacen en los años 1890, con la construcción de los blindados “Cochrane” y “Blanco” en Inglaterra (Figura 2).



Figura 2

Ahí el Estado se dio cuenta de que los diques Valparaíso y Santiago, que eran de madera y que levantaban hasta 2.500 toneladas; no eran capaces de levantar estos nuevos blindados que pesaban 3.500 toneladas. Así, ordenó una Comisión para buscar un lugar donde instalar una base logística. Y así fue como llegaron al sector de Marinao en la Bahía de Talcahuano y en 1890 comienza a construirse el Dique N°1, que fue inaugurado en el año 1896 con la entrada al Dique del Destructor Blanco y el Huáscar.

Posteriormente se decidió la construcción del Dique seco N°2, para acoger al conocido acorazado “Latorre”, que fue mandado a construir el año 1914, y que dentro de sus rendimientos de alto nivel estaba en que pasara por el canal de Panamá, que iba a ser inaugurado en esos años (Figura 3).



Figura 3

Es así, que se comenzó la construcción, en la década de 1910 de este Dique, que a causa de la Primera Guerra Mundial fue detenido, por la situación que estaba pasando el mundo, en especial Chile con el tema del salitre y se retoman las obras en 1923, siendo inaugurado en 1924 con la entrada del Acorazado al Dique.

Pasan los años, hasta el año 1960, cuando obviamente todos los buques de la Segunda Guerra Mundial y anteriores comienzan a ser dados de baja por la Armada de Chile y se genera una importante disponibilidad de mano de obra en los Arsenales, por lo tanto, el Gobierno junto con la Marina hacen estudios y deciden transformar los Arsenales de Marina en una nueva empresa, ¿para qué? Para optimizar el uso de los principales activos disponibles, desarrollar capacidades tecnológicas para la Marina, que en ese momento estaban detenidas, satisfacer la demanda creciente de una industria mercante y pesquera en desarrollo en nuestro país y favorecer un criterio de auto-gestión en la administración del Astillero. Eso da luces a la creación de ASMAR (Figura 4).

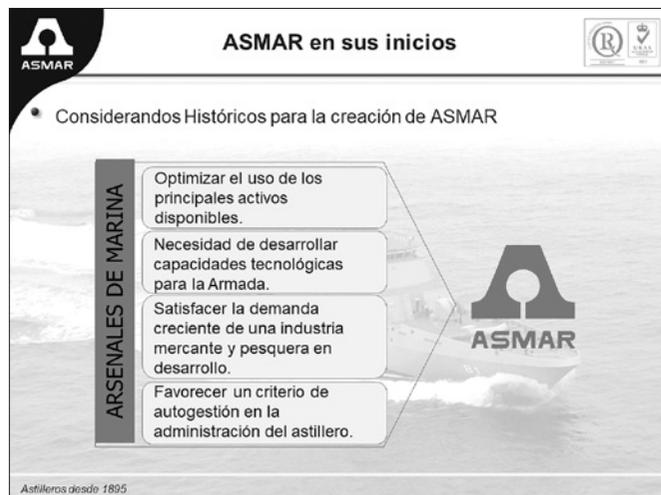


Figura 4

Es así como ASMAR se crea el 6 de abril de 1960 por el Decreto Fuerza de Ley N° 321 y que posteriormente fue modificado en el año 1984, por la ley 18.296 (Figura 5).

Básicamente, la misión de ASMAR está escrita en su Artículo N°2. Es una empresa del Estado de administración autónoma, del área de la industria naval y de la defensa, cuya principal actividad es satisfacer eficientemente las necesidades de reparación y carenas. Y se abre al mundo de la construcción, por eso lo destacué en negrilla, para satisfacer las unidades de la Armada de Chile y además efectuar reparaciones, carenas



Figura 5

y construcciones de naves y artefactos navales para terceros nacionales y terceros no nacionales.

Descripción. La organización corporativa del Astillero, está formada por un Consejo Superior de 7 personas que tiene un director, que es quien le habla y tres Plantas Industriales. ASMAR Valparaíso, ASMAR Talcahuano, ASMAR Magallanes y 2 filiales. Tal como se ve en la pantalla, la dirección corporativa está en Valparaíso (Figuras 6 y 7).

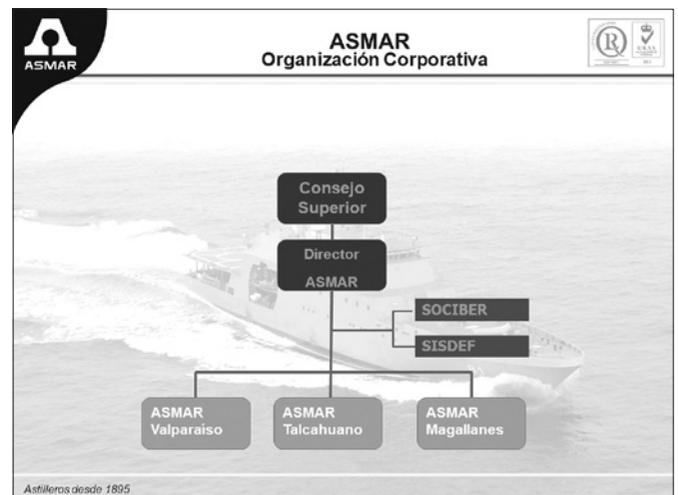


Figura 6

SOCIBER es una empresa llamada Sociedad Iberoamericana de Reparaciones Navales Ltda., es una sociedad 50-50 que tenemos con Navantia España, para la explotación del Dique flotante Valparaíso 3, que fue construido en el año 1985 en

Talcahuano, aportando Navantia los recursos y ASMAR el recurso humano; hoy día se explota en la Rada de Valparaíso. Tiene una capacidad de levante hasta 10 mil toneladas (Figura 8).

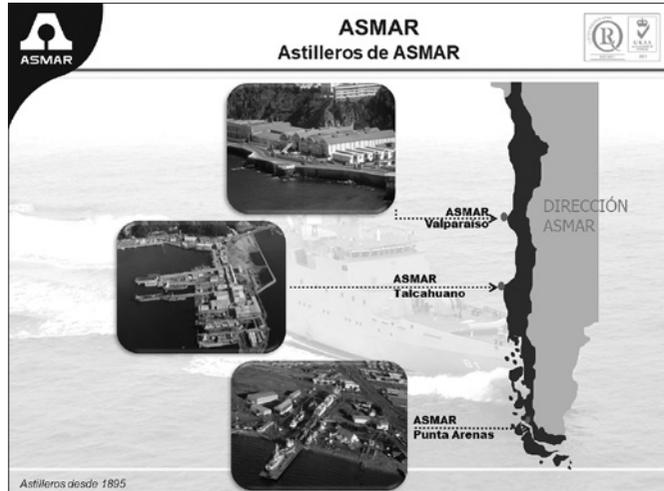


Figura 7



Figura 8

ASMAR también es dueño en un 90% de la empresa SISDEF (Compañía de Ingeniería de Sistemas e Integración de Sistemas de Control), especializada en el desarrollo de Software y la fabricación de sistemas de misión. Hoy día se está exportando a México, Colombia y Ecuador. Esperamos en un futuro cercano hacerlo también a Panamá (Figura 9).

Como empresa autónoma del Estado, básicamente hoy día es administrada para la Armada, porque su demandante principal

es la Armada y así lo dispone la ley, pero también tiene una serie de controladores. Básicamente la Subsecretaría de Defensa, que es a quien este Director reporta, el Ministerio de Hacienda que es quien aprueba los presupuestos del año corriente. Estamos controlados por el CAIGG, por la Contraloría General de la República, el Comité para el Mercado Financiero, la Dirección de Aduanas, el SII. O sea, somos una empresa normal como cualquier otra civil con sus peculiaridades, pero tenemos todos los controles que se establecen en la ley (Figura 10).



Figura 9



Figura 10

Por lo tanto, ASMAR cuenta con una personalidad jurídica propia, tiene su propio patrimonio que nace con los Arsenales de Marina. Los trabajadores de ASMAR tienen la calidad de funcionarios públicos. Estamos fiscalizados por las normas

laborales. A nosotros nos controla la Contraloría General de la República, pero las Inspecciones del Trabajo tienen la facultad de ir a verificar las normas de trabajo que tienen los trabajadores. Se aplican todas las normativas estatales. La relación nuestra con el Gobierno, como les dije, es a través de la Subsecretaría de Defensa y el Ministerio de Hacienda, por intermedio de la Dirección de Presupuesto (Figura 11).

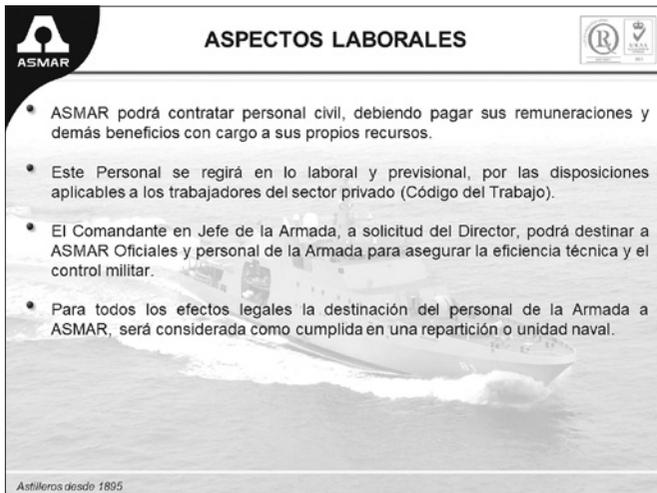


Figura 11

ASMAR es una empresa estratégica de la Defensa para el Gobierno de Chile. Los recintos de ASMAR tienen la calidad de Recintos Militares, bajo el mando de un Director o de un administrador que es un Capitán de Navío. La dependencia del Director está dada a través del Consejo, pero mi selección fue dada por una selección que fue autorizada por el Presidente de la República, es como si fuera Alta Dirección de Empresas del Estado.

Obviamente las funciones principales de ASMAR son atender a la Armada de Chile y, como funciones accesorias, atender a terceros tanto nacionales como extranjeros, en el ámbito de los buques mercantes y pesqueros.

En los aspectos laborales, ASMAR puede contratar personal civil y les paga sus remuneraciones y todos sus beneficios con cargo a sus propios recursos. Aquí debemos recalcar que mi sueldo también lo paga ASMAR. O sea, ASMAR no es subvencionada por el Estado. La Armada me paga mi sueldo, pero después la Armada se lo descuenta a los trabajos que ha mandado hacer a ASMAR, por lo tanto, todos los sueldos de todos los trabajadores de ASMAR son pagados por la Empresa, no hay ninguna subvención del Estado.

El personal civil se rige en lo laboral y previsional, por el Código del Trabajo. Por otra parte, el Comandante Jefe de la Armada a solicitud del subdirector, podrá destinar oficiales y gente de mar a los Astilleros, para asegurar su eficiencia técnica y control militar. Hoy día en el Astillero hay muchas actividades que se realizan en el área de armamento y los sistemas de armas en que el civil no tiene esa capacitación; por lo tanto, nosotros pedimos que cierta cantidad de marinos pasen a ASMAR, para desarrollar los trabajos mayores de Overhaul en este ámbito.

Y para todos los aspectos legales la destinación de todo el personal de la Armada es constituida como si se estuviera sirviendo en una repartición naval.

En cuanto al tema de aspectos laborales, en lo que es el tema de los sindicatos, hoy día los trabajadores de ASMAR tienen derecho a constituir sindicatos en conformidad a lo que está dispuesto en las leyes. Sin embargo, no pueden tener negociación colectiva y por lo tanto no pueden tener huelga. Independientemente de eso, desde el año 2013 tenemos un sistema de acuerdos de conversaciones que hoy día estamos realizando. Tenemos 7 sindicatos, 3 en Talcahuano, 2 en Valparaíso y 2 en Magallanes con lo cual cada cierto tiempo nos juntamos para acordar beneficios y mejoras en los aspectos laborales de los trabajadores (Figura 12).



Figura 12

En cuanto al personal naval, obviamente no está sindicalizado y no está autorizado a hacerlo.

Ahora, la visión dentro de nuestra planificación estratégica es la que se presenta en la pantalla: ser una empresa estratégica competitiva a nivel internacional en el ámbito de la industria naval y defensa nacional con capacidad de infraestructura y personal que permita asegurar el mantenimiento y el sostenimiento integral de las unidades de la Armada de Chile. Siempre decimos, que ASMAR existe porque existe la Armada y decimos que la Armada no puede existir sin ASMAR. También sostener una capacidad de construcción naval enfocada en sus requerimientos. Y en el ámbito de los negocios con terceros, ser una empresa competitiva rentable y reconocida como sustentable a nivel nacional e internacional, con instalaciones que nos permiten proyectarnos hacia el Asia Pacífico (Figura 13).



Figura 13

La condición de empresa estratégica de la defensa está en la Ley Orgánica del Ministerio de Defensa y se funda en el hecho que ASMAR juega un rol vital en el sistema de soporte logístico de la Armada y que por definición tiene el mantenimiento y la reparación de todas sus unidades de combate, submarinos y unidades auxiliares, que se ejecuta integralmente en las instalaciones de ASMAR (Figura 14).

Dado esto, la empresa está obligada a mantener capacidades especiales que son solamente requeridas por la Armada. Porque hay muchas cosas que nosotros tenemos, sistemas de armas, taller de armamento y otros que el civil no lo requiere, pero nosotros, dada la función que realizamos, nos obligamos a tener. Y debemos estar en condiciones de satisfacer todos los requerimientos, tanto de las Fuerzas Navales y de las Fuerzas Armadas utilizando todas sus capacidades cuando la situación así lo amerite.

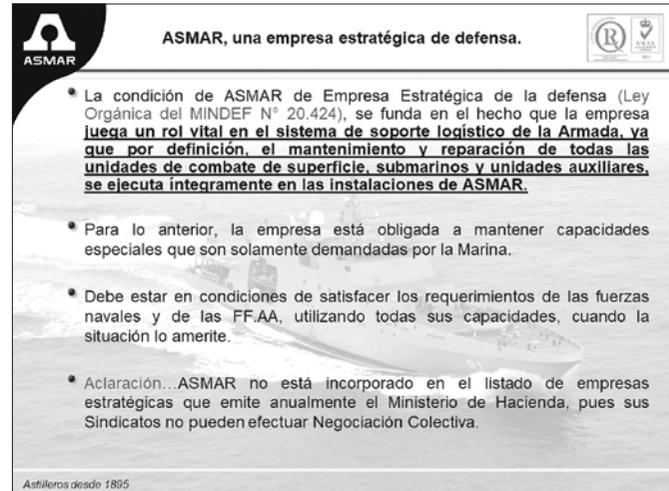


Figura 14

Y, por lo tanto, aquí hago una aclaración, ASMAR no está incorporada en el listado de empresas estratégicas que anualmente emite el Ministerio de Hacienda, pues sus sindicatos no pueden hacer negociaciones colectivas. Y, por lo tanto, nosotros no estamos vistos todos los años, si somos o no somos una empresa estratégica, esto desde el punto de vista del Ministerio de Hacienda que está viendo quienes son los que están haciendo negociación colectiva y afectan a los intereses del bien común del país y no pueden parase por huelga.

Los segmentos de actividades de ASMAR y sus características

Modelo de negocio. Como el modelo de negocio de ASMAR recoge el concepto que les expliqué de su orientación estratégica y, por lo tanto, no es su objetivo maximizar sus utilidades, sino que proveer y asegurar las capacidades que requiere la Armada, obviamente asegurando el equilibrio operacional de la empresa, maximizando los ingresos que se puedan obtener a través de terceros, minimizando el programa de operaciones de la Armada y todo esto dentro de una estructura a costo cerrado donde las utilidades que se obtengan, son reinvertidas en la empresa.

El foco de actividades como ustedes ven, está basado en reparaciones a la Armada como construcción naval militar, y reparaciones a pesqueros y otros (Figura 15).

Así es como tenemos sociedades complementarias como SISDEF y SOCIBER y hay oportunidades complementarias, como es la construcción naval a terceros que hemos realizado.

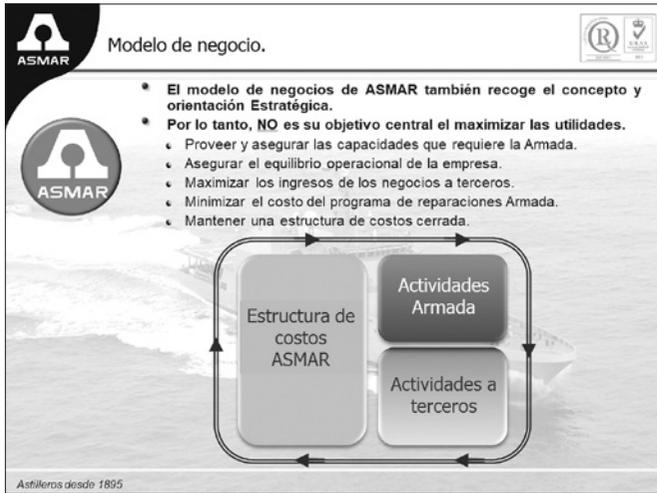


Figura 15

En sí, lo estratégico es lo que está destacado, que son las actividades vitales para la Armada, son capacidades que hemos ido alcanzando en el tiempo en base a una decisión estratégica que ha tomado la Marina, en cuanto a lo que requiere tener en las instalaciones de ASMAR y SISDEF y así hemos desarrollado tecnología que está probada y tiene siempre espacio de crecimiento.

Y en otro ámbito, ASMAR hoy día es parte de la oferta de los servicios marítimos que se realizan a nivel nacional e internacional. En este ámbito ASMAR se rige por las reglas del mercado, aquí competimos con nuestros pares, con los recursos que tenemos y el ritmo de esta actividad marítima sigue el comportamiento la economía nacional y mundial.

En el segmento actividades de reparaciones. ASMAR es el contratista principal de la Marina, para todo lo que es el mantenimiento, reparación, transformación y modernización de sus unidades navales. Para terceros trabajamos y ofrecemos nuestros servicios a Armadas extranjeras, mercantes nacionales y extranjeros y pesqueros nacionales y extranjeros (Figura 16).

Y en construcción naval, básicamente nuestro Corp Business, son los buques para la Armada de Chile, hacemos buques de investigación y pesqueros de alta tecnología, sobre todo lo hicimos los años 90, cuando el boom de los pesqueros estaba en su apogeo, pesqueros menores, lanchas de servicio general, tenemos una línea de botes PUMAR, que compite con botes internacionales de otros países. Y hoy día estamos dedicados a hacer artefactos navales para la acuicultura.

El segmento de las actividades, en cuanto a sus características, en lo que es reparaciones, con la Armada es super estructurado,

está muy planificado, es de alta complejidad técnica, tiene una componente muy fuerte por parte de la Armada, ya que ellos están en los Astilleros con sus inspectorías técnicas verificando los trabajos que realizamos. Se desarrolla a utilidad mínima, es decir, no se vende al costo, pero generamos una utilidad suficiente para poder ser sustentable en el tiempo (Figura 17).

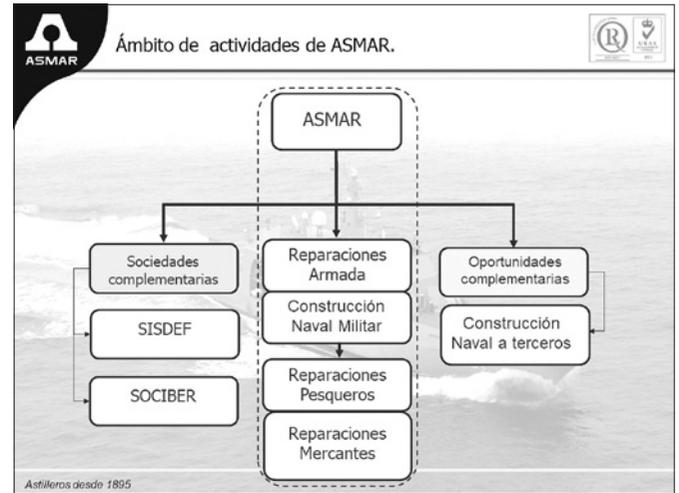


Figura 16

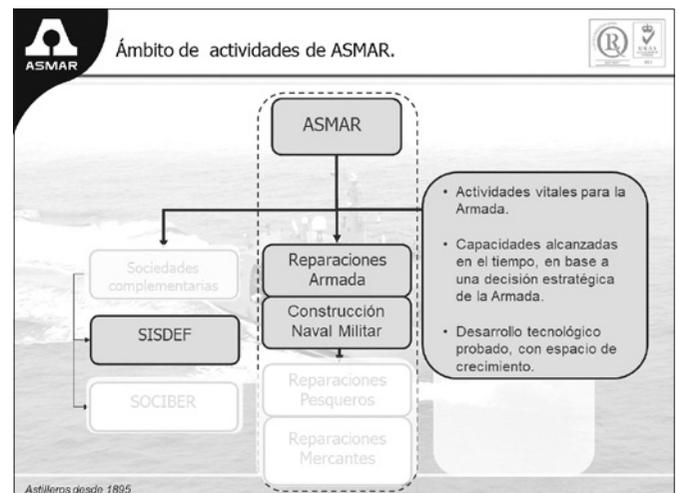


Figura 17

En cuanto a terceros, es un mercado de incertidumbre. Nosotros tenemos un mercado de captura, que lo vamos a ver más adelante, donde estamos buscando capturar buques que vienen al país o salen del país y que hagan sus períodos de mantenimientos en Chile. Es muy dinámico, se compite y se administra con las reglas del mercado, tiene poco riesgo técnico, los buques son super sencillos, básicamente vienen

a hacer sus carenas que es básicamente limpieza de casco y pintado, verificación de sus líneas de eje, maquinaria principal, no tienen armamento, así que es muy bajo riesgo técnico, la venta es por unidad (Figura 18).

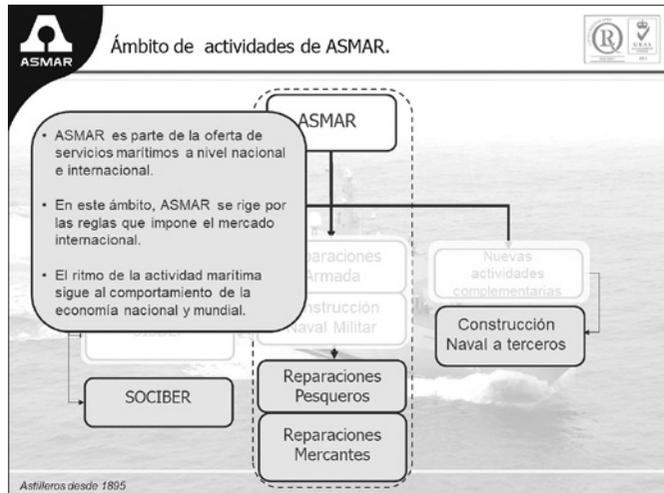


Figura 18

Cada buque es un negocio, y tenemos valores establecidos para competencia, pero con cada uno de ellos es un negocio diferente. Y es el que genera la mayor rentabilidad y tiene un riesgo financiero que normalmente nadie quiere pagar al salir. Quieren cuotas a pagar en el tiempo. Por lo tanto, esto tiene un riesgo financiero.

En cuanto a construcción naval, son proyectos de largo plazo, construir algo no se toma de un día para otro. Hay todo un diseño conceptual de acuerdo con un requerimiento de alto nivel, que genera después un diseño básico y después un diseño de construcción.

Después la construcción, demanda mucha ingeniería, está sujeto a cambios durante todo el proceso. Por lo tanto, nosotros hemos aprendido de los procesos realizados y hoy día nada se inicia, si no está definido 100%. Es como cuando uno se manda a hacer la casa, no puede haber cambios en el camino porque si no, después, se encarecen los costos y tenemos que cambiar los diseños y termina “el camello siendo un dromedario”.

Esto se vende a **suma alzada**, el proyecto completo, o sea, el riesgo de ASMAR es un valor fijado con el contratista, es el valor que se cumple, independiente que haya más o menores trabajos. Tiene un bajo margen de utilidad; construir genera bajo margen, 5 al 10%. En general la construcción naval en el mundo está subvencionada. Aquí lamentablemente para

ASMAR no hay ninguna subvención. Yo compito con otros, hay un riesgo financiero en el tiempo porque efectivamente es de largo plazo, requiere mucha inversión al principio y los pagos se producen en el tiempo y algunos después de la construcción. Son contratos asimétricos, porque yo le respondo al demandante por el buque completo, si llega a fallar algo, el que me suministró el producto solamente me responde por lo suyo. O sea, si hay una falla en un motor con garantía, la empresa que me lo vendió va a responder por el motor, pero yo tengo que responderle al que me lo está comprando, por todo el tiempo en que ese buque va a estar siendo reparado. Tengo que asumir los costos del dique, de la mano de obra, etcétera.

Tenemos un acuerdo con la Armada, que es de 5 años, donde se fijan las reglas de cómo vamos a negociar y como es nuestro cliente principal, se establece un acuerdo que se firma cada 5 años en que se determina qué capacidad debe tener la Armada en ASMAR, como, por ejemplo, ¿Cuál es la dotación estratégica que debemos tener? ¿Por qué la Armada pasa marinos y después los descuenta? Los parámetros en ese acuerdo se establecen para el cálculo de la tarifa.

¿Quiénes son los interlocutores válidos en los procedimientos para solicitar los trabajos, las garantías, las inversiones que se van a hacer? ¿Cómo se va a pagar? Eso genera finalmente que año a año, de acuerdo al presupuesto de la nación, hagamos un contrato donde se define la mano de obra por planta y por taller, la tarifa que va a tener esa mano de obra y servicios, cómo se van a distribuir los recursos en cada uno de los buques que va a concurrir, o sea un buque viene, cuantas Horas Hombres ese buque va a contratar, y tenemos un valor del buque. El monto total de todos, la mano de obra y servicios de materiales, la forma de flujo, la moneda en que se va a pagar, porque hoy día todavía estamos recibiendo recursos de pago que vienen de leyes reservadas, eso en el futuro va a cambiar. Y este es un contrato que viene con un año de duración.

ASMAR hoy cuenta con todas las capacidades para reparar y efectuar el mantenimiento a todos los buques y submarinos de la Armada. La Armada por intermedio de las direcciones técnicas que posee, establece anualmente cuáles son las capacidades que requiere que mantenga ASMAR. Los costos de esta inversión tienen dos formas de financiarse. Uno que la Armada pague la inversión en forma directa y después se le cobre por los costos variables del servicio o que la inversión la financie ASMAR y la incorpore a la tarifa de servicios que prestará. Hoy día estamos usando la segunda, porque la Marina no tiene suficientes recursos y ASMAR está invirtiendo en maquinaria y equipamiento e instrucción de su personal que no se le traspasa directamente a la empresa año a año, sino que se va cobrando en el tiempo y es la tarifa que se va a cobrar (Figura 19).

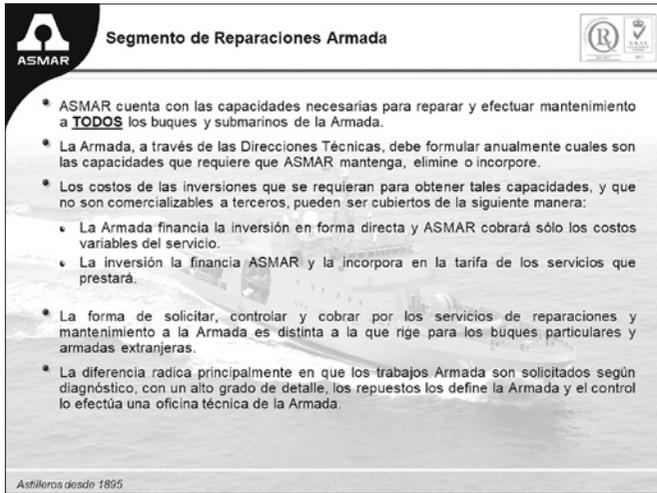


Figura 19

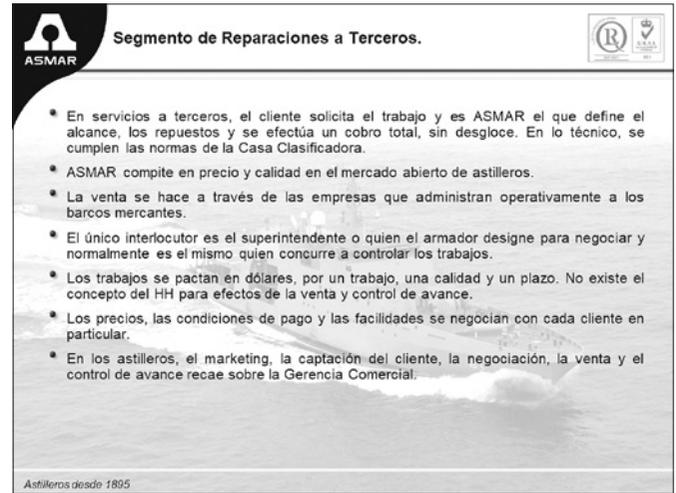


Figura 20

Está establecida la forma de solicitar, contratar y cobrar los servicios, que es totalmente distinta a la que rige a los buques particulares y a las Armadas extranjeras. Hoy día, la diferencia con el externo radica en que se solicita un diagnóstico, se genera un listado de trabajos, los repuestos los define la Armada y el control lo efectúa una oficina técnica que tiene la Institución dentro del astillero, vale decir, estamos sumamente controlados y vamos paso a paso.

En cuanto a terceros, el cliente solicita el trabajo, es como que usted lleva el auto a taller, es ASMAR el que define el alcance de lo que se hace, los repuestos y efectúa un cobro total sin desglose, y básicamente cumpliendo las normas que nos dicen las casas clasificadoras, los superintendentes de las empresas navieras están presentes en los astilleros verificando los trabajos, pero aquí se trabaja así con ellos (Figura 20).

ASMAR hoy día compete en precio y calidad en el mercado abierto de los astilleros. La venta se hace a través de empresas que administran operativamente a los barcos mercantes. Antiguamente todo el mundo escuchaba sobre las navieras sudamericanas interoceánicas, hoy día el mundo globalizado y las guerras comerciales que ha habido ha hecho que muchas de ellas hayan quebrado o se hayan tenido que fusionar y, por lo tanto, al fusionarse han trasladado la administración logística de estas naves. Los armadores y las empresas que se están dedicando a la administración logística de los buques son con las que ASMAR hoy día está conversando. Antiguamente cruzábamos la calle Prat y en la Plaza Sotomayor, conversábamos con las Navieras que estaban en el país. Hoy día hay que conversar con jóvenes que están sentados en Holanda, en Chipre, en Grecia, en Alemania, en la China, en Japón. Hoy día el único interlocutor que tienen en los astilleros es

su superintendente o quien el armador haya designado para negociar y llevar a cabo el contrato. Y, por cierto, en este mundo globalizado todo se transa en una moneda, ASMAR está dolarizado, o sea, nuestros estados de resultados son en dólares y, todos los trabajos con los terceros se pactan en dólares por un trabajo, una calidad y un plazo.

Los precios, las condiciones de pago y las facilidades, se negocian con cada cliente en particular, de acuerdo con las condiciones que tenga esa empresa, en cuanto a ser un cliente habitual o no y, a la capacidad crediticia que tenga. Naturalmente nosotros tenemos dentro de la corporación una gerencia comercial que son las encargadas del marketing, la captación de clientes, la negociación, la venta y el control de los avances.

¿Cuál es nuestra competencia? Las menores, ASTINAVE de Ecuador, COTECMAR en Colombia ¿Por qué? Porque tienen astilleros donde sus diques son muy chicos y por lo tanto no pueden recibir a buques mayores (Figuras 21 y 22).

¿Qué diferencia a un astillero de otro astillero? Son tres conceptos:

- **Primero:** muelles, porque hay que tener capacidad de muellaje para poder atracar a los buques que van a ser reparados, porque no todos necesitan entrar a un dique, sea flotante o seco, la cantidad de metros lineales de muelle, con el fondo suficiente para que ese buque pueda entrar al puerto.
- **Segundo:** capacidad de levante de carga. Hay mucho peso que hay que sacar de los buques y hay que instalar en un buque y por lo tanto se necesitan grúas móviles y fijas que puedan ser capaces de mover la carga.

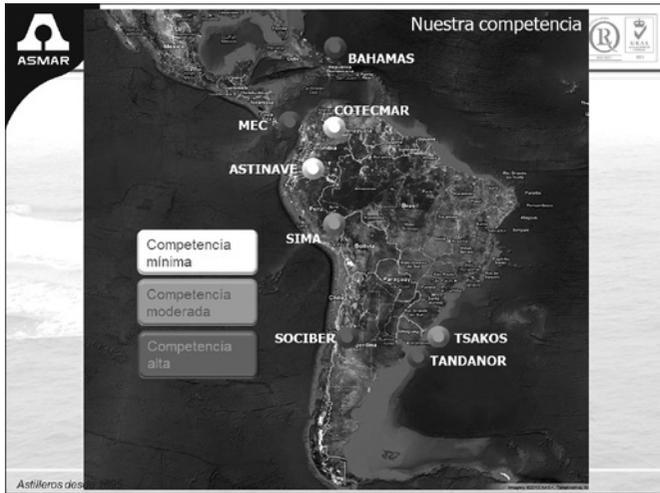


Figura 21

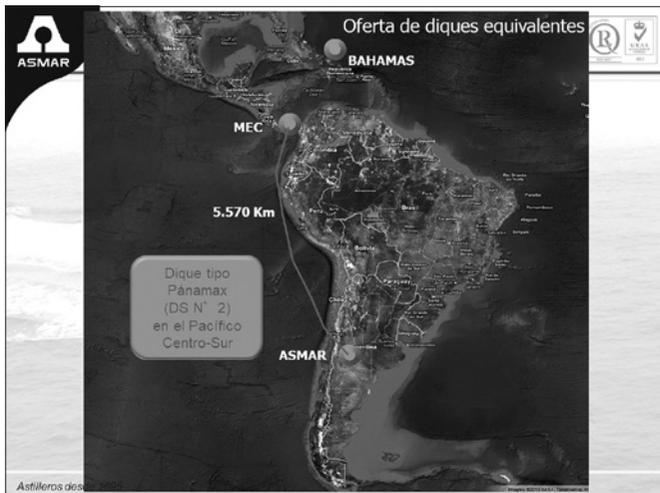


Figura 22

- **Tercero:** capacidad de hacer las reparaciones en seco. Sin esos tres seríamos sencillamente una maestranza.

O sea, una maestranza si usted le agrega muelles, grúas para mover y bajar peso y diques, eso genera un astillero.

La competencia menor la tenemos en Colombia y Ecuador, tenemos una competencia moderada en Perú con Sima y en Tsakos de Uruguay y nuestra competencia alta está dada por nuestro propio dique SOCIBER que es nuestra mayor competencia, aunque parezca ridículo y no estamos coludidos.

Otro competidor importante es MEC que está instalado al lado del Canal de Panamá y por eso tiene una ventaja competitiva. Porque para cualquier buque mercante son 7 días navegando

para llegar a Chile y, por lo tanto, hay que bajar los precios para poder capturarlo, si es que no viene al sector de captura nuestra.

Y está también TANDANOR en la Argentina.

Hoy día en el Pacífico Oriental existen solamente 2 diques que tienen la capacidad de recibir buques Panamax. Uno está en Panamá y otro está en Chile. Este lo construimos para recibir un acorazado, nunca pensando que algún día iba a servir para otras funciones. Y por lo tanto hoy día, nuestra principal tarea es traer buques que están en esta área operando. Tal como los aviones llevan su GPS, nosotros llevamos una AIS que permite identificar donde están los buques.

Aquí podemos ver los astilleros, por donde están circulando los buques. Entonces nosotros usamos fuentes de inteligencia que nos permiten saber cuáles son los buques que están viniendo al área de captura nuestra que va desde Panamá hasta un poco al sur de Argentina y ver su desglose, eso nos permite focalizar nuestro marketing de captura. Y ahí vamos, les golpeamos la puerta cuando llegan a puerto y nos presentamos. Hay gente que cree que todo el mundo conoce ASMAR, pero no nos conocen, nos presentamos y les decimos que somos tan competitivos como otros astilleros del mundo. Y, podemos saber de dónde son los buques que están llegando, qué bandera usan y dónde están sus administradores (Figura 23).

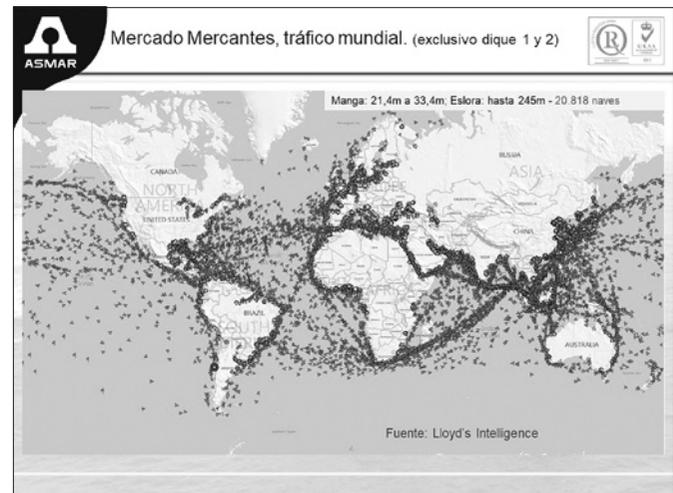


Figura 23

El negocio mercante, como les dije, es cíclico y nos encontramos hoy día en un periodo de recuperación de mercado. Todos ustedes lo han vivido, lo han escuchado, lo han leído en la prensa, entre el 2015 y 2017 se produjo una crisis en el mundo naviero. Hoy día los fletes están super baratos. Yo

me sorprende cuando me meto a ALI Express y dice “envío sin costo de flete”. Pero hoy día traer un contenedor de la China, ustedes saben más que yo, pero debe estar en el orden de 2.000 y 7.000 dólares. Hace 10 años atrás costaba 18.000 dólares o más. Hoy día están sumamente baratos los fletes y por lo tanto los ingresos de las empresas son menores y por ello, en la cadena logística, el mantenimiento es lo primero que se deja de hacer. Y hoy día están viniendo a hacer lo mínimo. Limpiar el casco, el alineamiento de la línea de eje, pintura. Entonces las facturas han bajado a pesar de que hemos mantenido cierto nivel de captura (Figura 24).

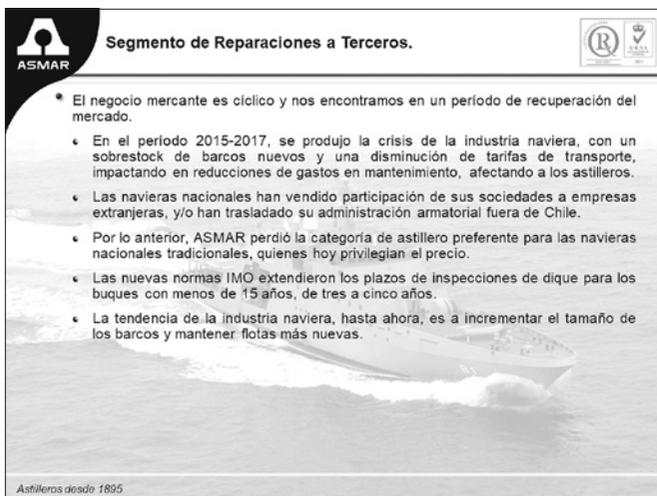


Figura 24

Hoy día, hay un solo stock de un barco nuevo, porque el año 2008, antes de que comenzara la crisis, muchas navieras mandaron a construir buques más grandes, pensando que iba a haber un aumento del crecimiento del mercado internacional, cosa que no ha pasado, y si uno baja la data del intercambio comercial que hay a nivel mundial, sobre todo aquí a nivel de Chile, seguimos exportando e importando la misma cantidad de metros cúbicos. Los buques están llegando más grandes, pero vienen más vacíos. Si uno se para en Valparaíso, y se pone a ver los portacontenedores que llegan vienen con la mitad de la carga o vienen con la misma carga, pero buques más grandes.

Y de hecho hoy muchas navieras se están replanteando si fue bueno haber crecido tanto, porque están moviendo un monstruo para llevar menor carga.

Como les decía, las navieras nacionales han vendido la participación en sus sociedades a empresas extranjeras o han

trasladado su administración armatorial fuera de Chile y, por lo tanto, hoy día ASMAR perdió la categoría de astillero preferente para ciertas navieras nacionales tradicionales, que están privilegiando, como todas, el precio. Y para nosotros es super complejo el precio, porque tenemos que mantener una serie de capacidades que la Armada nos obliga tener, que si no fuera por eso no las mantendríamos. Entonces, eso tengo que incorporarlo dentro del precio.

Por otra parte, las leyes laborales como todos saben, y las medidas medioambientales, nosotros las estamos cumpliendo como toda empresa del Estado de Chile. Y eso frente a la competencia de otros países que tienen algunas relajaciones con respecto a lo que es hoy día Chile, nos coloca en un nivel en el que no podemos competir. Hoy día nadie puede competirle a China, entonces un buque viene de China a Chile, no competimos, pero si ese buque viene de Europa, sí podemos competirle porque somos mejores en calidad, precio y plazo que los europeos, excepto, los que están en el área de Turquía o Polonia, que todavía siguen siendo baratos.

También las normas internacionales han extendido los plazos de las inspecciones, porque las navieras estaban a punto de quebrar. Y como las navieras para poder transportar sus cargas necesitan estar aseguradas se reunieron con las aseguradoras. Ellas les dijeron que necesitaban que estén validados por sus casas clasificadoras para poder asegurarles el buque y la carga. Fueron donde una casa clasificadora y entre los tres conversaron, antes que quebrara el negocio, porque ya estaban tomando el control los bancos.

Ahora, dadas las nuevas tecnologías, los períodos de mantenimiento entre diques, hoy día para todo buque menor de 15 años, los períodos de dique se han pasado de 3 a 5 años. Nosotros estábamos confiados en que se estaba cumpliendo el año 3, para ciertos buques, pero dijeron no, 2 años más. Y por ello hemos pasado por una hambruna de buques que se ha ido alargando. De hecho, muchos buques mayores a quince años de vida los están dando de baja, porque hay un sobre stock de buques nuevos.

La tendencia hoy en la industria es a incrementar el tamaño de los barcos y mantener flotas más nuevas, eso es lo que se está viendo hasta hoy día. Yo creo que la flota va a seguir siendo nueva, pero no hay mayor crecimiento, tan exponencial como se estaba dando ahora con los buques Post Pamamax que han generado una nueva abertura en el Canal de Panamá. Yo creo que se va a frenar un poco, a menos que se resuelvan las guerras comerciales que hoy día existen.

En el segmento de la construcción naval, ASMAR tiene una capacidad de construcción limitada por una única grada, como vamos a ver más adelante, por su capacidad de levante y por la disponibilidad de ingeniería de detalle y de talleres (Figura 25).

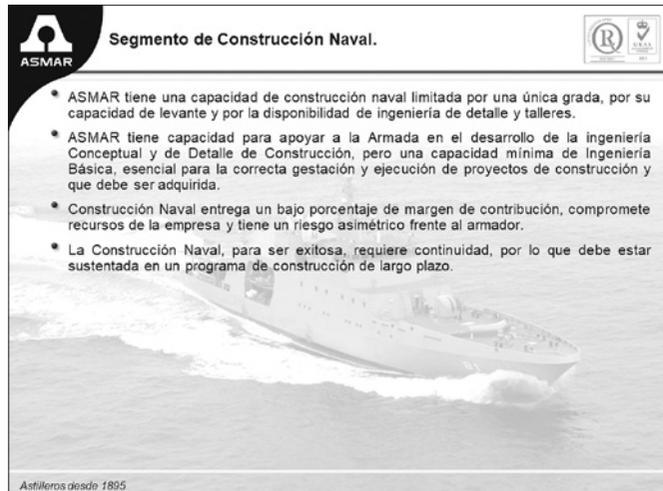


Figura 25

ASMAR, tiene capacidad para apoyar a todas las ingenierías conceptuales. Hoy día nos sentamos con la Marina, a la par, cuando ellos quieren hacer una renovación de su flota; nos sentamos con ellos para entender qué es lo que quieren. Y finalmente, después que ellos han sacado su requerimiento de alto nivel, con ellos hacemos un diseño conceptual. Cabe señalar que nosotros no tenemos gente dedicada 100% al tema de la ingeniería básica. Por lo tanto, esa ingeniería básica que se debería hacer con el diseño conceptual, nosotros la licitamos internacionalmente. Para cuando la recibimos, sí tenemos la capacidad para diseñar la ingeniería de detalle, porque conocemos nuestros talleres. Entonces desde esa idea básica podemos decirle al taller, cómo construir cada uno de los departamentos del buque, porque sabemos la maquinaria y la gente que tenemos aquí.

Como les decía, la construcción naval entrega un bajo porcentaje de margen, porque la Marina siempre dice: “Estás caro. Más barato o lo hago en el extranjero”. Entonces, obviamente nos fuerzan a ser cada vez más eficiente en el control de costos.

El Presidente Piñera, que todo el mundo lo conoce, cuando le van a presentar los proyectos siempre dice: “¿Y la comparación?”. Entonces hay que demostrar que ASMAR es mucho más barato.

Por ejemplo, hoy estamos construyendo un Rompehielos, pero el Estado de Chile me dijo: “Vamos a hacer un Rompehielos

en Chile, pero te lo voy a pagar en los próximos 2 años”. Entonces hoy día se está usando la caja, y en septiembre tendremos que pedir un préstamo como de 20 millones de dólares como empresa, pagado el 2021 y el 2022 para poder llevar a cabo este proyecto.

Por eso, hoy día, tenemos un problema de caja, y hay que solicitar un préstamo para apalancar y poder llevar a cabo ese proyecto. Y como les decía tiene un alto riesgo asimétrico frente al armador. Porque el armador dice: “acordamos un valor y usted me tiene que entregar este producto y por cualquier falla, me responde por todo”.

La construcción naval, para ser exitosa, requiere continuidad, por lo que debe estar sustentada en un programa de construcción de largo plazo. Eso es lo que siempre hemos buscado con la Marina y con el Gobierno del Estado de Chile. Que, si quiere hacer construcción naval, como una capacidad estratégica del Estado, debe tener un plan, ojalá financiado en el tiempo, porque el *know-how* se pierde a los 2 o 3 años, los ingenieros se aburren y se van. Y levantar ingenieros en Chile que se especialicen en esta área, es muy complejo. Entonces nosotros requerimos de inversión, o sea estar trabajando para una construcción naval continua en el tiempo.

En cuanto a capacidades productivas, están los astilleros. Este es de Valparaíso (Figura 26). Puse esa foto, porque es ahí donde se producen los botes de la marca PUMAR. Y es un astillero de complejidad mediana, está centrado en la Armada, no tiene muelle, no tiene dique, solamente grúas móviles. Su foco principal es ser el apoyo de mantenimiento del 2do nivel y reparaciones no programadas de los buques que están surtos en la bahía de Valparaíso.

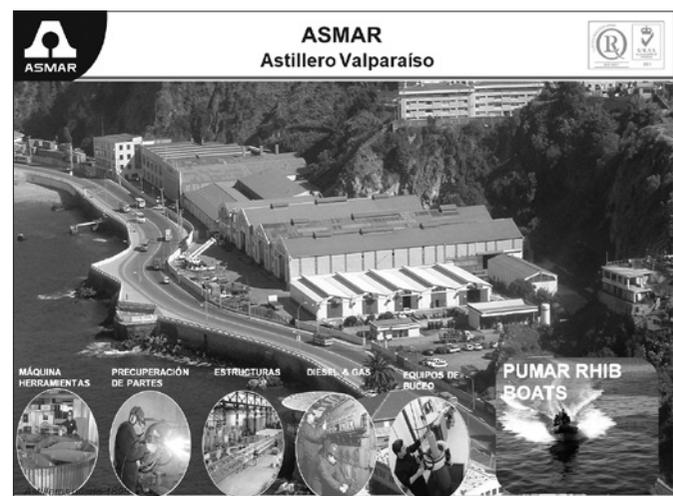


Figura 26

Y se ha posicionado también como apoyo al mantenimiento de centrales termoeléctricas y equipamiento portuario, a nivel de terceros (Figura 27).

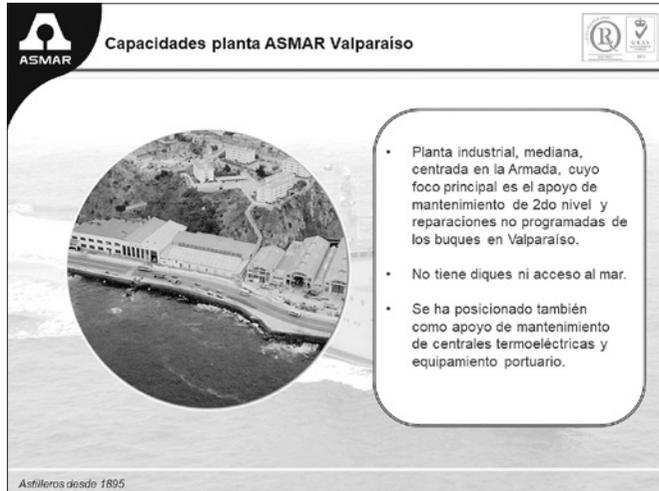


Figura 27

Magallanes tiene un Syncrolift de hasta 3.570 toneladas.

Básicamente, hoy está atendiendo a un 70% de terceros y un 30% de su negocio a la Armada. Y tiene un muelle de reparaciones que vamos a ver más adelante. Esta planta es también mediana, su foco principal es apoyar toda la operación que se produce en la zona austral, efectuando el mantenimiento integral a todos los buques de la Armada que están en esa zona, cuenta con muelle, patio de varada y es el astillero más austral del mundo, así se vende. Atiende a toda la flota pesquera y de pasajeros que opera en la zona y que hoy día ha ido aumentando en el tiempo por todo lo que está pasando en la Antártica. Y creemos que eso va a ser un polo de desarrollo.

Además, estamos incursionando en acuicultura, porque se ha ido trasladando desde la zona de Puerto Montt hacia el Sur todo ese tema. Y, por lo tanto, si ustedes van a la Planta, verán que estamos construyendo 4 estanques de acopio mayores de 400 toneladas cada uno para poder ayudar a esta industria en el área de Magallanes. Y, desde allí se brinda todo el apoyo logístico a aquellas naves, tanto nacionales como internacionales que, en el verano, operan en la Antártica (Figuras 28 y 29).

El astillero Talcahuano es el más grande; es la Planta Industrial principal cuyo foco es satisfacer integralmente todas las necesidades que tienen todos los buques de la Armada de Chile. Repara, moderniza y transforma buques de combate y submarinos de la Armada. Hemos tenido aquí, también,

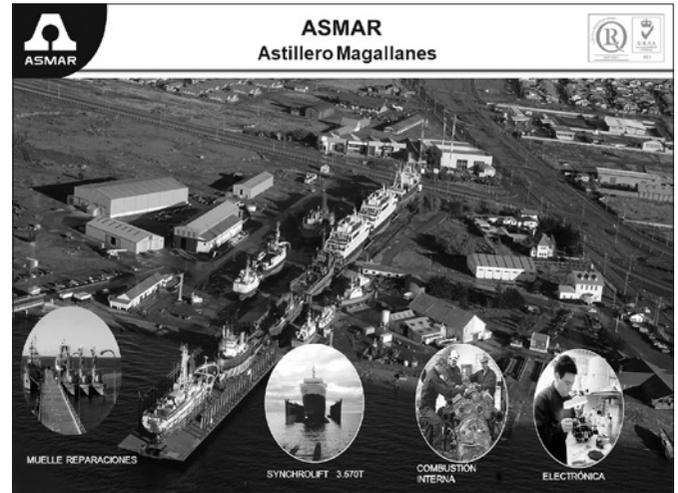


Figura 28



Figura 29

submarinos ecuatorianos, buques ingleses, norteamericanos y argentinos. Cuenta con el dique seco más grande de la costa del Pacífico Oriental en Sudamérica. Tiene capacidad de construir buques de hasta 150 metros de eslora y atiende a toda la flota mercante y extranjeros que requieran de ella en esta área (Figuras 30 y 31).

Inversiones mayores. Nosotros tenemos 2 conceptos de inversión. Como en toda empresa, hay inversiones que llamamos **inversiones normales** que son las que se realizan todos los años para ir renovando algunas capacidades que por uso se han ido perdiendo, como maquinas soldadoras y otras. Pero también tenemos un concepto de **inversiones mayores**, en que tenemos un plan cuatrianual deslizante, que nos permite ir reemplazando capacidades tecnológicas en el tiempo

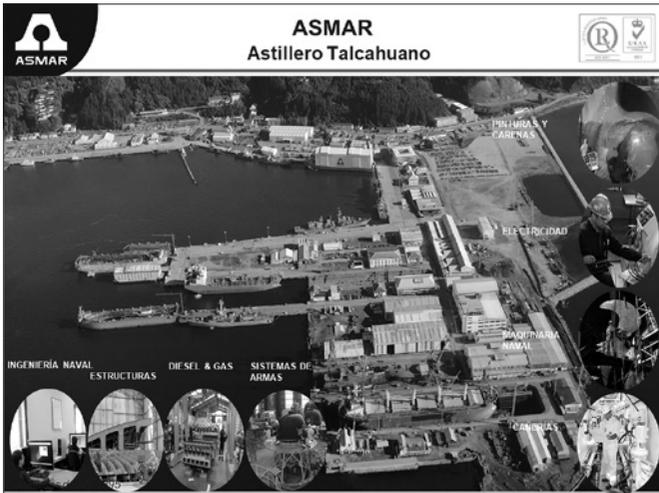


Figura 30

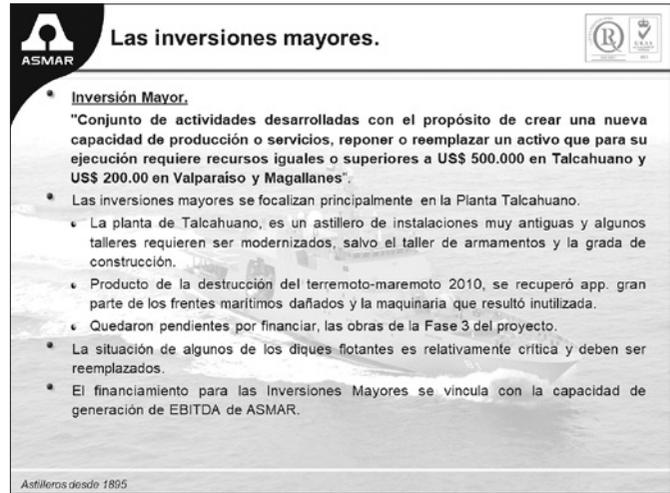


Figura 32

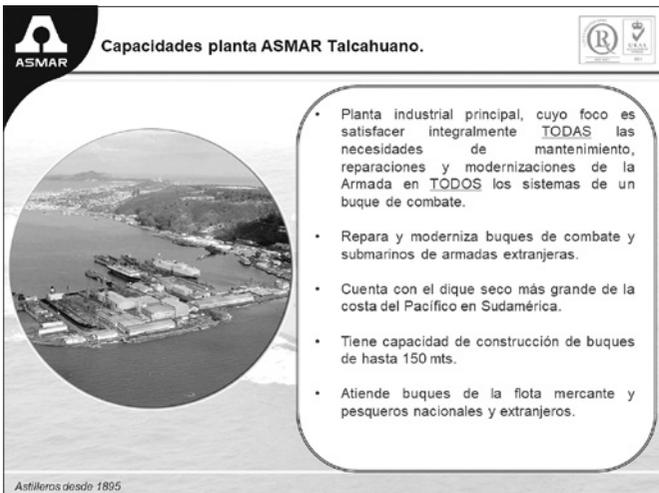


Figura 31

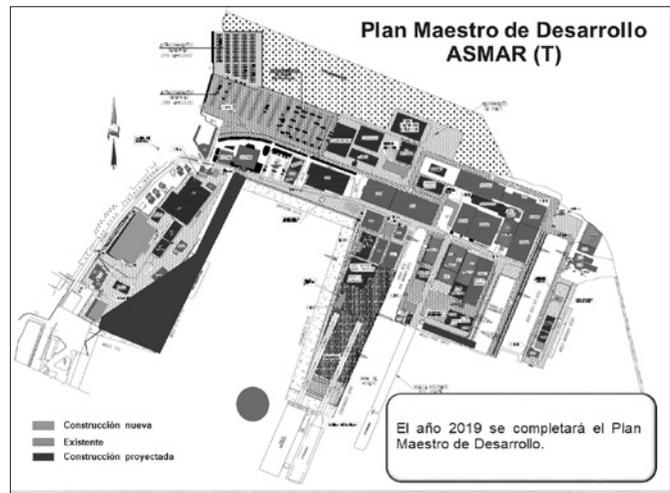


Figura 33

y también recuperar algunas cosas que, por obsolescencia logística operativa, se han perdido. Para Talcahuano hemos fijado como un piso mínimo 500 mil dólares, para Valparaíso y Magallanes 200 mil. Hoy este plan de inversiones está basado en la capacidad de generar caja en la Empresa (Figura 32).

Hoy, ¿en qué estamos centrados? (Figura 33).

En un Plan Maestro de desarrollo del astillero ASMAR Talcahuano, para llevarlo definitivamente al siglo XXI. El astillero fue, como todos saben, azotado por el maremoto y terremoto del 2010, ahí logramos levantar recursos de seguros y aportes de capital, qué dicho sea de paso, es el segundo aporte de capital que recibe la Empresa en toda su historia. El primero fue el año 1960 cuando se constituye y todo lo

que era Arsenales de Marina se constituye en ASMAR, y este segundo aporte de capital nos permitió recuperar parte de los Astilleros, pero quedó un astillero que todavía sigue siendo parte del siglo XX.

Pero queremos ir más allá, para seguir siendo competitivos, satisfaciendo las necesidades tanto de la Armada como de terceros.

Traje una pequeña presentación, en que es posible apreciar por qué donde hoy día tenemos 3 diques flotantes del año 44, que ya van a cumplir muchos años de servicio y están próximos a ser dados de baja, queremos ahí instalar una nueva capacidad. Mandamos a hacer estudios para ver cuál era la mejor opción. Si nuevamente diques flotantes, una grada

para levantar buques o un sistema de *ship lift* para levantar buques mediante este sistema. Finalmente, la última, fue la que fue adoptada.

Hoy día estamos desarrollando completamente el plan, esperamos entregarlo al Consejo Superior a final de año, pero lo que queremos llevar como primera prioridad es poder desarrollar este cambio evolutivo de tener diques flotantes de alto costo de mantención, debido a que están flotando, a un sistema de *ship lift*, que levanta buques por medio de sistemas hidráulicos y luego son trasladados a posiciones de varada en tierra. Por lo tanto, hoy día estamos haciendo todas las obras geodésicas para el muelle Chacabuco, donde van a estar instalados en tierra para saber si somos capaces de soportar el desplazamiento que se requiere con su peso, y también hoy día tenemos parte de todo lo que hay que hacer en el área marítima como obras civiles.

Actualmente, una entrada de un buque a un dique requiere como 60, 70 personas, este sistema va a tender a ser más automatizado.

El proyecto va a durar entre 3 a 4 años porque estamos haciendo toda la base conceptual, después tenemos que hacer una licitación, y luego, adjudicarlo, para posteriormente realizar la construcción.

Esto va a permitir que, una vez el buque esté en tierra, pueda tener un movimiento mucho más fácil independientemente del momento de la reparación en que esté, lo cual va a permitir administrar de mejor manera los mantenimientos en el astillero.

Vamos a ver más adelante que ya se han hecho inversiones y en este caso, la preparación del terreno, tanto en el área marítima como en el ámbito terrestre, todo eso es hecho en Chile.

Construcción Naval: Esta es nuestra grada de construcción 150 metros x 34 metros y hasta 50 mil toneladas de construcción de buques. Ahí tenemos una foto en la construcción de los OPV (Figura 34).

Hoy día ASMAR ha construido 113 buques desde los años 60, tanto para la Armada de Chile como para armadores nacionales, Armadas extranjeras y armadores extranjeros.

Creemos que con el tiempo hemos logrado la capacidad de construir buques auxiliares muy tecnológicos.

A continuación, un resumen de lo que hemos construido para la Armada de Chile (Figura 35).



Figura 34

ASMAR Talcahuano
Segmento de Negocio - Construcción Naval

1961-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2018
13	9	17	40	25	7
Armada de Chile	Armada de Chile	Armada de Chile	Armada de Chile	Armada de Chile	Armada de Chile
6 Unidades	4 Unidades	3 LSI	6 PSG	18 LSG	1 Oceanográfico
		1 AP + 2 LFP		2 OPV	2 OPV
		1 Artefacto			
Armadores Nacionales	Armadores Nacionales	Armadores Nacionales	Armadores Nacionales	Armadores Nacionales	Armadores Nacionales
7 Pesqueros	5 Artefactos	1 Dique Valparaíso III	32 PAM		1 Wellboat
	4 PAM				1 Lancha Ejército
	4 Artefactos Navales				
			Armadas Extranjeras	Armadas Extranjeras	Armadas Extranjeras
			1 OPV	1 Oceanográfico	1 Patrullero Islandia
		Armadores Extranjeros	Armadores Extranjeros	Armadores Extranjeros	Armadores Extranjeros
	1 Barco Perforador	1 Atanero	4 PAM Islandia	2 Casco ABHS	1 PAM

Figura 35

Los que hayan tenido la oportunidad de navegar en las Barcas Batral construidas en los años 80, el “Aguiles” el 88, Patrulleros Servicios Generales construidos en los años 90, el buque oceanográfico “Cabo de Hornos” que es el quinto más moderno de los que existen hoy día a nivel mundial, por lo que tiene instalado a bordo. O sea, el buque es una cosa, pero lo que hubo que integrar a bordo, tanto para el ámbito pesquero como para el oceanográfico, hay que realmente estar ahí para entenderlo. Cuatro Patrulleros de Zona Económica Exclusiva o conocidos como los OPV y Lanchas de Servicios Generales.

Para terceros, hemos construido Patrulleros Oceánicos en los años 90, Pesqueros de cerco y arrastre para Islandia, Patrullero de Multipropósito para Islandia, una barcaza para el Ejército, y obviamente desde el año 95, somos capaces de

construir todos los requerimientos de botes semirrígidos para la Armada de Chile y otros países; hoy día estamos exportando y, normalmente, todo esto es conocido como zódiac, pero hoy día nuestra marca PUMAR está presente en toda Sudamérica (Figuras 36, 37 y 38).

El proyecto Antártica Uno. Es el proyecto que hoy estamos realizando en nuestros astilleros. Este es el primer buque Antártico construido en el hemisferio sur. Hoy gente de Brasil ha venido a preguntar como lo estamos haciendo, porque también quieren llegar a la Antártica con su propio buque, porque ellos usan buques que fueron de segunda mano de países del norte (Figuras 39, 40 y 41).

Este buque tendrá 111 metros de eslora, una manga de 21 metros, 7,2 de calado, son 10.800 toneladas de buque. Los buques que hemos construido hasta el momento, máximo es de 4.500 toneladas, o sea estamos subiendo al doble y, por lo tanto, esto significó un esfuerzo tremendo para el astillero.

Les mostraré rápidamente los números para no aburrirlos, esta es la secuencia de instalación de los bloques. Los 39 bloques se van a ir posicionando en la grada, en una secuencia. Esta es una foto para decirles que aquí detrás de esta construcción hay mucha ingeniería, son 3 millones de Hombres Horas que vamos a hacer en 5 años para llegar a este buque. Será el buque tendrá el Estado de Chile por los próximos 40 a 50 años operando en la Antártida. Aquí se tuvo que estudiar todo, porque nunca habíamos construido un buque Antártico. Los habíamos reparado, pero hay que entender cómo operan, donde se ubican los mayores espesores de plancha, donde no, qué tipo de propulsión hay que instalar, etcétera.

Éste llevará hasta un máximo de 34 científicos a bordo y dentro de su precio está todo el equipamiento científico estándar normal que se requiere.

Para llegar a determinar el buque conceptual, fuimos al Instituto Antártico Chileno, a la Intendencia de la Décimo Segunda Región, al Gobierno de Chile, al Ejército, a la Fuerza Aérea, obviamente a la Armada y a todos los operadores antárticos que están en el área y les preguntamos, qué esperan de este buque. Y con eso logramos diseñarlo y hacer el conceptual. Finalmente se hizo una licitación internacional, que se la ganó la Empresa VARD, ingeniería de Canadá, que ha diseñado muchos buques Antárticos. Una vez recibida esa ingeniería básica, estamos hoy, desarrollando la ingeniería de construcción que está bastante avanzada y que nos ha permitido, ya desde el mes de agosto del año pasado, partir la construcción del buque.



Figura 36



Figura 37



Figura 38



Figura 39

Esa es la posición de que debía quedar en la grada antes de ser lanzado. Dado lo grande que es, vamos a tener que hacer un nuevo dragado en el astillero, porque cuando se bota al mar e ingrese en el océano, podría tocar fondo, por lo tanto, vamos a tener que dragar mucho más de lo que hoy día está el sector donde se hace lanzamiento (Figura 42).

Este Proyecto nos ha significado invertir, como Empresa más de 20 millones de dólares para poder llevar a cabo la construcción. Nosotros antiguamente teníamos un sistema de armado de paneles, que era con mucho soldador, mucha mano de obra, con mucho factor de error, hoy día invertimos casi 6 millones de dólares en levantar una línea semiautomática de paneles (Figura 43).

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES Buque Antártico Armada de Chile

• Eslora total	: 111,0 m.	• Velocidad máxima:	15.00 Kn.
• Manga moldeada	: 21,0 m.	• Velocidad en hielo:	3Kn.
• Calado	: 7,2 m.	• Combustible:	2.132,5m³
• Puntal a cub. ppal	: 10,6 m.	• Cap. de Agua dulce:	153,8 m³
• Propulsión	: Diésel – eléctrica	• Autonomía:	60días/14.000 mi
• Potencia de propulsión:	2 x 4,500 kW		

• Generación total	: 12.726 Kw (2x4.536 y 2x1.827)
• Casa Clasificadora	: Lloyd'sRegister
• Clasificación	: LR ⚙️100A1, Research / Supply Ship, Ice Class, *IWS, ⚙️LMC, UMS, DP (AM), PC5; Winterización H(-30), D(-30) (sin notación de Clase); IBS (sin notación de Clase).
• Otras regulaciones	: SOLAS, MARPOL, Código Polar

Figura 40

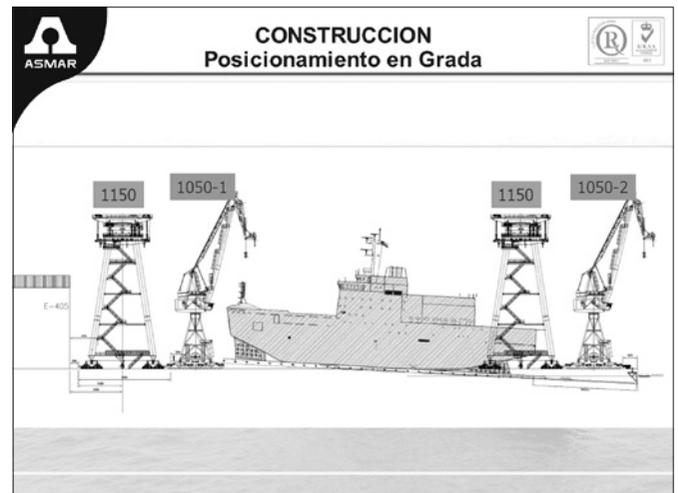


Figura 42

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES Buque Antártico Armada de Chile

• Dotación total	: 120 personas.
- Tripulación	: 86 personas.
- Científicos y pasajeros	: 34 personas.
• Capacidad de carga	: 400 m³ carga en bulto.
• Capacidad de contenedores	: 19 cont. de 20 pies
• Capacidad de Helicópteros	: 2 Helos SH-32 en Hangar

Cantidad Total Bloques: 33 (8 subdivididos)

Figura 41



Figura 43

Como el astillero está sobre un relleno, tuvimos que invertir, había bastante licuefacción y hubo que hacer el piso para que quedara plano, después importamos esta planta, la instalamos y hoy día estamos haciendo casi todos los paneles que van a conformar un bloque en forma semiautomática.

Pasamos de un soldador a un operador de una máquina, hoy día hemos contratado a más de 30 personas de Inacap, de los liceos industriales del área de Concepción, que son niños que hoy día se manejan con un *joystick* y son capaces de hacer este trabajo sin ningún temor. Nuestros antiguos soldadores se quedaron un poco asustados, porque obviamente estaban acostumbrados a estar con el pinchazo y hacer todo manual, hoy día todo esto está transformado.

Hemos tenido que comprar una nueva curvadora de perfiles, porque los perfiles para este buque son mucho más gruesos y por lo tanto hoy día podemos curvar hasta 2 en una sola curvada. Tuvimos que instalar una grúa que levanta hasta 150 toneladas, (reemplaza a las antiguas grúas de 50 toneladas, que nos permitían construir bloques hasta 50 toneladas) con capacidad de volteo, tiene un gancho que permite dar vuelta el bloque y que nos va permitir siempre soldar de arriba hacia abajo, no estar colgando, esa es una inversión.

Tuvimos, obviamente que extender toda la línea de rieles, reforzar todo el pavimento, comprar un carro de transporte de 210 toneladas para permitirnos sacar desde el taller de bloques hacia la Pregrada estos bloques de 150 toneladas. Hoy día los bloques, hasta el último buque, se hacían sin mucho outfitting o sistemas de cañerías y cables eléctricos, era más que nada la carcasa y en la grada se comenzaba a poner las cosas por la incapacidad de levantar más peso. Hoy día se está haciendo mucho outfitting, bajo techo, mucho más barato, y no dependiendo de las condiciones atmosféricas y la dificultad de estar en la grada, eso ha permitido bajar los costos de la producción.

Esto era el antes, hoy día es esto, lo que llamábamos nosotros el Sahara, donde era pura tierra, hoy día está pavimentado. Ahí también se están construyendo algunas cosas menores. Tuvimos que fabricar mesas para el armado de bloques, porque los bloques obviamente, no se levantan directamente con el carrito, sino que el carrito levanta la mesa y arriba de la mesa está el bloque. Por eso que el carrito levanta hasta 210 toneladas y el bloque es hasta 150 toneladas. Tuvimos que modificar el acceso al taller de bloques porque antiguamente era una puerta standard, hoy día tuvimos que hacer un nuevo acceso para mover estos mayores bloques en sus dimensiones. Aquí está el taller de bloques completamente rehecho. Tuvimos que rehacer un taller de cañerías. Invertimos en Chile más de

20 millones de dólares, para llevar este astillero constructor a uno del siglo XXI.

¿Qué es lo que viene por delante? Nosotros hemos conversado con la Armada. Por ejemplo, el Rompehielos se termina el 2022 cuando se lance al agua, el 2023 se entrega a la institución, pero nosotros como ASMAR necesitamos que la institución o el Gobierno de Chile nos diga, qué viene después de este buque.

Ustedes han leído en la prensa que el Comandante en Jefe está preocupado por el desarrollo del Poder Naval, en su renovación, porque los buques que fueron comprados en el año 2005 son del año 85 y han quedado obsoletos operativa y logísticamente en algunos de sus sistemas. Y eso requiere su renovación. Hoy día teníamos el paradigma de que los buques auxiliares se construían en Chile, los submarinos en el extranjero y los buques de guerra los comprábamos de segunda mano. De segunda mano y que les quedaba un remanente de 15 años de vida y que el país tenía asumir hacerle una modernización para poder llegar a esos 15 años de vida. Hoy día estamos trabajando con la Universidad Católica y la Armada para cambiar este paradigma y decir que ASMAR y la Industria nacional es capaz, en el futuro, no mañana, pero a contar del año 2030, de poder construir los buques en Chile; aquí se requiere obviamente diseño, integración y capacidad de construcción. Yo creo que como país lo tenemos, es cosa de que alguien tome la decisión política de hacerlo.

En el intertanto, de aquí al 2030 se requiere mantener el *know-how*, preparar a nueva gente, invertir en infraestructura necesaria para poder llegar a cubrir esa brecha que hoy día tenemos, para llegar a construir buques de guerra que tienen una tecnología superior en el área de la cubierta donde están los sistemas de armas e invertir en infraestructura y equipamiento para poder lograrlo.

Y, por lo tanto, estamos pensando y viendo que a la Marina le construimos estos buques en los años 80, que llegó el momento de cambiarlos. Entonces, se está trabajando con la Armada para realizar el proyecto **Escotillón**, que nos permita en los próximos 9 años, una vez que salga el buque Antártica, construir el reemplazo tanto del “Aguiles” como de las barcasas tipo Batral.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Al término de su Conferencia, el Sr. Kohler respondió consultas y comentarios de los asistentes. A continuación, reproducimos lo más relevante de estas intervenciones.



Sres. Carlos Mercado, Edmundo López, Contralmirante Kohler y Luis Nario.

Sr. Eduardo Santos.

—*Mi nombre es Eduardo Santos, Almirante lo felicito es una presentación muy clara y con mucha ingeniería, por lo tanto, para nosotros fue muy sabrosa de escuchar. Mi pregunta tiene que ver justamente con la última de las transparencias, respecto a la proyección futura de la eventual construcción de buques de guerra de superficie y me remonto un poco a lo que pasó 20 años atrás. Todos recordarán el Proyecto Tridente, que más o menos con la misma iniciativa pretendía construir en Chile 8 fragatas de la clase Meko 200, similar a la que hoy día tiene Australia, por ejemplo, y por diferentes razones, en que también en ese momento hubo un gran debate político técnico, ingenieril y militar en Chile, se desechó esa alternativa. Mi pregunta precisa es iqué ha cambiado en estos 20 años, que hoy día sí que podríamos pensar que esa alternativa puede ser sacada adelante?*

Sr. Kohler.

—Desde el punto de vista de ASMAR yo le respondo. Creo que ASMAR hoy día está mucho más maduro. En los años 2000, yo era un joven capitán, no participé en las decisiones que se tomaron en ese momento, pero sí los escuché y me lamenté que se desechara. Pero efectivamente hoy día viendo

el astillero que tenemos, los ingenieros que tenemos, la experiencia que hemos adquirido, porque hasta el año 2000 teníamos una capacidad de construir buques auxiliares de menor complejidad, en estos años hemos construido 4 OPV, que no es un buque de guerra, pero tiene la complejidad de uno. Hemos construido buques de alta especificación técnica para otros países. Y también usted lo pudo ver en la presentación, hemos construido los buques oceanográficos y hoy día estamos construyendo el buque Antártico, que va estar bastante integrado, muy moderno. Creemos que al año 2030, porque los tiempos logísticos requieren de tiempo calendario, creemos que somos capaces, hemos logrado identificar personas en Chile que están estudiando, salen de la Universidad Austral de Valdivia, salen de los liceos industriales, de la Inacap, hay gente que tiene hoy día la capacidad de aportarnos a la empresa, con cursos de post grado que tendríamos que hacer con ellos, por eso se requieren 10 años. Y hoy día hemos llegado a un nivel tecnológico dentro de los astilleros en que somos capaces de construir. Efectivamente esto va a requerir de un socio estratégico. No es lógico que ASMAR haga todo. Aquí se requiere diseño, integración y construcción. Yo creo que, en el ámbito de la construcción y diseño, tenemos algo que decir. En el ámbito de la integración vamos a tener que buscar un socio estratégico en alguna parte del mundo que nos permita hacer un buque de guerra en Chile.



Sra. Ximena Vargas acompañada por los Sres. Luis Kohler, Cristian Hermansen, Jorge Yutronic y Jaime Illanes.

Ahora, la Pontificia Universidad Católica de Chile está haciendo un estudio que seguramente se lo van a presentar al Presidente y ahí se demostrará si somos o no capaces. Pero finalmente esta es una decisión país. Tal como la construcción naval es una decisión estratégica que tiene poca rentabilidad, creo que ASMAR es de las empresas en Chile que aporta más en tecnología. Construir un buque es construir una ciudad. De la quilla a perilla hay de todo, entonces yo creo que hoy día estamos mucho más maduros como industria, para llevar a cabo este desafío.

Pregunta.

—En Defensa el problema de las inversiones es un muy álgido y usted como empresa autónoma del Estado y dependiente de la Administración de la Marina, mencionó que recibe financiamiento de las leyes reservadas del cobre, pero ese financiamiento se acabó. Va a haber un financiamiento que se llama *Plurianual*, que no sabemos bien que es lo que es y va a haber una decisión política detrás para hacer asignaciones a las Fuerzas Armadas. Entonces, si lo que recibe ASMAR de las leyes reservadas del cobre actualmente es relevante y si no es relevante, qué va a hacer usted para obtener mayor financiamiento. Porque el problema es muy serio el de la construcción naval y concretamente de

construir buques de guerra importantes. Yo participé en el proyecto *Tridente* haciendo ingeniería precisamente para las instalaciones de ASMAR y el problema serio que teníamos ahí era el asunto del financiamiento de las 8 fragatas y por eso es por lo que se disminuyó. Mi pregunta concreta ¿Si es importante lo que usted recibe y cómo va hacer para reemplazar ese financiamiento? Ahora las cosas van a ser bastante más políticas que lo que eran antes.

Sr. Kohler.

—Aclaro que ASMAR no recibe aportes de las Leyes Reservadas, sino que la Marina es la que la recibe y con ella nos paga. Obviamente uno como Marino sabe de donde vienen esos aportes o recursos, tanto si son de presupuesto de la nación del año 2019 o son leyes reservadas. Efectivamente hoy día parte de ese mantenimiento que la Armada le encarga a ASMAR, es pagado a la Armada con leyes reservadas y que obviamente le trasfiere. ASMAR no anda preocupado con qué fondo le paga, lo importante es que le pague.

Yo creo sin entrar en detalle a la ley que se discutió, por lo que he leído y he sido informado, efectivamente vamos a tener la capacidad de mantener a una Armada que va a tener



Sres. Germán Millán, Jorge Sturm, Carlos Mercado y Pedro Lasota.

la capacidad de financiar el mantenimiento de sus buques en los próximos años, así está dado. Obviamente que va a ver una discusión más abierta en cuanto a la distribución de los recursos, pero yo tengo la confianza de que finalmente el Estado de Chile va a entender que requiere Fuerzas Armadas entrenadas y disponibles y por lo tanto va a tener que invertir en el mantenimiento de sus bienes capitales.

Sr. Luis Nario.

—*Nosotros tenemos en el Instituto una comisión que está estudiando la Prevención de los Riesgos derivados de los fenómenos naturales y la resiliencia. Entonces quería preguntarle si puede hacernos un rápido resumen de qué es lo que aprendió ASMAR de lo que pasó el 27 de febrero del 2010, que fue un daño tremendo mirado desde el punto de vista nuestro y que ha sido capaz de recuperarse.*

Sr. Kohler.

—Bueno, el 2010, en realidad los que tuvieron la oportunidad de ver las fotos o estar en Talcahuano para esa época, efectivamente el astillero estaba completamente destruido, los que

estábamos allá, nos dimos cuenta de que la tarea de recuperarlo iba a ser titánica y era más factible cerrar las cortinas. Pero efectivamente después de la primera impresión, se levantó un plan de trabajo en tres etapas. Primero era recuperar la emergencia, porque efectivamente a contar del día 27 de febrero dejamos de recibir ingresos y había que seguir pagando la planilla y viviendo como empresa. Por suerte teníamos caja, lección para los que administran una empresa, siempre hay que tener caja o tener la capacidad de pagar la caja o el préstamo como para seguir subsistiendo. Las empresas viven y mueren por la caja.

Primero fue recuperar la capacidad de hacer mantenimiento, tanto propio, en recuperar lo nuestro y después poder atender a terceros. Obviamente nos centramos en activar los activos principales que son los diques para poder atender a los buques navales y mercantes. Porque todo lo que era apoyo de maestranza uno lo podía tener desde afuera, pero lo importante era recuperar aquellos activos que no tenía la industria tanto en la octava región como en el país.

Visto eso, después se hizo un plan de recuperación definitiva del Astillero y ahí tuvimos varias experiencias que logramos capturar; una fue lo que pasó con Katrina que había pasado un par de años antes en Estados Unidos. Así que logramos

entrevistarnos, hacer un plan con la gente que tuvo que recuperar el sector en que fue afectado el huracán en Estados Unidos. Y aprendimos que hay muchas cosas que hoy día estaban en el astillero que no tenían necesidad de estar en los niveles de inundación. Entonces hoy día todo lo que es la informática, poder eléctrico, maquinaria menor, laboratorios que no requerían grandes movimientos de volúmenes de peso y que se podían llevar los equipos a ser reparados a un segundo, tercer piso, hemos levantado esa infraestructura.

El primer piso está destinado a ser una zona de sacrificio y los segundos y terceros pisos han sido donde se han invertido los recursos para que cuando venga algún día nuevamente una ola, se lleve el primer piso y no se lleve la infraestructura en particular.

En cuanto a la obra marítima, nosotros el año 60, fuimos creados el 6 de abril, el 21 de mayo del mes siguiente sufrimos los embates del terremoto y maremoto de Valdivia. Para los que leen la Historia el maremoto también ocurrió en Talcahuano y también afectó a los astilleros. En esa época se hizo todo un levantamiento del tablestacando que duró durante 50 años. Esa tabla estaca nos dimos cuenta después que se instaló, en el siguiente terremoto, se produjo una licuefacción con el golpe de la ola y la destruyó. Así que hoy día todo lo que es obras marítimas civiles está transformado en mucho pilotaje con gradas deslizante que nos permiten poder enfrentar de buena forma un nuevo maremoto cuando ocurra, espero que

en un futuro lejano. Esas son las lecciones más importantes. Y obviamente hoy día todo lo que es redes blandas, etc., está en un segundo nivel. Todo lo que es factible de subir a un segundo nivel, lo está. Efectivamente ustedes vieron la maquina semiautomática de paneles y otras que están en un primer nivel. Es imposible subirlas a un segundo nivel, porque significarían muchos recursos. Obviamente, hoy día los nuevos edificios están mejor reforzados y están preparados para soportar estructuralmente un terremoto que se lleve solamente la lámina de la pared pero que la estructura en sí, pueda aguantar. Lo mismo que todo lo que es el suelo, se pusieron mejores fundaciones para evitar la licuefacción en ese sector porque todo eso es un relleno. Todas esas experiencias están escritas, guardadas porque la memoria es frágil y los papeles se olvidan. Para nosotros poder rescatar todo lo que paso el año 50, 60 fue casi imposible. Tuvimos que recurrir a mucha gente que trabajaba en esa época en ASMAR Talcahuano, que nos fue contando lo que ellos tuvieron que vivir, pero básicamente toda esa lección quedó. Específicamente construir en segundo piso todo lo que se pueda y buenas estructuras portuarias dentro de los recursos que se dispongan.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Fin de la Conferencia.

CHILE SOBRE RIELES: NUESTRO ITINERARIO AL 2027

*Conferencia del
Sr. Pedro Pablo Errázuriz,
Presidente de Grupo EFE.*



*Sr. Pedro Pablo Errázuriz durante su conferencia:
“Chile sobre rieles: nuestro itinerario al 2027”.*

Finalizando el ciclo de conferencias del año 2019, el día 5 de noviembre, en el Club de la Unión y ante una nutrida asistencia de personalidades del ámbito público y privado, se realizó la conferencia del Sr. Pedro Pablo Errázuriz, Presidente de Grupo EFE, quien se refirió a “Chile sobre rieles: nuestro itinerario al 2027”.

El Sr. Errázuriz es egresado de la Pontificia Universidad Católica de Chile; posee un Magíster en Ciencias de la Ingeniería en la Universidad Católica y un Master of Science in Management Science/Operational Research/Finance, cursado en la London School of Economics.

Fue Ministro de Transportes y Telecomunicaciones durante la primera administración del Presidente Sebastián Piñera. Durante su gestión en la cartera fue implementada la portabilidad numérica y se impulsó el proceso de término del cobro por llamadas de larga distancia dentro del país.

También desempeñó labores como Gerente General de Lanexpress, además de ocupar otros cargos directivos en Endesa de Argentina, Chile y Perú. Fue Gerente General y posteriormente Presidente de ESSBIO, así como de ESVAL, empresa en la que debió enfrentar los efectos del terremoto del 27 de febrero de 2010, que provocó graves daños a los sistemas de producción y distribución de agua potable en la Región del Biobío.

Durante su carrera ha recibido diversos premios, como la Beca a mejor tesis de grado, Corfo-PUC (1984); la Distinción Máxima de Ingeniería Civil en la misma universidad; el Premio Nacional Marcos Orrego Puelma, del Instituto de Ingenieros de Chile (1985) y el Premio Nacional de Ingeniería Hidráulica de la sociedad chilena de esta especialidad (1985).

Don Pedro Pablo Errázuriz es el actual Presidente del Directorio de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, cargo que desempeña desde mayo de 2018.

Sr. Pedro Pablo Errázuriz.

—Quisiera agradecer esta invitación. Para mí es un honor tener la posibilidad de realizar esta exposición sobre el proyecto de desarrollo de Ferrocarriles, empresa que he tenido el privilegio de liderar.

Los trenes tienen un gran significado para mí. Como les pasa a muchos chilenos, mis recuerdos de infancia están asociados a los trenes. En mi caso a los trenes reales, pero también a los de juguete. Recuerdo con mucho cariño que mi abuelo me acompañaba a comprar en calle Lincoyán, que en esa época tenía una tienda maravillosa. Es un recuerdo que me marca con mucha fuerza y que refleja un poco la pasión con que los amantes de los trenes viven este medio de transporte, algo que al interior de EFE se respira con mucha fuerza.

Hoy (Figura 1), la Empresa de los Ferrocarriles del Estado atiende a más de 50 millones de pasajeros al año, con tres servicios principales: Metro de Valparaíso, Metrotren Nos –servicio que une Santiago y Nos– y Biotren, entre Concepción y Coronel.



Figura 1

Tenemos 2.400 kilómetros de vías, 82 trenes y estamos presentes en 41 comunas de diez regiones del país. Y esa es una de las características importantes de EFE: somos un servicio de transporte de calidad que está presente en muchas regiones, aportando a su desarrollo.

En la red de EFE se transportan cerca de 11 millones de toneladas de carga al año.

Cuando uno piensa que los principales servicios de pasajeros de EFE son cortos –60, 50 o incluso menos kilómetros–, se hace evidente que la mayor parte de la infraestructura ferroviaria

está de alguna manera al servicio de la carga. Y esto implica un importante desafío.

Eso es EFE hoy, pero me gustaría presentarles, en concreto, lo que creemos que debe ser el proyecto de desarrollo futuro de Ferrocarriles.

Para eso, les contaré lo que nos pasó el año 2011.

Después de una historia y una trayectoria muy potente, que incluyó una gran transformación en Metro Valparaíso –que fue maravillosa–, la empresa pasó por un periodo de depresión larguísimo, luego de intentar retomar el trayecto Santiago-Puerto Montt. En mi diagnóstico, el tren entre Santiago y Puerto Montt fracasó pues no entendió cuál era el rol de Ferrocarriles; dónde Ferrocarriles podía ser un factor clave en el transporte.

Se siguió pensando en los trenes históricos, los románticos, y no existió la capacidad de establecer un nuevo proyecto orientado a que Ferrocarriles volviera a ser líder, con un servicio de gran calidad.

Por eso, el Presidente Sebastián Piñera, en el primer semestre del 2011, nos desafió a buscar la forma de salvar Ferrocarriles. En ese minuto partió en EFE un proceso de análisis que marca la diferencia. Y entre numerosas iniciativas –que todavía hoy día siguen con fuerza–, destacan tres puntos principales.

El primero, un proyecto de desarrollo marcado por el desarrollo de trenes de cercanía, al servicio de las personas que van todos los días desde su hogar al lugar de trabajo o de estudio y en aquellos lugares donde existe una cantidad de pasajeros que permita establecer un servicio ferroviario demandado y de calidad en función de esa necesidad real y cotidiana.

Hoy día, por ejemplo, un tren entre Santiago-San Bernardo se demora 13 minutos. Es difícil pensar en otro modo de transporte que compita con eso. Pero lo importante es que el mercado existe en ese tramo, entonces es posible generar un servicio que es imbatible: ni siquiera en helicóptero es posible lograr ese tiempo viaje. Y, además, se trata de un servicio que tiene la profundidad suficiente como para asegurar que el tren en ese tramo es una buena idea.

Por lo tanto, el primer foco que se intentó propiciar son los trenes de cercanía en las grandes urbes. La idea es abrir el mercado y hacer que las personas puedan vivir más lejos del centro de la ciudad y tengan un servicio de transporte que sea realmente de calidad, que les permita vivir en forma agradable y transportarse en forma cómoda y segura.

El segundo eje lo forman los trenes de carga. Hay servicios en los cuales los trenes de carga son imbatibles y es importante concentrarse en ese tipo de proyectos.

Si uno se imagina un productor que tiene unas pocas hectáreas de cualquier frutal, que toma la decisión de llevar esa producción al puerto en tren, hay varios puntos que tener en cuenta. Suponiendo que ya cumplió la etapa de embalaje y carga en un contenedor, que subió ese contenedor a un camión –porque obviamente el tren no pasa por la puerta de su campo– y lo llevó a una estación, deberá esperar que ese contenedor se junte con otros similares, de modo que tenga sentido el traslado en tren hasta el puerto. Además, hay que considerar que los viajes de carga en Chile tienden a ser de cordillera a mar, no de norte a sur, por lo tanto, son viajes relativamente cortos. Con este panorama, es difícil imaginar que la producción frutícola utilice el tren, pues significa un esfuerzo gigante. Ese productor finalmente optará por que el camión se vaya directo al puerto, porque de lo contrario, demorará más y no será mucho más barato.

Por esta razón, es necesario buscar segmentos donde el tren de verdad sea imbatible en el transporte de carga. Algunos ejemplos bien concretos son las grandes producciones, como la minería o la industria forestal. Productos que van de punto a punto, directo, desde el lugar de producción hasta el puerto. Este tipo de cargas hacen que el transporte ferroviario sea imbatible y, por lo tanto, ahí el tren puede competir, no solo en términos económicos, sino que también en términos de calidad de servicio.

Asimismo, una gran oportunidad para el tren se relaciona con la llegada de carga a los puertos. Porque ahí, al contrario de lo que pasa cuando el productor quiere exportar, llega una gran cantidad de contenedores que se van a descargar en una zona de altísimo valor: el puerto. Para descongestionar rápido y en forma eficiente el puerto el ferrocarril es la alternativa. Por ello, hay una gran oportunidad en el transporte de carga que llega en barco hacia un centro de distribución, desde donde se puede distribuir mediante camiones hacia los destinos finales.

En el mundo de las exportaciones existe un producto que puede ser una alternativa, que es el vino; sobre todo el vino a granel, porque en algunas oportunidades tiene volúmenes suficientes como para pensar en el transporte ferroviario.

En definitiva, existen nichos. Así como en el caso de pasajeros los trenes de cercanía, el ferrocarril es el más conveniente, para los trenes de carga existen nichos muy claros y de gran volumen, donde Ferrocarriles es imbatible. En la región del Biobío, por ejemplo, más del 30% de la carga se mueve en

tren, porque efectivamente hay mucha celulosa, que es una oportunidad para el tren.

El tercer eje que concluimos en 2011 es la necesidad de eliminar la pérdida operacional de la empresa. Y esto, más allá de ser un mandato económico, es porque uno tiene que ponerse en los pies del Ministro de Hacienda, cuya tarea hoy es aún más crítica a la hora de decidir si tiene que subsidiar a Ferrocarriles para financiar la operación. No estoy diciendo financiar una inversión. Que las ventas de Ferrocarriles ni siquiera logren pagar los costos operacionales representa un impacto doloroso. Se puede decir “siempre el transporte se subsidia”. Es verdad, pero si se está en el rol de Ministro de Hacienda, que todos los años debe sufrir con la necesidad de ayudar a Ferrocarriles al terminar el año, es muy difícil.

Entonces, el análisis que hicimos en 2011 indicó que Ferrocarriles representa una gran oportunidad, que tiene sentido como país apostar por su desarrollo con mucha fuerza, pero en los ámbitos donde de verdad sea necesario.

Uno puede pensar en otras iniciativas para Ferrocarriles, pero primero es necesario resolver estos tres ejes principales: asegurarnos que la carga funcione bien en donde es imbatible; asegurarnos de desarrollar los trenes de cercanía donde son relevantes y, eliminar la pérdida operacional, de modo que no tengamos esta carga permanente para el Estado.

Planteo este contexto para explicar la visión en que se basan los proyectos en que estamos trabajando con tanta fuerza.

En el pasado, el problema de Ferrocarriles fue tomar decisiones de inversión en áreas que no permitían un flujo de recursos verdadero y sostenible. La razón del fracaso del tren Santiago-Puerto Montt tiene que ver con que entre Chillán y Puerto Montt la velocidad máxima del tren era de 50 kilómetros por hora. ¿Cómo puede competir eso con buses que van a 110 kilómetros por hora, que demoran casi la mitad del tiempo y que pueden pararse en casi cualquier parte? Ese proyecto falló porque no tenía demanda suficiente.

Por eso hoy el foco está en los trenes de cercanía, trenes de carga, allí son los adecuados, además del esfuerzo gigante para disminuir al máximo el déficit operacional de la empresa.

Con esas premisas, la proyección que nosotros hacemos de aquí a 2027 es llegar 170 millones de pasajeros (Figura 2).

Y ese número se está moviendo todos los días, porque la cantidad de pasajeros sube constantemente. Pensamos que en Santiago no íbamos a tener más 50 mil pasajeros día entre

Santiago y Nos y hemos llegado a 85 mil y por eso, hoy el problema es que nos faltan trenes.

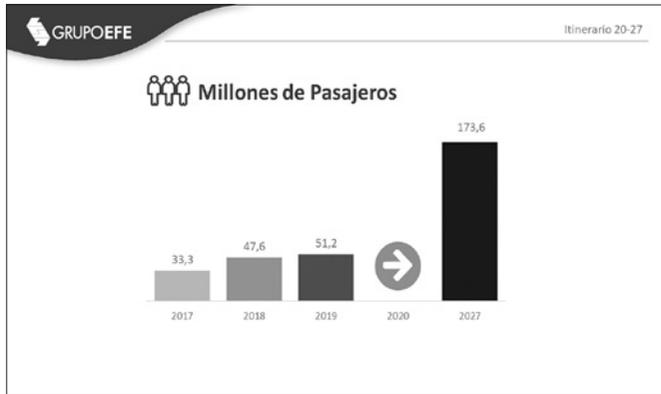


Figura 2

Los proyectos más importantes para llegar a esa cifra son: el servicio de pasajeros Alameda-Melipilla, que es un tren que tendrá, al menos, 50 millones de pasajeros al año; el servicio a Batuco; la extensión de Metro Valparaíso a Quillota y La Calera; y el puente sobre el río Biobío, que es fundamental.

La razón por la cual no hay más pasajeros en el Biobío es porque tenemos restricciones en los horarios de uso del tren, por la gran demanda de trenes de carga. Por eso, el nuevo puente nos permitirá aumentar la cantidad de pasajeros en la región. De igual manera, la extensión en Valparaíso nos permitirá aumentar casi al doble la cantidad de pasajeros y los trenes hacia Batuco y hacia Melipilla en casi 70 millones de pasajeros por año.

Un foco muy importante es el resultado operacional, la caja de la compañía, para no tener que pedir recursos para operar. Aquí estamos haciendo un esfuerzo muy grande para mejorar el desempeño de la empresa (Figura 3).

Nosotros partimos con estas mismas metas el 2013, hicimos un esfuerzo muy grande por llegar a déficit operacional 0 y estábamos en 17 mil millones. Después EFE se desordenó y aumentó la pérdida considerablemente, pero estamos de nuevo en la senda correcta y lo que hemos comprometido es que, si nos permiten hacer todos los proyectos ferroviarios que estamos proponiendo, en 2027 debiésemos tener un superávit operacional de casi 20 mil millones de pesos. Si logramos que la base operacional de Ferrocarriles aumente al doble en carga y al triple en pasajeros, seremos capaces de eliminar las pérdidas operacionales. Los pasajeros están y el servicio es del mejor nivel.

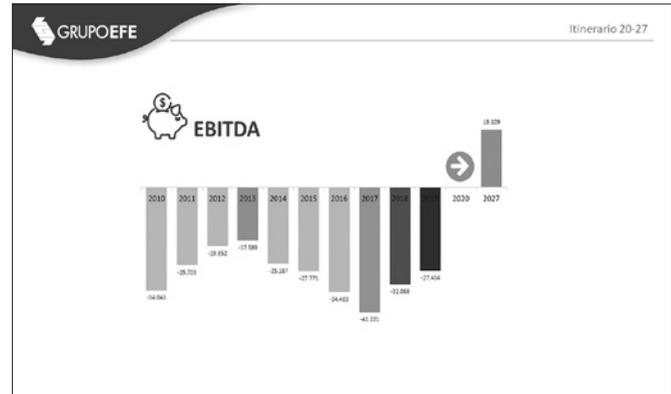


Figura 3

En el ámbito de la carga (Figura 4), queremos pasar de 11 millones de toneladas por año a 20 millones de toneladas, lo que representa un esfuerzo importante.

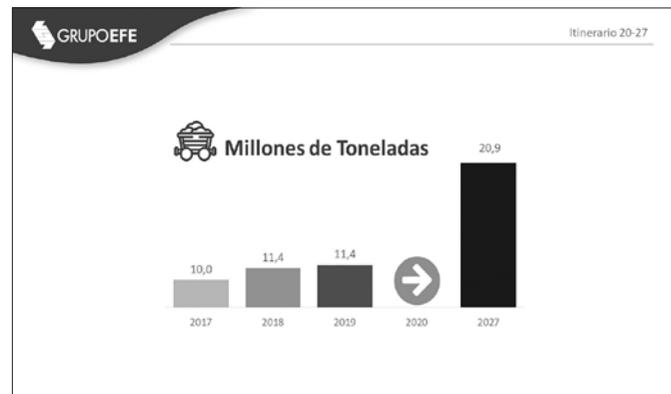


Figura 4

Para lograrlo hay muchos elementos involucrados. Estamos trabajando en un proyecto de acceso a puertos de mejor calidad y mayor velocidad, junto a una cantidad importante de servicios adicionales; pero el proyecto más importante, desde el punto de vista de EFE, está orientado al transporte de carga desde el puerto de San Antonio hacia un centro de Intercambio Modal, cerca de Malloco. Es decir, buscamos acercarnos a Santiago y eliminar congestión en el Puerto de San Antonio. Eso tiene mucho sentido, porque los terrenos del puerto son caros y uno puede traer carga a una zona que tiene una muy buena conectividad, por la cantidad de autopistas y por la cercanía de la ciudad.

Ese proyecto es muy importante y compite con una de las dos iniciativas privadas que buscan establecer servicios ferroviarios entre Santiago y Valparaíso. Nosotros estamos avanzando en

la ingeniería del proyecto, pero si alguna de las iniciativas privadas resulta, ese proyecto no lo haría EFE, sería una iniciativa privada y, por lo tanto, los recursos que nosotros podamos conseguir se irían a otro fondo. Creemos que ese proyecto es concesionable, porque es muy atractivo.

A propósito de este tema, quiero hacer notar un verdadero mito que se generó respecto de la carga ferroviaria. Es muy común escuchar que la carga financia a los pasajeros en el mundo de los ferrocarriles, pero los pasajeros generan muchísimo más ingreso y tienen vías bastante más cortas de operación. De todas formas, nos ha faltado creatividad para la carga, de manera que, si hay buenas ideas en este ámbito, son bienvenidas.

Hay muchos proyectos de conectividad hacia zonas generadoras de carga en los cuales estamos invirtiendo. Nosotros estamos felices con un proyecto de la ampliación de la planta de Celulosa en Arauco pues genera un aumento de más de 20%, por ejemplo, y estamos buscando buenas iniciativas de carga para aumentar también los ingresos por este concepto.

Para cumplir las metas que nos hemos propuesto, orientadas a duplicar la carga transportada, triplicar el número de pasajeros y eliminar la pérdida operacional, consideramos una importante cartera de proyectos.

En el caso de Metro de Valparaíso, esperamos contar con la Resolución de Calificación Ambiental hacia fines de 2021, para extender el servicio desde Limache hasta La Calera (Figura 5).

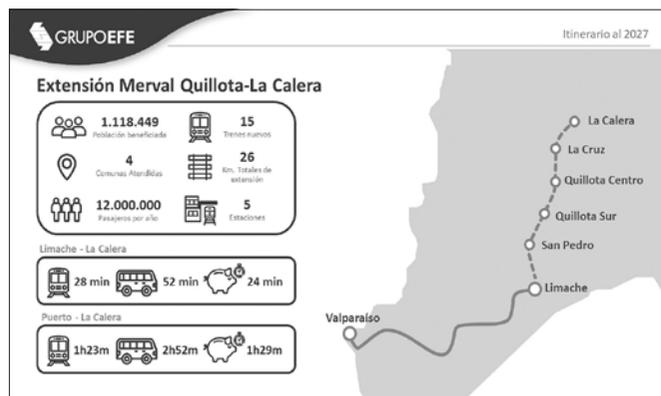


Figura 5

Esto, con la finalidad de contar con un servicio ferroviario de alto estándar entre La Calera y el Puerto de Valparaíso, donde

existe una cantidad muy importante de pasajeros que transitan entre estas ciudades por motivos laborales y de estudios.

En el caso de nuestra filial, Tren Central, contamos con el servicio Metrotren Nos, cuyo principal desafío hoy es aumentar la cantidad de trenes (Figura 6).

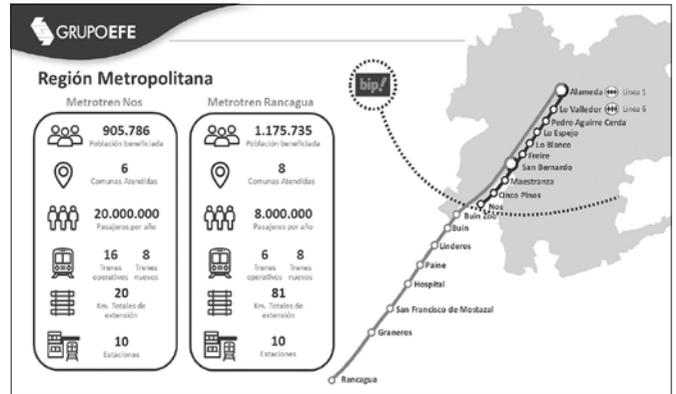


Figura 6

Este proyecto ha sido tan exitoso que actualmente tenemos mayor congestión de pasajeros, lo que representa una incomodidad en la hora punta, por lo que necesitamos comprar nuevos trenes.

En el caso del servicio Metrotren Rancagua, estamos desarrollando un importante proceso de modernización que contempla cambiar toda la flota de trenes.

El servicio Santiago-Rancagua es un tren que se demora 52 minutos en el caso del Tren Directo y 1 hora 10 minutos en el caso del tren con 10 estaciones. Es un servicio que de verdad compete con otros modos: una persona que está en Rancagua y tiene que tomar la decisión de ir en auto o en tren, considerando que el tren conecta con la línea 6 de Metro y de allí es posible llegar a Los Leones, está en 1 hora 20 minutos en Los Leones con Providencia, lo representa un producto de muy buena calidad.

El proyecto de tren a Melipilla (Figura 7), ya cuenta con Resolución de Calificación Ambiental positiva y esperamos adjudicar contratos importantes durante 2020, de modo que el proyecto estará en ejecución total al término de este gobierno, para entrar en operación en 2025. Esperamos tener comprometidos los contratos grandes y asegurada la forma de financiamiento, de forma que el tren esté en plena ejecución y que no haya que tener una nueva discusión en el cambio de Gobierno, vale decir, que el proyecto esté totalmente financiado y en ejecución.

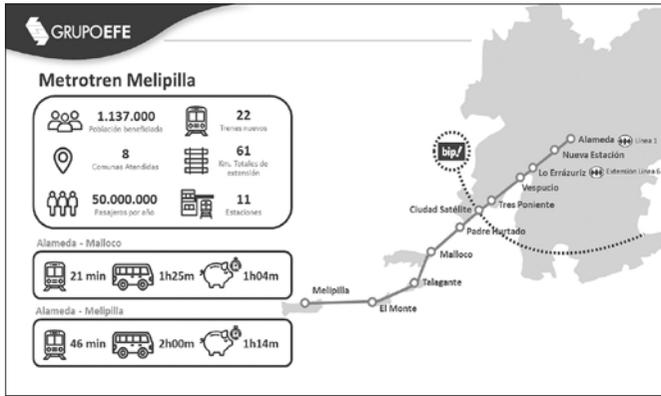


Figura 7

En el proyecto de servicio a Batico, esperamos tener la Resolución de Impacto Ambiental a mediados de 2020, de modo que podamos tener adjudicados los proyectos más importantes antes de término del Gobierno del Presidente Piñera y, con eso, asegurar que esos dos proyectos estén en plena ejecución.

El tren Santiago-Melipilla y Santiago-Batico permitirán conectarse con las líneas 1, 3, 5, 6 y 7 de Metro, lo que genera una conectividad realmente espectacular (Figuras 7 y 8). Uno se imagina, por ejemplo, vivir hacia el norte de Santiago, con toda la tranquilidad que da tener los cerros que impiden el paso de la contaminación y conectarse a la Línea 3, la Línea 7 o la Línea 5, con un servicio de cercanía de excelente calidad, lo que generará un altísimo flujo de pasajeros.

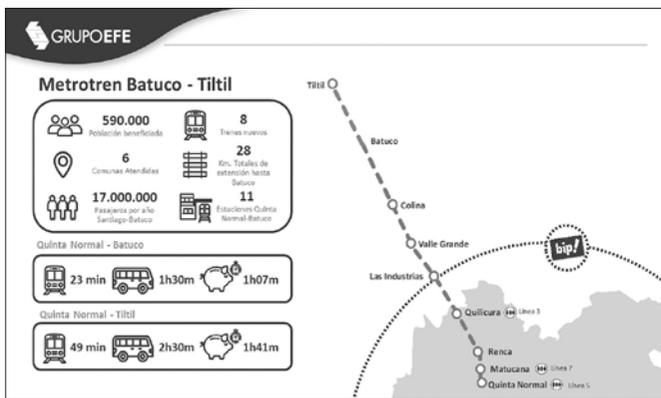


Figura 8

Otro servicio muy importante es el Tren de Alameda-Chillán, que actualmente está en operación (Figura 9), con cuatro salidas diarias, dos en cada dirección. Hemos analizado que este servicio podría operar con un total de 12 salidas al día.

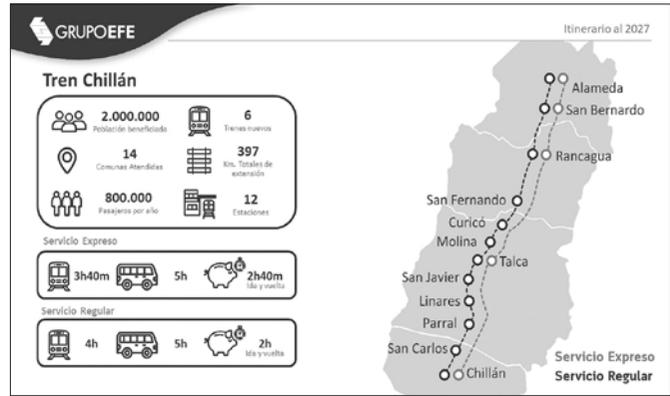


Figura 9

Para esto se necesitan trenes nuevos, de modo que podamos asegurar que el tiempo de viaje baje de las 4 horas y media que tardamos ahora a 4 horas o 3 horas 40 en el caso de un servicio expreso y eso, de nuevo es imbatible.

Si uno está en Chillán en 3 horas 40 y en auto demora 4 horas y media o 5 horas, en un día de congestión tardará muchísimo más y el bus demora 6 horas, por lo que se trata de un servicio que realmente tiene sentido. Y ya no es tanto un tren de cercanía, pero también permite movernos en trenes a más larga distancia en forma consistente, asegurando no tener perdida operacional.

Un tren que es maravilloso, una vez que esté completamente rehabilitado –porque estamos comprando trenes nuevos, vamos a rehabilitar la vía y el Gobierno Regional mejorará las Estaciones– es el tren entre Talca y Constitución, que es un ferrocarril de trocha angosta y que los invito a conocer en dos años más, cuando esté completamente renovado, porque es un servicio que puede competir con toda calidad con los buses que van de Talca hasta Constitución (Figura 10).

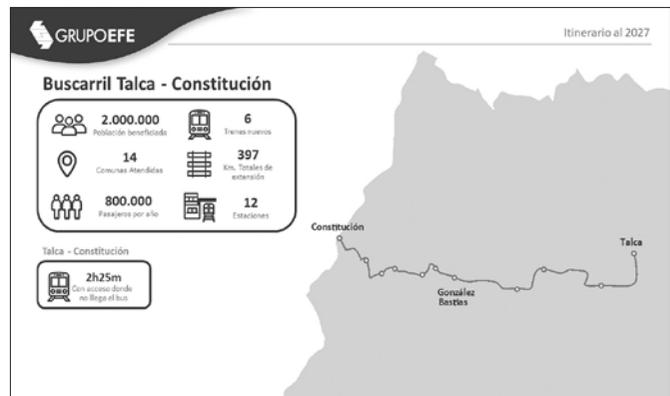


Figura 10

Hoy este trayecto ferroviario demora 3 horas y, por lo tanto, no puede competir. Pero va a quedar en un poco menos de 2 horas y eso sí es competitivo con los buses y, por lo tanto, creo que nos va a favorecer mucho en la cantidad de pasajeros. Ese es un proyecto que tiene subsidio importante, porque brinda servicio a zonas aisladas. Muchos de los poblados que atiende este tren, casi no tienen alternativa de transporte y, por lo tanto, recibe un subsidio directo para atender su operación.

En la zona sur tenemos el Biotren. A esta zona llegan 15 trenes nuevos durante 2021. Por lo tanto, vamos a tener 9 trenes nuevos operando entre Concepción y Coronel; 3 trenes operando entre Talcahuano y Laja y 3 entre Victoria y Temuco, desde donde existe la posibilidad de ir a Padre Las Casas, pues también estamos renovando los puentes.

En las regiones del Biobío y La Araucanía, también tenemos previstas extensiones para Biotren y para el servicio de Victoria a Temuco. En el caso del puente sobre el Biobío, que es realmente el cuello de botella de la región del Biobío, estamos en etapa de evaluación ambiental. Es una obra realmente maravillosa, son dos kilómetros de largo más un túnel, es decir, una obra de ingeniería muy interesante (Figura 11).

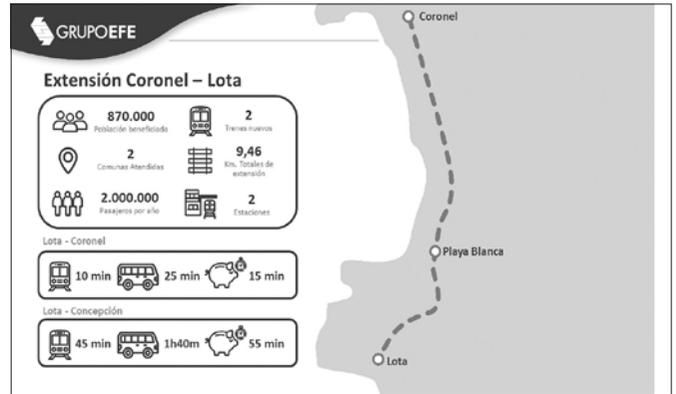


Figura 12

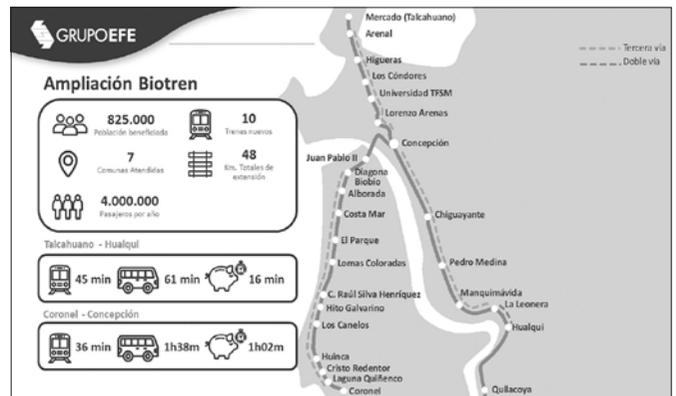


Figura 13

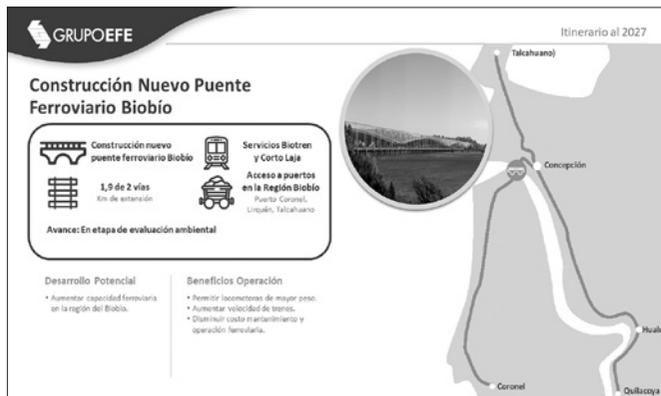


Figura 11

En la región del Biobío prevemos la extensión del servicio Biotren hacia Lota por el sur (Figura 12), la ampliación de la capacidad del servicio Biotren, que actualmente se encuentra en funcionamiento (Figura 13), y la extensión a Lirquén (Figura 14). También esperamos mejorar todas las vías hacia los puertos y aumentar la velocidad del servicio de pasajeros hacia Laja (Figura 15), lo que implica un mejoramiento y aumento considerable de la calidad del servicio.

En La Araucanía, donde actualmente funciona el servicio de pasajeros entre Victoria y Temuco, estamos construyendo el

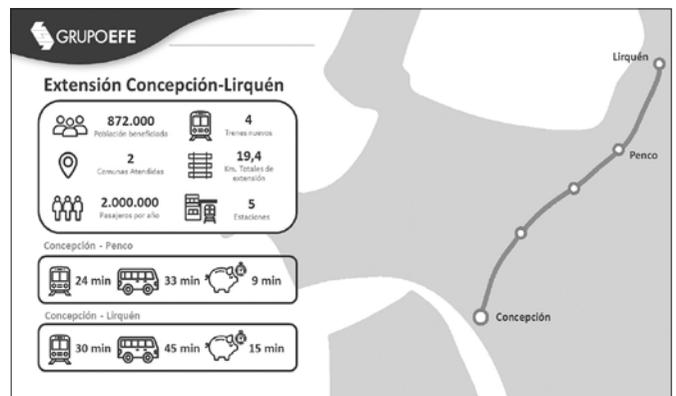


Figura 14

puente sobre el río Cautín y esperamos habilitar un servicio entre Padre Las Casas y Temuco, que continua hasta Victoria. Junto con eso, estamos evaluando la extensión hacia Gorbea, de modo que podamos tener el servicio que permita llegar al aeropuerto, pero, sobre todo, para atender el importante flujo de personas que podríamos movilizar gracias a la presencia



Figura 15



Figura 17

del tren y a lo bien ubicadas que están las estaciones respecto de los puntos de partida que tienen los usuarios.

En el ámbito del transporte de carga estamos trabajando en un proyecto que mencioné previamente: la Plataforma Ferroportuaria, que busca mejorar la capacidad logística de la zona central del país a partir de una mejor infraestructura ferroviaria en función del proyecto del nuevo puerto a gran escala en San Antonio (Figura 16).

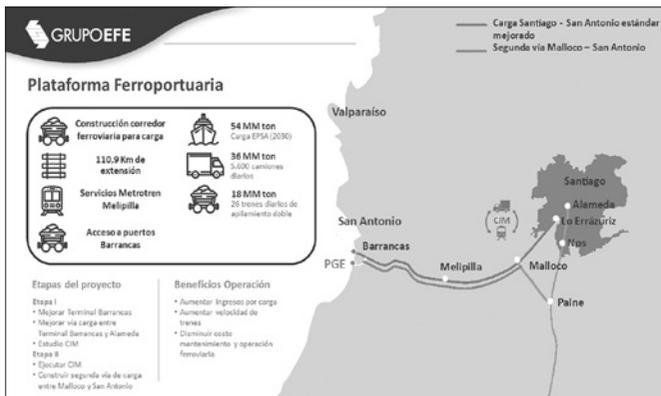


Figura 16

Es una posibilidad muy importante que forma parte del crecimiento del flujo de carga que prevé el nuevo puerto. Esperamos que un importante porcentaje de esa carga pueda ser transportada en tren hacia un centro de distribución, lo que implica disminuir la congestión en las carreteras y en la propia ciudad de San Antonio.

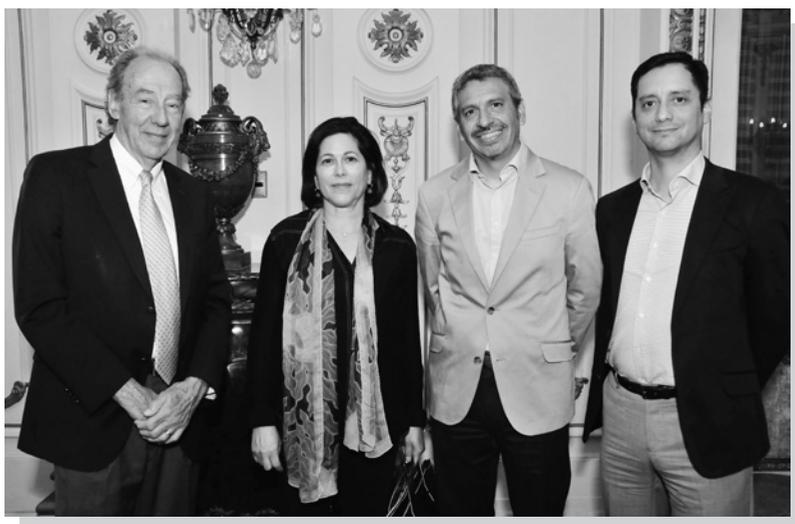
Otra obra muy trascendente en el ámbito del transporte de carga es la reconstrucción del puente Cautín (Figura 17).

No sé si conocen la historia reciente de este puente: cuando se cayó el puente sobre el río Toltén, hicimos una revisión integral de todos los puentes ferroviarios y decidimos clausurar el puente sobre el río Cautín. Como la mayoría de los ingenieros saben, los puentes no se caen por un problema estructural, sino que se desploman por la socavación de sus bases.

En el caso del puente sobre el Río Cautín, una de sus bases presentaba una gran socavación, por lo tanto, lo clausuramos. No era grave clausurarlo, pues el servicio estaba suspendido por la reconstrucción del puente Toltén. Sin embargo, las discusiones que hemos enfrentado para poder construir el nuevo puente han sido grandes. Por suerte estamos avanzando bien, hemos llegado a buenos acuerdos con las comunidades, pero el cariño al mundo ferroviario también implica un “quiero que me guarden la estructura”. Para modernizar infraestructura que ya no es posible mantener, hemos hecho un gran esfuerzo para ver cómo llegamos a una solución que conjugue la ingeniería moderna con la estructura antigua, lo que ha significado un inmenso esfuerzo.

Asociada al desafío de establecer nuevos servicios, hemos enfrentado la necesidad de realizar una importante rehabilitación de puentes (Figura 18), y estamos trabajando fuertemente en la modernización de los sistemas de señalización ferroviaria (Figura 19).

Si uno quiere aumentar la cantidad de trenes, tiene que asegurar las condiciones de seguridad. Hoy, con el sistema antiguo de señalización es un trabajo arduo. Por eso estamos en un proceso de restructuración de toda la señalización virtual de los trenes, para contar con información en línea sobre su ubicación en tiempo real o datos tan importantes como su velocidad y carga, de modo de asegurarnos que no haya riesgo de accidente.



Asistentes a la conferencia.



Sra. Ximena Vargas acompañada por los Sres. Hernán Guerrero, Luis Nario, José Orlandini, José Antonio Guzmán y Carlos Mercado.

Sr. Fernando Montolio.

—*Voy a tratar de interiorizarme y estudiar el tema de los trenes. Haciendo un poco de historia, en el siglo XIX, cuando empezó el desarrollo de los ferrocarriles acá en Chile el gran promotor que hubo de este desarrollo rápido, prácticamente por todo Chile, fue lo de las concesiones. Se concesionaron diferentes tramos a lo largo de todo Chile. Hubo algunos problemas de la diferencia de trochas, pero se logró unir prácticamente a todo Chile o buena parte del país. ¿No sería un buen promotor para retomar esa historia de ferrocarriles y promover las concesiones de diferentes tramos?*

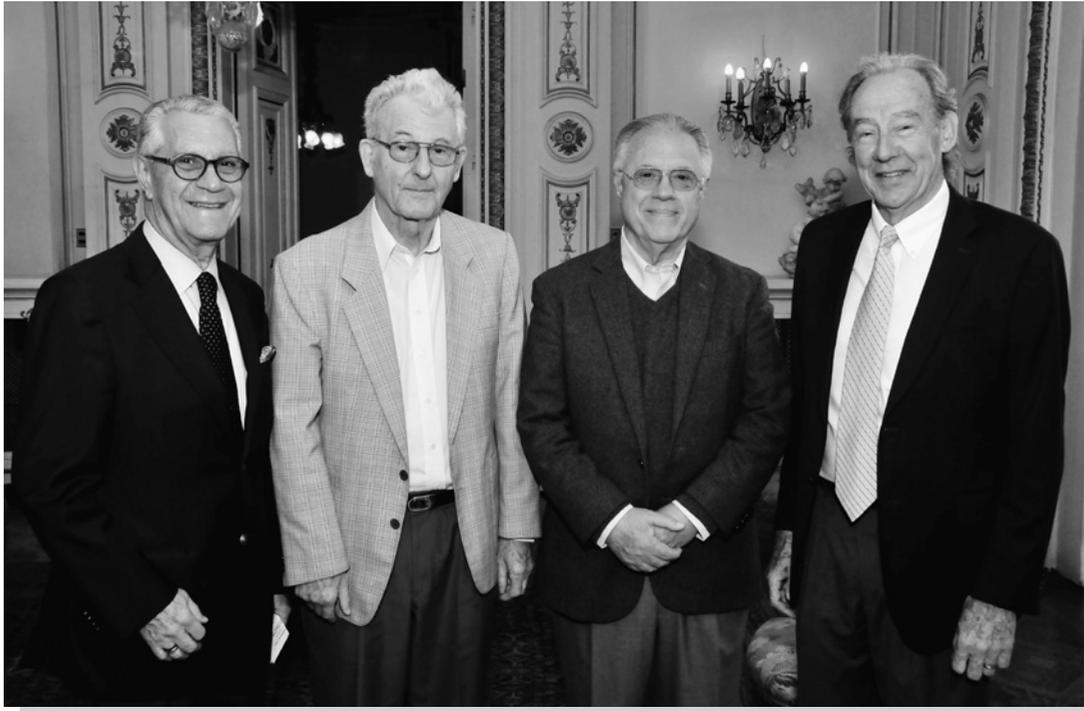
Sr. Pedro Pablo Errázuriz.

—*La respuesta es sí: es posible desarrollar proyectos en concesión. Por ejemplo, nosotros pensamos que el corredor de carga hacia San Antonio puede ser una concesión, porque es financiable en términos privados. En los demás casos, todos tienen rentabilidades sociales, pero las rentabilidades privadas son bajas, menos de 1%, en el caso de Melipilla es 0,6%. Esa es la tasa interna de retorno y el Estado tiene que subsidiar de todas maneras. En ese sentido, si al Estado le interesa como política pública es un buen camino.*

Lo importante es que la red sea una sola. Tenemos que comprar trenes en Melipilla que sean utilizables en Nos y ojalá que los trenes que van hacia el sur puedan pasar por Batuco. Debe ser una solución bastante integral. Y cuando uno concesiona un tramo, empieza a generar discontinuidades que los primeros años no se notan, pero cuando se llega al año 15 o 20, se tiene una mochila con el concesionario al cual se pueden pedir cosas, pero cada vez que se le pide algo, como es monopolio, sus costos son muy altos. Uno pensó que cuando diseñó el contrato, lo hizo con todas las soluciones y resulta que aparecen 8 nuevas ideas que se le ocurrieron al concesionario, que es una persona inteligente.

Entonces sí, pero en mi opinión, y esto es completamente discutible, tiene que ser en mercados bien específicos, donde no haya mucho riesgo de conectividad con otros servicios o en obras concretas que no tengan otro riesgo.

Por ejemplo, el puente sobre el Biobío me parece una super buena idea concesionarlo, pero que los trenes los siga operando FESUR, porque si uno quiere aumentar la carga, si quiere pelear el tren de carga - el tren de pasajeros, ese arbitraje, es mejor que lo haga EFE, a que lo haga el concesionario. La mecánica de esas negociaciones es más compleja. En general, creo que tiene que ser en zonas específicas, un



Sres. Pedro Lasota, Bruno Behn, Dante Bacigalupo y Ricardo Nicolau del Roure.

servicio específico y ojalá que no tengan que integrarse en el largo plazo.

Sr. José Antonio Guzmán.

—Pedro Pablo, dentro de tu intervención no hiciste ninguna mención a las Estaciones, especialmente a la Estación terminal, porque con todo este flujo que tu propones hasta el 2027, no sé dónde van a llegar y cómo va a salir la gente.

Sr. Pedro Pablo Errázuriz.

—Hay dos razones para no haber hecho esa mención. Una es que existe un grado de confidencialidad respecto de ese proyecto específico, en el que no puedo avanzar, desgraciadamente. Pero adicionalmente, es un gran desafío, nosotros de hecho estamos pensando en replantear la estación, tiene que aprovechar de recibir mucho mejor a la gente, pero lo mejor de todo es que el tren va a conectar con la Línea 1, 3, 5, 6 y 7 de Metro. Entonces, se debiese repartir el flujo en forma más homogénea a lo largo del Metro. Pero sí, hay un proyecto con algunas cosas que todavía son confidenciales.

Sra. María Arellano.

—Una pregunta super tal vez básica, pero usted dice, vienen los trenes, como vienen, donde los compraron, quien los compra.

Sr. Pedro Pablo Errázuriz.

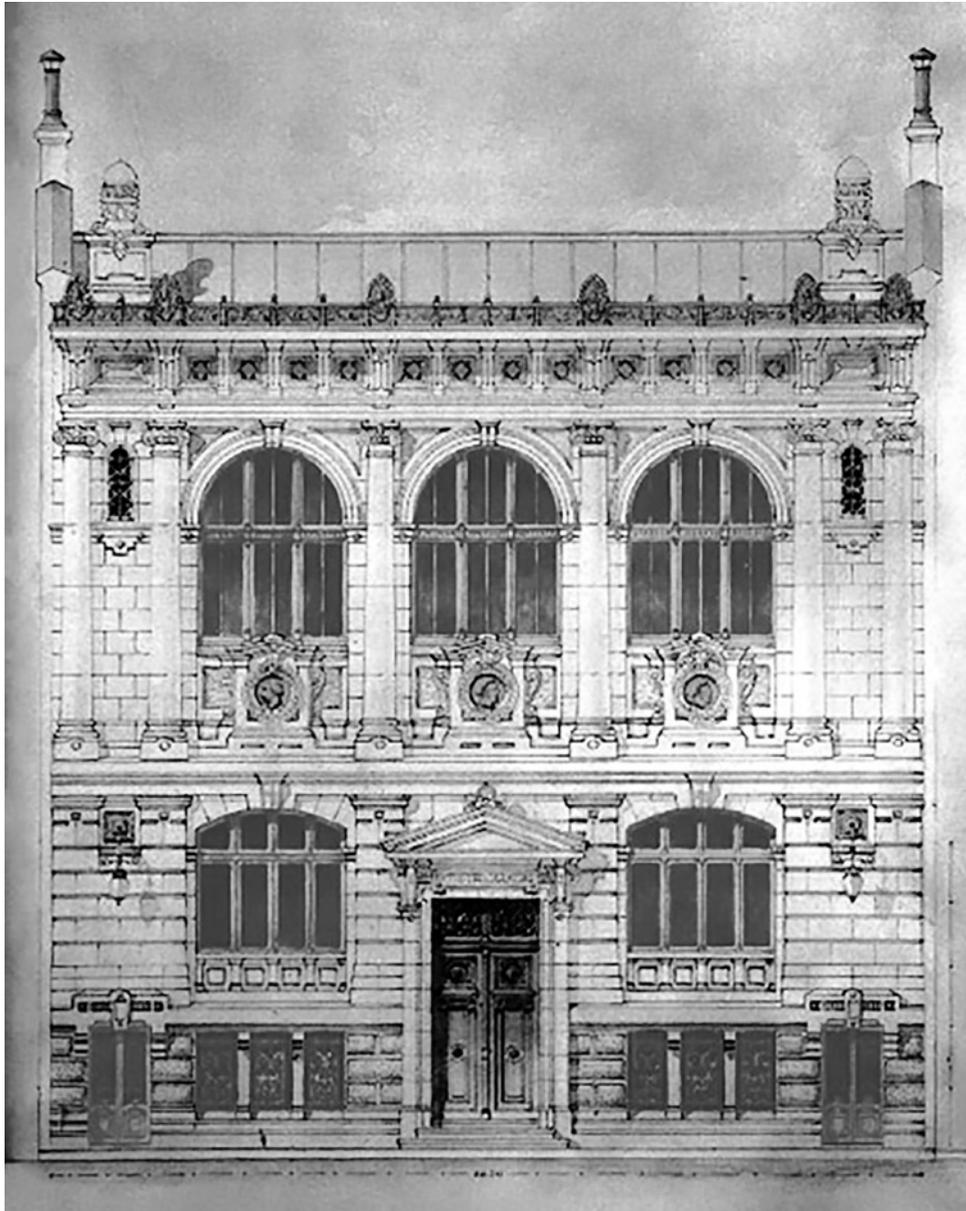
—Se compraron 15 trenes para la región del Biobío y para la región de La Araucanía. EFE compró 15 trenes se están fabricando en China. La empresa se llama CRRC, que actualmente produce más del 30% de trenes del mundo. La gente que fue (no conozco la Planta) quedó impactada con la calidad, el desarrollo técnico y, según la versión de ellos, es la única fábrica que conocen a nivel de la fábrica de Siemens. Pero ya están en construcción, esperamos que estén todos aquí el primer trimestre del 2021.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Fin de la Conferencia.

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS



Como una necesidad de preservar la historia de ingenieros destacados y de la Ingeniería, la Comisión de Ingenieros en la Historia Presente, dio inicio a una serie de entrevistas, con el objeto señalado.

En esta ocasión se presentan dos extractos de las entrevistas realizadas a la Ingeniera Eliana Almendras Carvajal y el Ingeniero Bruno Behn Theune. Estas entrevistas, como las que se hagan en el futuro, serán objeto de una publicación especial.

ELIANA ALMENDRAS.**“Yo quería ser diferente”.**

Cuando todas sus compañeras querían ser profesoras, ella anhelaba ser ingeniera y si bien la decisión no le agradó a su padre, tampoco se opuso. Siendo la única mujer que postulaba a la Universidad de Chile, quedó en los primeros lugares. En la Facultad había alrededor de 1500 estudiantes de los cuales sólo cinco eran mujeres. Todos los ramos de primer año le sirvieron como base y cuando eligió la especialidad, Ingeniería en Minas, todos los cursos se volvieron esenciales, metalurgia, petrografía, geología general y otros.

Entre los profesores de excelencia recuerda a Jorge Muñoz Cristi, Gustavo Lira, Arturo Arias, quien tenía como ayudante a Igor Saavedra. También tuvo como profesor a Laín Diez, que fue su profesor de título y al doctor Angelo Filiponi.

Cuando aún estaba en la universidad la llamaron de CORFO, para colaborar con un experto alemán que venía de Aquisgrán y con quien trabajaría algunos parámetros de interés en la explotación de los Carbones de Pupunahue. Esos fueron sus primeros pasos en la ingeniería aplicada.

En otra ocasión la llamaron por un trabajo para la Central Rapel, ahí tenía que analizar el material rocoso en la Central, estudiar el tipo de roca, su dureza, alteración y calidad del terreno. También hizo ayudantías en algunos cursos de la especialidad y luego fue profesora auxiliar para terminar como profesora de cátedra cuando egresó.

Todo ello le significó un estudio constante que ha mantenido durante su vida profesional, con la implicancia de sacrificar a veces su vida familiar, donde siente que debió haber compartido más con sus dos hijos.

Conoció a su esposo estando en la Facultad. Él también estudiaba ingeniería de minas y quería ser filósofo, pero ella lo convenció de ser primero ingeniero, y así se convirtió en su más cercano colaborador.

Para dictar clases de calidad siguió un sinnúmero de cursos de post grado de alta especialización y su meta era trabajar en procesos metalúrgicos y control de procesos en las plantas de distintas empresas mineras. Antes de la nacionalización del cobre trabajó para toda la minería en general: cobre, oro, molibdeno, fierro y carbón.

Aparte de crear cursos, sus planes, programas y laboratorios, formó especialistas extranjeros, en Argentina, Perú y Colombia.



Participó en la formación de laboratorios en la Universidad Católica y en la Universidad de Santiago.

En el año 1987, cambió algo en su quehacer minero, fue elegida por votación la primera mujer en ocupar el cargo de director en un Departamento de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, como directora del Departamento de Ingeniería de Minas. Pasó del estudio científico y tecnológico a un sistema de trabajo administrativo. En esa etapa, activó programas de magister y realizó investigaciones importantes en el campo de la minería, minería extractiva, piro metalurgia, investigó los hornos de Chuquicamata, las escorias del convertidor en Teniente y muchas más.

En la Facultad, dirigió memorias de magister y tesis de grado de ingeniería civil de minas y como investigadora tiene numerosas publicaciones en revistas nacionales y extranjeras, muchas de ellas en conjunto con su esposo. Entre sus diversas actividades, señala el haber sido asesora del SEREMI de minería para ayudar a Pymes en una época que contaban con pocos recursos y estructura.

En el ámbito personal, también ha demostrado su tenacidad y dedicación, y es así como entre sus aficiones, destaca el haber jugado tenis, deporte que practicó para incentivar a una de sus hijas, y que abandonó sólo cuando su hija consiguió los resultados esperados, que le permitían seguir adelante sola.

Eliana Almendras reconoce como uno de sus talentos, el poder de observación profunda aprendida de su padre. Se define como una persona muy perseverante y perfeccionista.

Su legado personal será el haber formado cátedras, tanto de pregrado como de postgrado en la parte de caracterización instrumental y control de procesos mineros metalúrgicos.

Aprecia los avances tecnológicos en computación y robótica que han ocurrido en el último tiempo, pero estima que todavía no son accesibles a todos.

A los jóvenes ingenieros, les deja un mensaje: “que sean muy tenaces, que se entreguen a su trabajo, pues es la única forma de salir adelante, deben amar la profesión que eligieron”.



BRUNO BEHN.

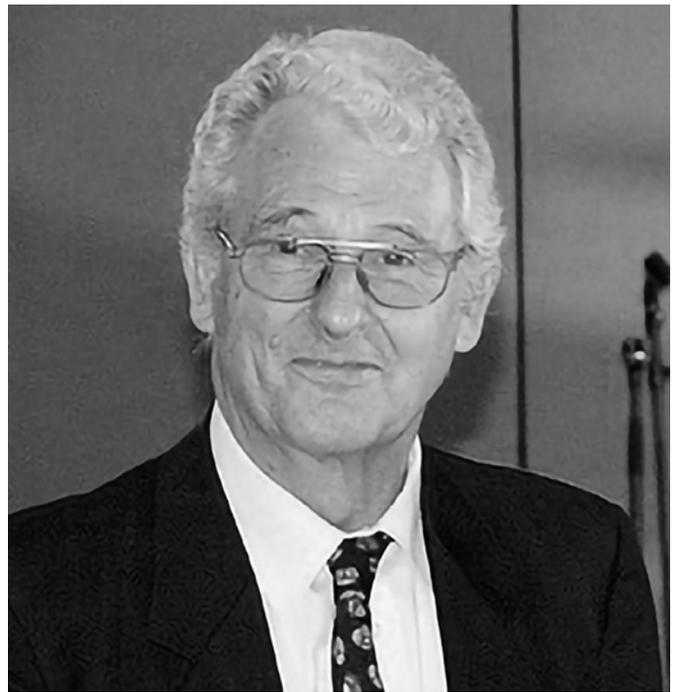
“Hablar con la verdad”.

Su madre decía que quería un hijo médico y otro ingeniero. Su hermano ya había escogido la medicina así que quedaba solamente una opción. En su familia, el abuelo paterno fue ingeniero químico y se había desempeñado en la industria salitrera a fines del Siglo XIX e inicios del Siglo XX. No tuvo dudas cuando tuvo que escoger donde estudiar, la Universidad de Chile tenía prestigio y ahí habían estudiado algunos de sus familiares.

En su formación académica influyeron insignes profesores como Jorge Muñoz, Héctor Flores, Jean Chevalier, Ernesto Kausel y Carlos Díaz, entre otros. En lo profesional trabajó bajo la orientación y consejos de Augusto Millán y Hernán Danús.

Los ramos que más le gustaban eran los de la especialidad: Geología, Geología Económica, Mineralogía, Explotación de Minas, Tecnología del Salitre, Petróleo, Evaluación de Yacimientos y detestaba la Geometría Descriptiva.

Una vez titulado el año 1964, siguió cursos de ingeniería y aplicaciones prácticas durante un año en Alemania gracias una beca del Servicio Alemán de Intercambio Académico. De regreso en Chile fue contratado en la Empresa Nacional de Minería en su Departamento de Fomento y destinado a trabajar en un programa de modernización de las tecnologías mineras en Compañía Minera Cerro Negro al interior de Cabildo. Por ser una faena de la mediana minería las actividades en que participó cubrían todos los aspectos de una empresa minera, vale decir, exploración, explotación, procesamiento y administración.



Las actividades profesionales más importantes las realizó en Codelco División Salvador. A raíz de la nacionalización de las empresas de la Gran Minería del Cobre y el consecuente retiro de los ingenieros de Anaconda, tuvo que organizar y desarrollar proyectos que dieran sustentabilidad en el corto y largo plazo a la actividad productiva. Allí dirigió los Departamentos de Geología, Minas y Planta Concentradora.

Por la disminución natural de las leyes de cobre, y para mantener la producción de cobre fino, lideró en esos años un completo proyecto de expansión de las actividades de la Mina y la Planta Concentradora. Esto involucraba la incorporación de nuevas

tecnologías de Explotación por Blockcaving, fundamentalmente con equipos LHD y nuevos circuitos de Chancado, Molienda y Flotación. Como los norteamericanos generaban energía eléctrica en 60 ciclos, se realizó un proyecto de cambio de frecuencia para poder operar con 50 ciclos y tener a ENDESA como abastecedor.

También se pueden mencionar entre sus aportes a la ingeniería, los primeros usos de la energía solar con el fin de calentar agua para la faena y para la generación de energía eléctrica en lugares alejados del complejo industrial, como la bocatoma en La Ola. Además, participó en un proyecto para el secado del concentrado de cobre. Pero, el aporte que él considera como más importante fue el desarrollo de una capacidad de ingeniería para las faenas de la Gran Minería del Cobre que no existía antes y que hasta hoy es un orgullo para la ingeniería chilena.

Asumió la Gerencia General de la Sociedad Minera El Toqui en Aysén, a fines de los años 80, en una situación extremadamente difícil por escasos recursos financieros y bajos precios del zinc.

Se desempeñó como Gerente General en la División Salvador de Codelco a principios de los 90, donde las reservas minerales para un negocio rentable se estaban agotando.

Proyectó y construyó junto con otros profesionales, una planta de lixiviación de minerales de cobre, extracción por solventes y electrodepositación de cátodos comerciales.

Desarrolló y modernizó la enseñanza de la ingeniería de minas como Director del Departamento respectivo de la Universidad de Chile, aumentando el número de estudiantes en toda la carrera de 46 a más de 200 en un corto período.

En el marco del Colegio de Ingenieros de Chile, como presidente de la Comisión de Recursos no Renovables, organizó a fines de los años 80 un taller sobre Política Minera en que participaron ingenieros de distintas especialidades. Este trabajo fue publicado finalmente por el Instituto de Ingenieros de Minas de Chile en un documento que se tituló "Temas para una Política Minera". Esta publicación fue presentada

en marzo de 1990 a las nuevas autoridades del Ministerio de Minería, cuando asumió la Presidencia de la República don Patricio Aylwin Azocar. El trabajo se consideró muy valioso para emprender líneas de acción en minería por los gobiernos de la Concertación.

Fue merecedor del Premio Julio Donoso Donoso, que otorga el Instituto de Ingenieros de Chile, por su aporte a las personas en los lugares donde ha trabajado. Organizó talleres de poesía, de pintura, de filosofía y otros, donde invitaba como profesores a connotados especialistas en cada uno de los temas y participó en la creación del club de fútbol Cobresal en el año 1979, siendo en la actualidad el socio N° 1 del club.

Reconoce como uno de sus principales talentos el saber descubrir en otras personas sus propios talentos y de allí establecer iniciativas o proyectos de interés mutuo. Para él, los valores más importantes son todos aquellos que tienen que ver con la ética en la vida pública y privada. A sus alumnos, aparte de conocimientos, les enseña comportamientos valóricos y morales.

Desea ser recordado como un profesional y como un ser humano que nunca vaciló en tomar decisiones por difíciles o incómodas que fueran, algunas veces con consecuencias ingratas.

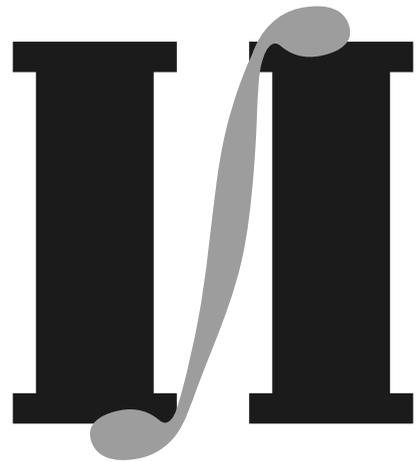
Vivió la era de la regla de cálculo, las tablas de logaritmos y los dibujos con tinta china. En sus inicios no existían los computadores, sin embargo, opina que éstos nunca podrán replazar el criterio humano.

Por ello, a sus alumnos les aconseja nunca perder el análisis crítico en todos los diseños de ingeniería y para eso, sostiene, es fundamental tener una formación sólida en la disciplina de matemáticas, física, química, y hoy más que nunca, en temas de medio ambiente.

Está convencido de que las nuevas generaciones debieran incorporar principios éticos en sus quehaceres, tanto en sus relaciones comerciales como en todo lo vinculado con la conservación de la naturaleza. Y puntualiza: "Estos valores debieran ser intransables".



ISSN 0716 - 2340



**ANALES
DEL INSTITUTO
DE INGENIEROS DE CHILE**

Vol. 132, N° 1 - ABRIL 2020

“Uno de los pensamientos que más ha preocupado al Instituto de Ingenieros, desde su fundación, ha sido la creación de un organo que lo ponga en relación con la sociedad, a cuyos intereses trata de servir; i cada día que pasa nos hace ver más i más la necesidad que la corporación tiene de consignar en un periódico las ideas que surjan i que se elaboren en su seno, referentes a los multiplicados i variadísimos ramos de la ingeniería.

En esta virtud, no porque nuestro periódico sea especialmente el órgano del Instituto, dejará de serlo también del país en general, i léjos de esto, creemos obrar en consonancia con nuestro propósito, ofreciendo sus columnas a las personas ilus-tradas i de buena voluntad que nos honren con el precioso continjente de ideas útiles”.

(Anales del Instituto de Ingenieros. Tomo 1, Año 1, 1888).

Anales del Instituto de Ingenieros

Vol. 132, N° 1, abril de 2020.

Contenido

AVANCES EN EL PRONÓSTICO OPERACIONAL DE CORTO PLAZO Y LA EVOLUCIÓN FUTURA DE LARGO PLAZO DEL FENÓMENO DE LA TURBIEDAD EN EL RÍO MAIPO.

Carlos Poblete, Francisco Suárez, Sebastián Vicuña, Carolina Meruane, Alberto de la Fuente y Jorge Reyes.

Pág. 1

INCLUSIÓN DE ELEMENTOS ECONÓMICOS EN EL DISEÑO DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN A LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE SANTIAGO.

Sebastián Vicuña, Iñigo Ricalde, Rafael Undurraga, Oscar Melo, James Tomlinson, Julien Harou y Greg Characklis.

Pág. 13

INFLUENCIA DE LAS EMISIONES AL AIRE DEL HEMISFERIO SUR EN LAS CONCENTRACIONES Y DEPOSICIÓN DE CARBÓN NEGRO EN LA ANTÁRTICA.

Ernesto Pino-Cortés y Luis A. Díaz-Robles.

Pág. 19

UNSTRUCTURED ROAD SEGMENTATION: A COMPARATIVE STUDY.

Fernando Bernuy y Javier Ruiz del Solar.

Pág. 25

Editor

Raúl Uribe Sawada, Instituto de Ingenieros de Chile.

Comité Editorial

Rodolfo Saragoni H., Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica (ACHISINA)

Alexander Chechilnitzky Z., Asociación Interamericana de Ingeniería (AIDIS)

José Vargas B., Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica (SOCHID)

Gonzalo Montalva A., Sociedad Chilena de Geotecnia (SOCHIGE)

Carolina Palma A., Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte (SOCHITRAN)

Alonso Barraza San M., PMI Santiago Chile Chapter (PMI, Capítulo Chileno)

Mario Letelier S., Sociedad Chilena de Educación en Ingeniería (SOCHEDI)

Los Anales del Instituto estarán dedicados a la presentación de trabajos técnicos en el área de la Ingeniería y ramas afines, para lo cual acepta colaboraciones tanto del país como del extranjero.

Se publicarán aquellos artículos que, a juicio del Comité Editorial, contribuyan al desarrollo o difusión del conocimiento, de técnicas y métodos o de aplicaciones de importancia en la Ingeniería. Artículos de índole expositiva que unifiquen resultados dispersos o que den una visión integrada de un problema o de una puesta al día de una técnica o área, serán bienvenidos. Del mismo modo, ensayos sobre temas de interés para la profesión como perspectivas educacionales, históricas o similares.

AVANCES EN EL PRONÓSTICO OPERACIONAL DE CORTO PLAZO Y LA EVOLUCIÓN FUTURA DE LARGO PLAZO DEL FENÓMENO DE LA TURBIEDAD EN EL RÍO MAIPO

Carlos Poblete¹, Francisco Suárez², Sebastián Vicuña³, Carolina Meruane⁴, Alberto de la Fuente⁵ y Jorge Reyes⁶

RESUMEN

El fenómeno de la turbiedad extrema ha sido abordado en trabajos previos mediante el análisis de eventos históricos; estudios que han permitido, además de caracterizar y comprender de mejor forma el fenómeno, estar en condiciones de intentar una predicción del mismo. Se presentan a continuación avances conseguidos en dos líneas de predicción: 1) pronósticos operacionales de corto plazo, alimentados por forzantes que gatillan aumentos de turbiedad en el río y 2) evolución futura de largo plazo, considerando los patrones de cambio climáticos que pueden ocurrir sobre la cuenca del Maipo.

El modelo operacional pronostica la serie de tiempo horaria de turbiedad para un horizonte de 3 días y consiste en un modelo híbrido que combina información geomorfológica y meteorológica de la cuenca, unida a un pronóstico hidrometeorológico base, con algoritmos Deep Learning que definen el peso de cada forzante. Desde su puesta en operación, la herramienta se ha utilizado para generar advertencias del tipo alerta temprana y estimaciones del tiempo de duración de la emergencia.

La evolución futura del fenómeno se abordó utilizando simulaciones de un modelo climático de alta resolución las cuales alimentaron un modelo hidrológico local, resultados que unidos a un modelo basado en redes neuronales, generaron series diarias de turbiedad. Respecto de la situación actual y bajo un escenario de Cambio Climático RCP 8,5; se esperarían futuros incrementos en el número de eventos, en la duración máxima y magnitud media asociada y aparentes reducciones en las intensidades máximas de los mismos.

Si bien ambas herramientas deben seguir siendo evaluadas, se consideran interesantes alternativas para avanzar en la predicción del comportamiento del fenómeno, tanto en el corto como en el largo plazo.

¹ Ingeniero Civil de la Universidad de Chile. Subgerente de Planificación Técnica y Recursos Hídricos, Aguas Andinas, cpoblete@aguasandinas.cl

² Ingeniero Civil de la P. Universidad Católica de Chile; MSc Ciencias de la Ingeniería, PUC, PhD en Hidrología, U. Nevada. Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental UC, fsuarez@ing.puc.cl

³ Ingeniero Civil de la P. Universidad Católica de Chile; MSc y PhD Ingeniería Civil y Ambiental, UC Berkeley. Director del Centro de Cambio Global UC, svicuna@ing.puc.cl

⁴ Ingeniera Civil de la Universidad de Chile; PhD Ciencias de la Ingeniería, U. de Chile; PhD Ciencias de la Tierra, U. Blaise Pascal. Directora de Modelación Ambiental SpA, cmeruane@modelacion.cl

⁵ Ingeniero Civil de la Universidad de Chile; PhD Ciencias de la Ingeniería, U. de Chile. Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil, U. de Chile, aldelafu@ing.uchile.cl

⁶ Ingeniero Civil de la P. Universidad Católica del Norte; MSc Ciencias de la Ingeniería, U. de Chile. Ingeniero de Proyectos, Aguas Andinas, jreyesa@aguasandinas.cl

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Trabajos previos han ayudado a comprender el fenómeno de turbiedad en la cuenca del río Maipo por medio del análisis de eventos históricos. Sin embargo, es de interés avanzar hacia la posibilidad de una predicción de su comportamiento, tanto en el corto como en el largo plazo.

Este documento tiene como objetivo presentar los avances conseguidos hasta el momento en ambas líneas, mostrando los logros en cuanto a: 1) pronósticos operacionales de corto plazo alimentados por forzantes que gatillan aumentos de turbiedad en el río y donde la actualización continua es clave y 2) evolución futura de largo plazo, considerando los patrones de cambio climáticos que pueden ocurrir sobre la cuenca del Maipo en base a simulaciones climáticas globales.

2. CONTEXTO GENERAL

Las aguas del río Maipo se caracterizan por presentar una calidad que las hace adecuadas para la producción de agua potable mediante tecnologías de tratamiento convencionales. No obstante, en ocasiones la disponibilidad natural se ve afectada por eventos de crecidas con altas concentraciones de sedimentos en suspensión, alcanzando niveles de turbiedad que no permiten su tratamiento, representando un factor de vulnerabilidad para el sistema de producción de Aguas Andinas.

Durante los últimos 10 años, se han conseguido importantes avances en la comprensión del fenómeno de turbiedades extremas. Dentro de lo anterior, destacan las mejoras conseguidas en su caracterización y cuantificación, el aumento observado en su ocurrencia y la modelación matemática de su recurrencia, lo que ha permitido poder estimar periodos de retorno según duración y umbral del episodio, así como dimensionar las obras necesarias para dotar a la compañía de la autonomía solicitada por la Autoridad.

Junto a lo anterior, se ha intentado estudiar alguna relación de causalidad del fenómeno con la hidrometeorología de la cuenca con el objetivo de poder predecirlo. En principio parece evidente una relación de la turbiedad con el caudal del río, sin embargo, turbiedades entre 3.000 y 4.000 UNT¹ se ha visto que

¹ Valores límite sobre los cuales la producción de las plantas de tratamiento no puede ser 100%.

ocurren en prácticamente todo el espectro de caudales, demostrando la no linealidad del fenómeno con las variables usuales.

No obstante, en términos descriptivos, se han detectado 3 condiciones climatológicas que favorecen la ocurrencia de fenómenos de alza de turbiedades: Deshielos de verano, Precipitaciones convectivas y Precipitaciones frontales con isoterma alta, aunque las relaciones no son lineales ni tampoco estrictas, lo que dificulta enormemente su pronóstico, materia aún pendiente y que aborda el presente documento.

3. PRONÓSTICO OPERACIONAL DE CORTO PLAZO

El objetivo de este trabajo fue desarrollar una herramienta simple y robusta para el manejo y gestión en tiempo real de las operaciones de las plantas de agua potable, generando advertencias del tipo alerta temprana como también estimaciones del tiempo de duración de la emergencia.

3.1. METODOLOGÍA PROPUESTA

Se desarrolló un modelo para el pronóstico horario de la serie de tiempo de turbiedad del agua en la captación Toma Independiente, para un horizonte de 3 días. Se trata de un modelo híbrido con actualización horaria que combina un modelo conceptual asociado a las forzantes que gatillan aumentos de turbiedad en el río, con algoritmos Deep Learning que definen el peso de cada forzante.

3.2. ACTIVIDADES DESARROLLADAS

Para configurar las variables de entrada, se desarrollaron las siguientes actividades:

- Caracterización geomorfológica de la cuenca.
- Recopilación de información histórica horaria de turbiedades y caudales.
- Generación de eventos históricos, entendida como el conjunto de datos de entrada al modelo (precipitación, línea de nieve, etc.) y su respuesta (caudal y turbiedad horaria).
- Calibración, validación y testeo.

La configuración final para las variables de entrada considero los datos de los 3 días anteriores y los 3 días futuros de las siguientes variables:

- Altura de la isoterma cero.
- Área aportante pluvial, tiempo de concentración.
- Precipitación total y convectiva y humedad relativa.
- Temperatura en la tropósfera, específicamente a 3.500 msnm.

Finalmente, también se requiere de la última medición turbiedad como condición adicional. La Figura 1 siguiente muestra un esquema simplificado del funcionamiento.

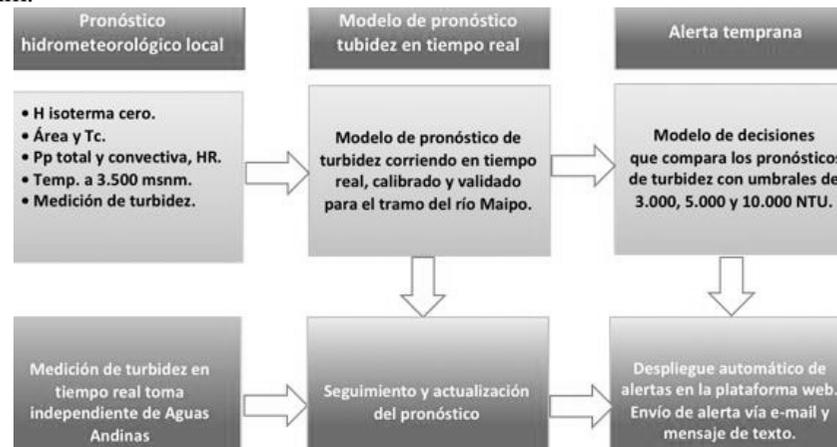


Figura 1: Esquema de funcionamiento del módulo de pronóstico operacional de turbiedad.

3.3. RESULTADOS

Diversas métricas mostraron en general un buen ajuste del modelo durante la etapa de calibración, en particular de los eventos de turbiedad extrema, tanto en sus valores promedios y máximos como en sus duraciones.

La Figura 2 muestra las comparaciones de turbiedad máxima pronosticada y desviación estándar de la turbiedad horaria para los próximos 3 días.

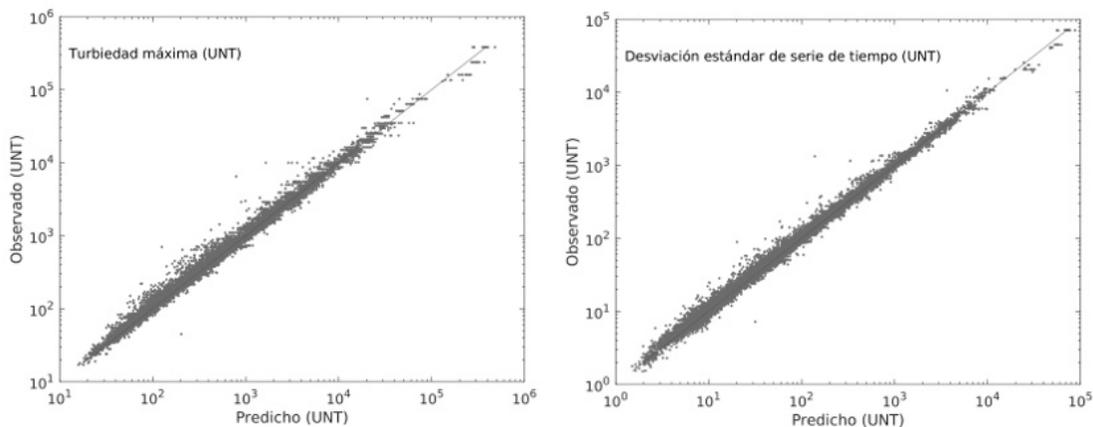


Figura 2: Comparación entre valores pronosticados (eje x) y observados (eje y). Turbiedad máxima (izq) y desviación estándar (der) para los próximos 3 días.

Es importante destacar que el pronóstico de la duración del evento es en ocasiones incluso más importante que el valor máximo alcanzado, pues una vez declarado el evento y eventualmente cerrada la captación, es

fundamental estimar cuándo la turbiedad volverá a sus valores usuales y permitirá retomar la captación normal desde el río nuevamente. Las figuras 3 y 4 también muestran un buen ajuste en cuanto a este parámetro.

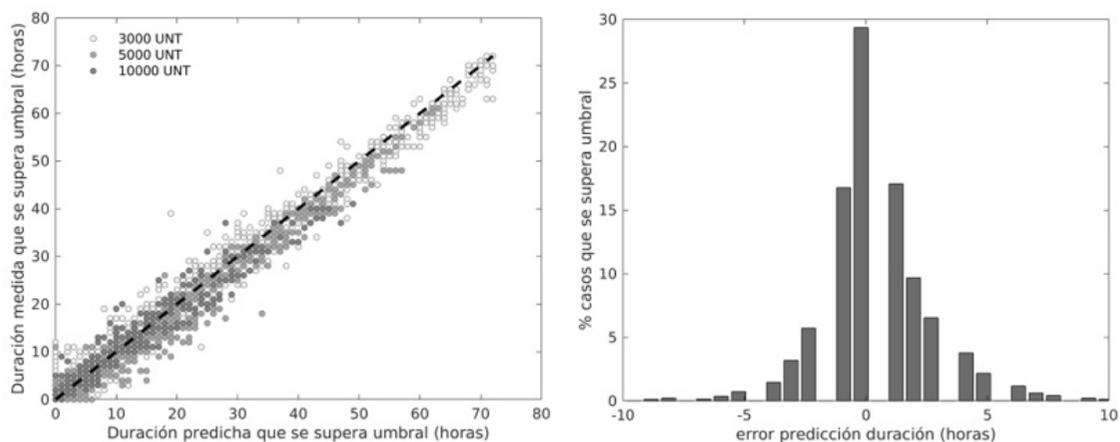


Figura 3: Comparación entre valores pronosticados (eje x) y observados (eje y) para la duración de eventos que superan umbrales (izq). Histograma del error en el pronóstico de la duración de eventos que superan umbrales (der).

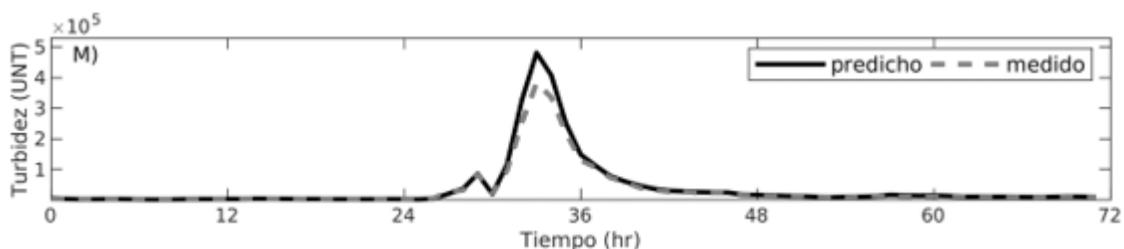


Figura 4: Serie de tiempo de comparación de turbiedad horaria observada y pronosticada para evento extremo.

Desde su puesta en marcha, el modelo de pronóstico acumula 9 meses de operación (oct/18 a jun/19). Respecto del periodo de calibración inicial, cuyo ajuste se realizó con reanálisis meteorológico, durante el periodo de operación se ha observado una baja en el desempeño (ver Figura 5), atribuida principalmente al

error asociado en el pronóstico meteorológico a 3 días. No obstante, en general los errores siguen siendo bajos. Para todo el periodo de operación, se obtienen errores cuadráticos medios (RMS) normalizados por el promedio máximo de 12,4% y medio de 10,0%.

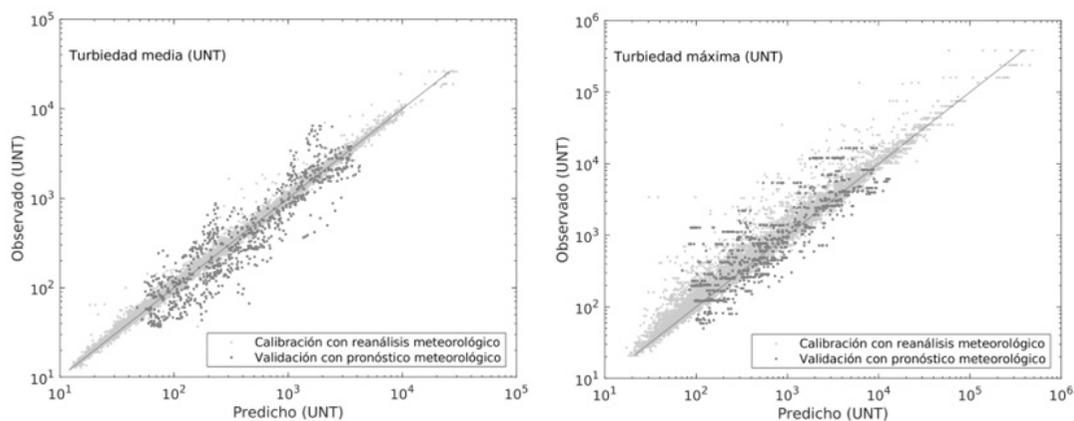


Figura 5: Comparación del pronóstico de turbiedad media (izq) y máxima (der) para los próximos 3 días y los datos medidos desde la puesta en marcha de la plataforma (puntos rojos). Como referencia se muestran en gris el pronóstico de la calibración.

Existe la intención de revisar el modelo, al menos en forma anual, incorporando toda la información generada de la comparación entre las series de turbiedades observadas y las pronosticas, para decidir si es necesario algún ajuste de sus parámetros para mejorar su desempeño.

Es importante mencionar que los modelos de inteligencia artificial no permiten explicar en

profundidad los mecanismos físicos involucrados en los procesos de escorrentía y calidad de aguas de los ríos. Sin embargo, en el contexto de un sistema de alerta temprana, en donde lo que se busca es dar una advertencia previa para eventos extremos, se da mayor importancia a la simplicidad y robustez del modelo de pronóstico, que a la descripción precisa de los diferentes subprocessos internos que explican el evento.

4. EVOLUCIÓN FUTURA DE LARGO PLAZO

En este estudio se buscó evaluar una metodología para la caracterización y predicción de los eventos futuros de turbiedad, tomando en cuenta los patrones de cambio climáticos que pueden ocurrir sobre la cuenca del Maipo.

4.1. METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología propuesta consistió en 4 etapas sucesivas de validación, calibración e implementación de modelos, según muestra la Figura 6 y la descripción siguiente:

a) Modelo de turbiedad: ocupando datos hidroclimatológicos observados (caudales, precipitación y temperatura) y de turbiedad observada diaria, se calibró y validó un Modelo de predicción para simular las turbiedades históricas (flechas naranjas) buscando ser capaz de representar las características de la serie temporal, para así poder caracterizar los eventos en función de su umbral y duración.

b) Modelos atmosférico e hidrológico: ocupando datos hidroclimatológicos observados (caudales, precipitación y temperatura) se realizaron dos actividades (flechas blancas): 1) validación de las series climáticas generadas por el Modelo atmosférico y 2) calibración y validación de los caudales históricos del Modelo hidrológico.

c) Simulación de turbiedad: Se realizó un procedimiento de validación de caudales y turbiedades históricas, pero considerando como únicas forzantes las series climáticas generadas por el Modelo atmosférico (flechas azules). Con las series climatológicas del Modelo atmosférico se obtienen series de caudales del Modelo hidrológico que se validan con los datos históricos. Para terminar esta etapa, se ingresan las series hidroclimatológicas simuladas anteriores en el modelo de predicción de turbiedad para validar sus resultados en base a (1) los datos históricos y (2) los datos sintéticos de turbiedad entregados por el modelo en base a datos históricos (actividad a)). Esta validación está centrada en un análisis de frecuencia e intensidad de los eventos de turbiedad.

d) Escenarios futuros: Luego de haber calibrado los 3 modelos (atmosférico, hidrológico y de turbiedad), se hicieron proyecciones de series hidroclimáticas para obtener caudales y turbiedades futuras asociadas a escenarios de Cambio Climático

(flechas verdes). En base a estos resultados se estudian las ocurrencias de los eventos de turbiedad y su variación con respecto al periodo histórico.

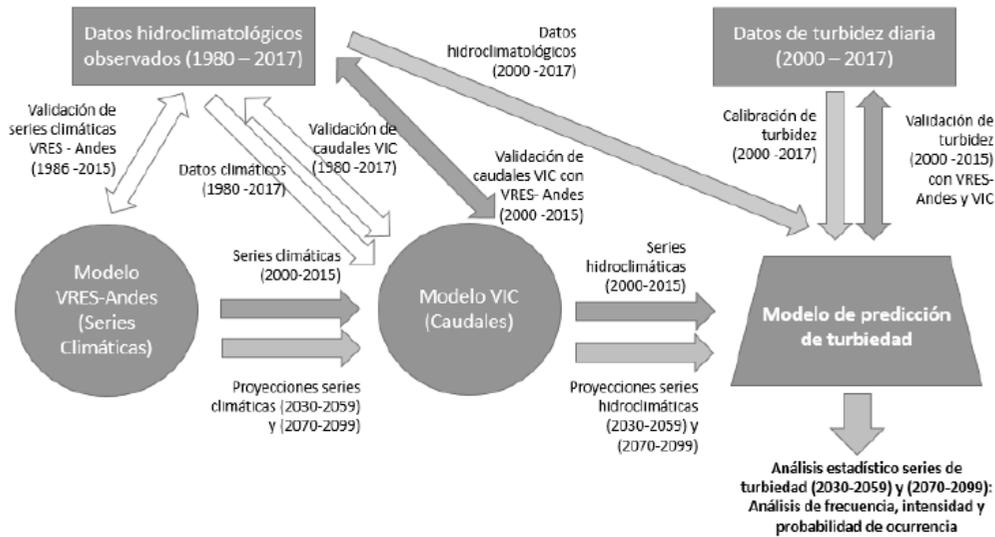


Figura 6: Metodología para la generación de series futuras de turbiedad

4.2. VALIDACIÓN HISTÓRICA

A continuación, se muestran los resultados del proceso de validación de los modelos utilizados, comparando sus resultados con los valores históricos observados. Esto equivale a las actividades a), b) y c) descritas en el punto 4.1 y Figura 6 anteriores (flechas naranjas, blancas y azules).

4.2.1. MODELO CLIMÁTICO

Para este estudio se tuvo acceso al proyecto VRES-Andes (Centro de Cambio Global en conjunto con el Lawrence Berkeley National Laboratory, el National Center for Atmospheric Research (NCAR), el Massachusetts Institute of Technology, y la

Universidad de California Davis) el cual realizó una modelación de alta resolución (~14 Km) en la región de los Andes Sudamericanos.

El modelo climático VRES-Andes simuló correctamente los patrones de precipitación y temperatura, aunque debió ser corregido mediante una técnica estadística de post-procesamiento para la remoción de sesgo con objeto de representar las condiciones del clima local (ver Figura 7). El análisis de los resultados permitió concluir que el modelo climático VRES-Andes es una herramienta válida para la modelación de las condiciones de clima futuro.

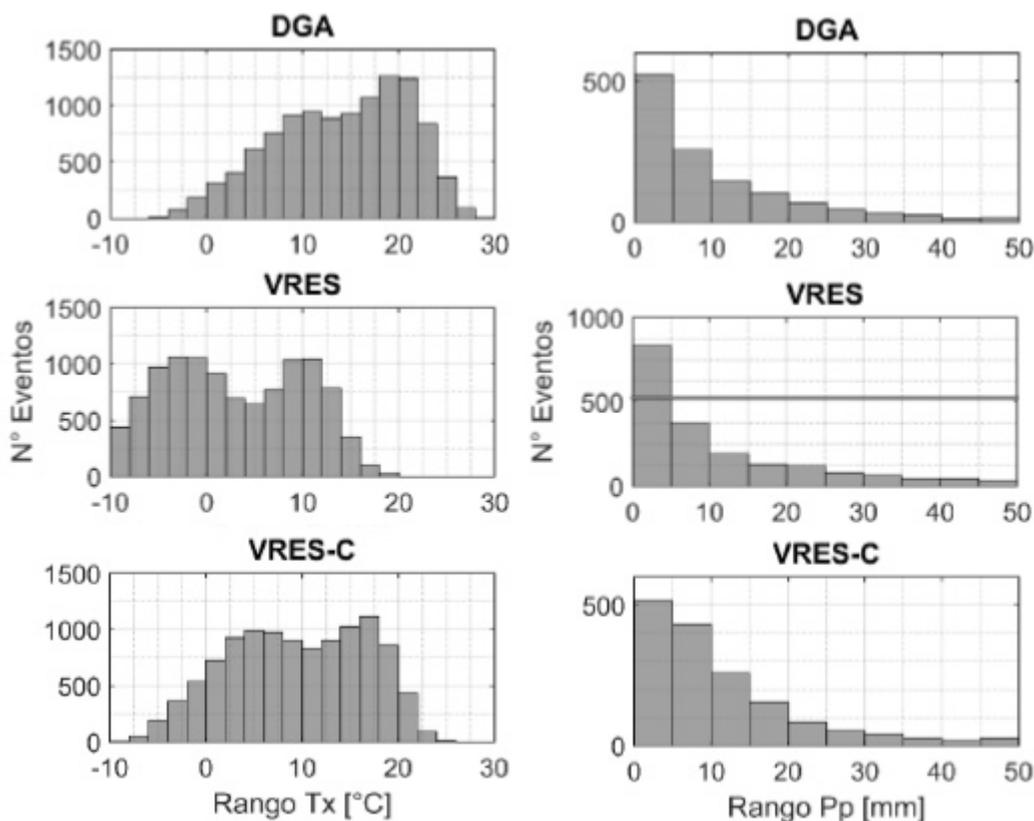


Figura 7: Comparación de histogramas base de temperatura máxima (izq) y precipitación anual (der) entre las observaciones DGA y las simulaciones del modelo VRES-Andes (VRES) y VRES-Andes corregido (VRES-C)

4.2.2. MODELO HIDROLÓGICO

La modelación hidrológica se realizó mediante el modelo hidrológico “Variable Infiltration Capacity” (VIC). Se trata de un modelo distribuido de base física que representa procesos de evapotranspiración, interceptación, infiltración, acumulación y derretimiento de nieve, etc. El modelo VIC se ha implementado y calibrado en la totalidad de la cuenca del Río Maipo como parte del trabajo de actualización del Balance Hidrológico (DGA, 2017). Debido a que el presente estudio considera solamente la cuenca alta del Maipo,

se calibró sólo la estación fluviométrica DGA Río Maipo en El Manzano.

Al correr el modelo VIC con las forzantes VRES-Andes corregidas según la remoción de sesgo, se logran captar las propiedades básicas del régimen hidrológico nival del río, aunque de igual forma se observan sesgos que pueden removerse estadísticamente, como muestra la Figura 8 siguiente.

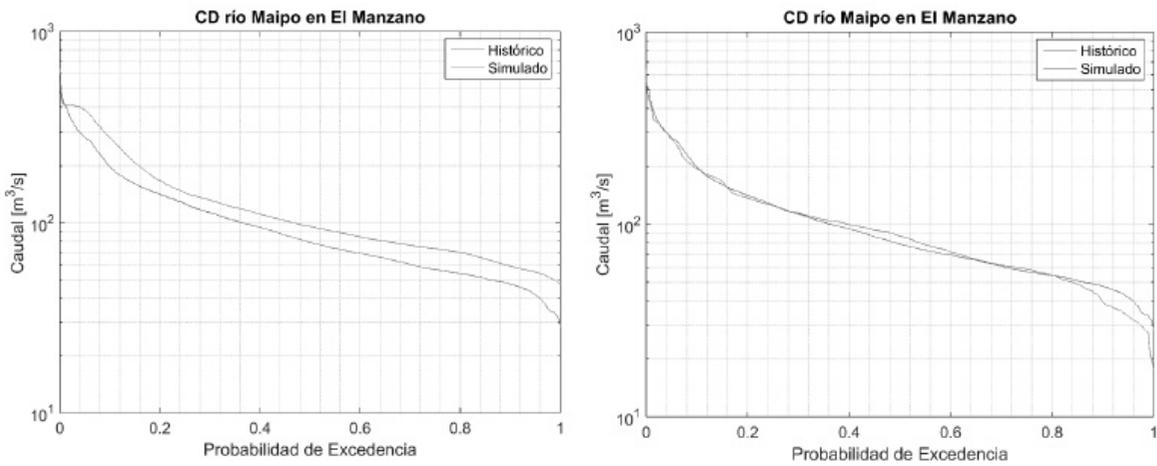


Figura 8: Curva de duración de caudales del río Maipo en El Manzano con forzantes VRES-Andes sin remoción de sesgo (izq) y con remoción de sesgo (der).

4.2.3. MODELO DE TURBIEDAD

El registro temporal de turbiedad se analiza en base a una teoría de sucesiones, es decir, la serie se define como un registro temporal que comparte la característica de superar un cierto umbral. En base a

este umbral, los eventos se pueden caracterizar en duración, intensidad máxima y magnitud, como se señala en la Figura 9. El análisis realizado considera una escala diaria, tanto en sus datos de entrada como en sus resultados.

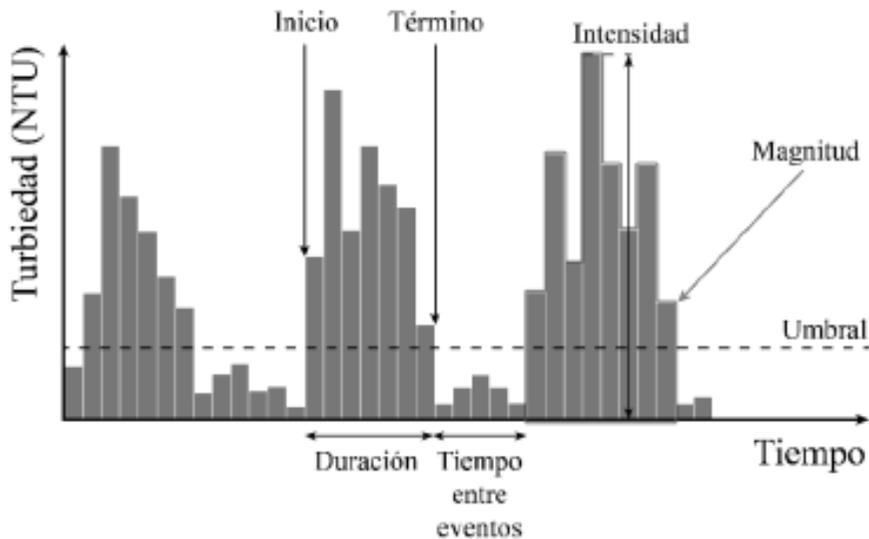


Figura 9: Esquema gráfico de las propiedades de los eventos de turbiedad.

Para la predicción de turbiedad en el río Maipo se ocupó un esquema tipo Autoregresivo No-lineal con input externos (NARX), dada la habilidad que poseen las redes neuronales para resolver problemas no-lineales sin tener la necesidad de comprender e identificar todos los procesos físicos involucrados.

Para caracterizar los eventos que entrega el modelo de turbiedad, se comparan estadísticamente los resultados con los datos observados, ya que el modelo no tiene como finalidad predecir a escala diaria, sino más bien ser capaz de reproducir los comportamientos generales a escalas temporales mayores. Estas comparaciones son:

- Identificación del número total de eventos sobre el umbral.

- Comparación de las duraciones, intensidad máxima y magnitud: se considera el total de los eventos simulados, por lo que se obtiene un valor mínimo, medio y máximo para cada una de las tres propiedades antes mencionada.
- Identificación de los valores máximos de intensidad mensuales.

Se observó una satisfactoria representación del comportamiento de turbiedad al evaluar el desempeño del modelo con forzantes históricas (DGA), no obstante, al evaluar el desempeño con forzantes VRES, se observó un considerable aumento en la duración de los eventos de turbiedad, probablemente debido a un “overfitting” de la red neuronal, lo que causa que en la serie temporal se quede fija en un valor relativamente constante.

Tabla 1: Resultados para turbiedad simulados con base histórica DGA y forzantes VRES-Andes, para el periodo histórico 2001-2015

Registro / Forzantes ¹	Eventos turbiedad	Duración [días]			Intensidad Máxima [NTU]			Magnitud [NTUxdía]		
		Mínimo	Mediana	Máximo	Mínimo	Mediana	Máximo	Mínimo	Mediana	Máximo
OBS	45	1	1	14	3.090	4.952	78.172	3.090	7.236	104.816
DGA	27	1	1	15	3.045	4.837	22.580	3.045	10.511	97.770
VRES	29	1	2	44	4.053	4.605	33.340	4.053	10.676	822.981

¹OBS: Periodo histórico registrado de eventos de turbiedad. DGA: Eventos de turbiedad simulados en base a registros históricos DGA. VRES: Eventos de turbiedad simulados en base al modelo atmosférico VRES y el modelo VIC.

4.3. ESCENARIOS FUTUROS

4.3.1. CLIMA

En primer lugar, se analizó el cambio en las variables meteorológicas de temperatura y precipitación para dos periodos futuros: uno cercano, correspondiente a los años 2030-2059, y un período futuro lejano, correspondiente a los años 2070-2099. Para esto, se aplicó un proceso de corrección de sesgo sobre los datos históricos que ya fue explicado anteriormente, para luego corregir los datos futuros de tal forma que posean la misma varianza y diferencia con respecto a los datos históricos originales.

Al comparar el periodo histórico (1986-2015) con el futuro (2070-2099) bajo escenario de Cambio Climático RCP 8.5 (Figura 10), se observa para la cuenca Maipo Alto un aumento en las temperaturas máxima (+4,8 °C) y mínima (+4,9 °C) y una disminución leve de la precipitación (-0,6 mm). Considerando que estas dos variables influyen considerablemente el patrón de caudales y de turbiedad, estos resultados apuntan en la dirección de que el cambio climático puede afectar de manera importante los eventos de turbiedad.

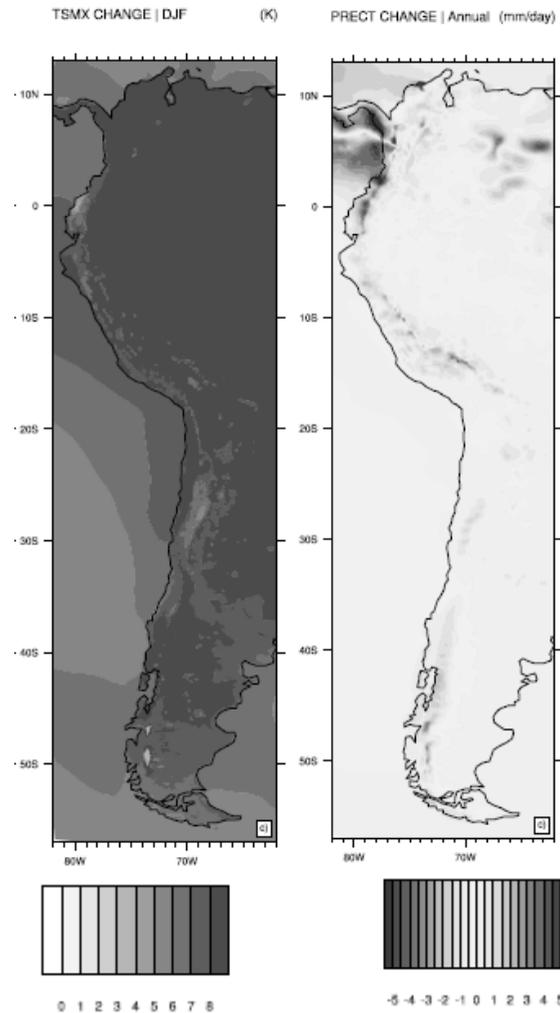


Figura 10: Cambios en la temperatura (K) promedio máxima diaria (izq) y cambios en la precipitación (mm/día) anual promedio (der) entre los periodos histórico (1985 – 2015) y futuro (2070 – 2100).

4.3.2. HIDROLOGÍA

Respecto de la hidrología, se observa una disminución acentuada en la escorrentía promedio estival (-44,4 m³/s) acompañada de un aumento del caudal invernal

(+16,4 m³/s), que no alcanza para compensar, provocando una disminución en la escorrentía promedio total anual de -19% equivalente a -22,3 m³/s (Figura 11).

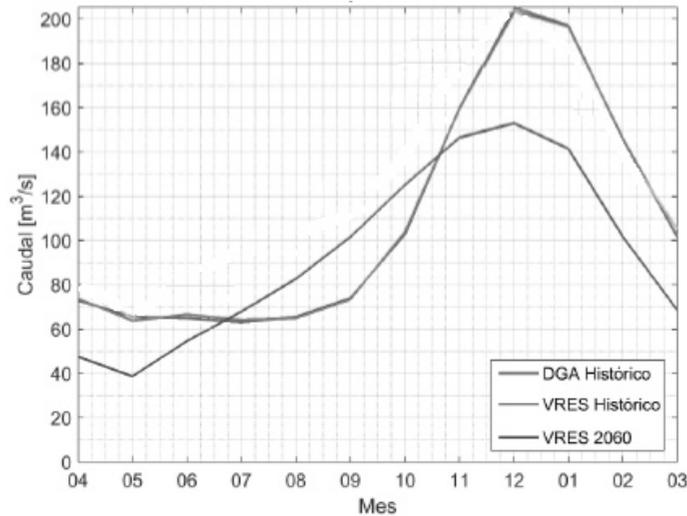


Figura 11: Curvas de Variación Estacional para el río Maipo en El Manzano, periodo histórico (1985 – 2015) y futuro (2070 – 2100) con forzantes VRES

4.3.3. TURBIEDAD

Se simularon las series de turbiedad futuras en base a las forzantes meteorológicas (VRES-Andes), como también los caudales obtenidos a partir de estas mismas (VIC). Es preciso recalcar que todas estas series poseen una remoción de sesgo mediante los procedimientos señalados en los puntos anteriores.

Se analizaron las propiedades esperadas para los eventos de turbiedad futuros. Respecto de la actualidad, se esperarían incrementos en el número de eventos, en la duración máxima y magnitud media asociada y aparentes reducciones en las intensidades máximas de los mismos.

Tabla 2: Resultados para turbiedad para periodos históricos y futuro

Registro / Forzantes	Eventos turbiedad	Duración [días]			Intensidad Máxima [NTU]			Magnitud [NTUxdía]		
		Mínimo	Mediana	Máximo	Mínimo	Mediana	Máximo	Mínimo	Mediana	Máximo
VRES Histórico ¹	31	1	2	44	3.035	4.981	78.172	3.007	7.236	822.981
VRES 2070 ²	100	1	2	82	3.010	4.122	24.008	3.010	10.400	675.095

¹VRES Histórico: Eventos simulados en base a modelos atmosférico VRES e hidrológico VIC, años 1986-2015.

²VRES 2070: Eventos simulados en base a los modelos atmosférico VRES e hidrológico VIC, años 2070-2099.

5. CONCLUSIONES

A través de estudios anteriores se ha podido comprobar que el fenómeno de la alta turbiedad si bien tiene ciertas relaciones con variables hidrometeorológicas usuales, tales relaciones no son lineales ni tampoco estrictas, lo que dificulta enormemente su predicción.

No es de extrañar entonces que en ambos casos presentados en este documento se hayan incorporado redes neuronales como aproximación para predecir turbiedades en función de pronósticos meteorológicos y simulaciones climáticas.

Además de lo anterior, ambos enfoques deben asumir las incertezas previas de los modelos hidrometeorológicos que les sirven de forzantes para la predicción de la turbiedad, lo que implica mermas adicionales en sus desempeños predictivos.

No obstante, ambas metodologías se consideran promisorias alternativas para abordar el desafío de intentar predecir el comportamiento del fenómeno de la turbiedad, tanto en el corto como en el largo plazo, las cuales es necesario seguir evaluando y desarrollando.

REFERENCIAS:

- Estudio del fenómeno de turbiedad en el río Maipo, DICTUC S.A., 2018
- Modelo de Pronóstico Operacional de la Turbidez en el Río Maipo en Toma Independiente, Modelación Ambiental SpA, 2018
- Evaluación de escenarios futuros asociados al fenómeno de turbiedad en río Maipo, DICTUC S.A., 2018

INCLUSIÓN DE ELEMENTOS ECONÓMICOS EN EL DISEÑO DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN A LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE SANTIAGO

Sebastián Vicuña ¹, Iñigo Ricalde ², Rafael Undurraga ³, Oscar Melo ⁴,
James Tomlinson ⁵, Julien Harou ⁶ y Greg Characklis ⁷.

RESUMEN

El suministro de agua potable para la ciudad de Santiago se ha visto afectado recientemente por eventos climáticos tanto de tipo abrupto (altos niveles de turbiedad) como paulatino (sequía). De acuerdo con los escenarios de cambio climático este tipo de eventos puede volverse más frecuente en el futuro, por lo que es necesario implementar medidas de adaptación. En este trabajo se estudian medidas de adaptación a nivel estructural (construcción de infraestructura) como también asociados a mecanismos financieros de compensación o compra permanente o temporal de derechos de agua que permitan asegurar el servicio de suministro de agua potable. Este objetivo de suministro de agua potable debe ser contrastado con otros objetivos como, por ejemplo, el costo económico asociado a la implementación de las medidas de adaptación. Como conclusión se desprende que hay un compromiso entre estos dos objetivos. Este compromiso es relevante, considerando la incertidumbre asociada a los escenarios de cambio climático y la posibilidad de llevar a cabo inversiones en infraestructura que no sean necesarias en algunos de los posibles escenarios futuros. Incorporar medidas de adaptación flexibles basadas en instrumentos económicos y financieros puede ser una opción de costo efectiva para hacer frente a los impactos del cambio climático.

¹ Ingeniero Civil Ambiental de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental UC, Director del Centro de Cambio Global UC, svicuna@ing.puc.cl

² Ingeniero Industrial Hidráulico de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental UC, igricalde@uc.cl

³ Ingeniero Industrial Hidráulico de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental UC, rundurraga1@uc.cl

⁴ Ingeniero Agrónomo, MSc. y PhD. Economía Agrícola y de Recursos Naturales
Profesor Asociado, Departamento de Economía Agraria, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal UC, Consejero académico del Centro de Cambio Global UC, omelo@uc.cl

⁵ Alumno Doctorado, University of Manchester, james.tomlinson@manchester.ac.uk

⁶ Professor of Water Management, Chair of Water Engineering, University of Manchester, julien.harou@manchester.ac.uk

⁷ Singer Distinguished Professor in the Department of Environmental Sciences and Engineering at the University of North Carolina, charack@email.unc.edu

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los impactos del cambio climático son un desafío importante para los proveedores de agua potable en todo el mundo. Hacer frente a un clima no estacionario podría requerir ajustes en las regulaciones, así como nuevas inversiones para garantizar niveles adecuados de servicio. La decisión de cuánta inversión es apropiada es una pregunta clave, equilibrando el potencial de activos varados de alto arrepentimiento y

las consecuencias de no satisfacer las demandas de agua. La ciudad de Santiago de Chile, ha experimentado recientes eventos climáticos que han puesto en peligro el servicio de suministro de agua, lo que podría empeorar en el futuro. Este trabajo presenta un análisis de las medidas de adaptación para hacer frente a estos impactos, incluidas las opciones estructurales y financieras.

2. METODOLOGÍA

Se desarrolló una metodología para realizar los análisis frente a amenaza de sequía y otra para los eventos de turbiedad.

2.1. METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS FRENTE A AMENAZA DE SEQUÍA

En base a trabajos anteriores (Vicuña et al., 2018; Chadwick et al., 2019) se generaron escenarios de cambio climático respecto del suministro de agua potable, tomando los recursos de la parte alta de la cuenca del Río Maipo. Algunos de estos escenarios muestran impactos en términos de la continuidad en la provisión del servicio. Para hacer frente a estos impactos se establecieron las siguientes medidas de adaptación:

- Nuevo embalse: usando datos históricos de estudios de factibilidad de diferentes embalses en Chile (información entregada por DOH), se ajustó una curva de costo por volumen. Esto permitió calcular en valor presente la construcción hipotética de un embalse en la zona de la confluencia de los ríos Maipo y Volcán.
- Compra de acciones del Río Maipo: a partir de las transferencias históricas de la primera sección del Río Maipo (información entregada por SISS) y la media móvil de 10 años del rendimiento por acción ($m^3/s/acción$). Se proyecta el precio por acción ante diferentes escenarios. Esto emula la constante compra de acciones a los regantes.

- Contrato de opciones de agua: esta medida propone contratos entre los regantes y la empresa sanitaria que establecen transferencias de acciones del Río si se cumplen ciertas condiciones en el sistema. Cada 5 años (revisión de planes de desarrollo) se establece una cantidad de acciones a transferir tanto para las temporadas de invierno como verano; al mismo tiempo se indica el gatillo del contrato, en este caso, el volumen de agua en el Embalse El Yeso. En caso de superarse este umbral, las acciones se traspasan temporalmente durante la temporada. Para estimar el precio que supondría el contrato, se considera el beneficio marginal (agricultura e hidroelectricidad) perdido por volumen de agua en el contrato de opciones.

Todas estas medidas se combinan en portafolios, configurando un conjunto de alternativas con diferentes características. Para evaluar la manera en que estos portafolios afectan al sistema, se desarrolla un modelo PYWR (Python Water Resources) que simula el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua potable en la parte alta de la cuenca del Río Maipo, según diferentes escenarios de cambio climático. Los resultados de las medidas de adaptación se comparan mediante un algoritmo evolucionario multiobjetivo (MOEA). En este, a medida que se evalúan los portafolios para cada escenario, se van clasificando entre dominado y no dominado según 6 objetivos de optimización.

2.2. METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS FRENTE A AMENAZA DE EVENTOS DE TURBIEDAD

En el caso de la interrupción temporal del servicio ocasionada por eventos de alta turbiedad se determina primero cuál es el costo asociado a estos cortes. Este costo se determina por disposición a aceptar compensación por cortes ante interrupciones imprevistas de la producción de agua potable. Se utiliza el método de elección discreta *choice experiment*. Se encuestó un total de 539 hogares situados en diferentes comunas de la ciudad de Santiago, dentro de los cuales 387 se encuentran en la zona de corte de los tres últimos grandes eventos de corte masivo (abril 2016, 2017 y febrero 2017), 122 en zona de un corte (febrero 2017) y finalmente, 30 fuera de la zona de corte. El ejercicio de *choice experiment* consistió en presentarle a cada hogar seis escenarios de elección con tres alternativas cada uno. Las dos primeras alternativas consistían en contratos renovables cada tres años con la empresa donde esta le aseguraba una cierta cantidad de cortes con una duración determinada a cambio de una rebaja mensual en la boleta de agua por los siguientes tres años. Mientras que la tercera alternativa correspondía a la situación actual promedio de la ciudad con un corte de 24 horas en tres años sin compensación alguna por parte de la empresa. En la Figura 2 se presenta un ejemplo de escenarios de elección entre los contratos de las alternativas A y B y la situación actual de la alternativa C.

Los atributos del ejercicio eran frecuencia, duración y compensación, donde cada uno tenía tres niveles que se combinaban según un diseño experimental ortogonal. El diseño permitía que a cada encuestado se le

presentaran seis escenarios con diferentes combinaciones de niveles para cada alternativa minimizando la correlación entre estos. Luego se utilizó el modelo econométrico *mixed logit model* para estimar los coeficientes de preferencia para cada uno de los atributos. La disposición a aceptar compensación por una hora de corte se determina a partir de la razón entre el coeficiente de duración y el negativo de compensación; esta representa la tasa de sustitución marginal entre ambos atributos.

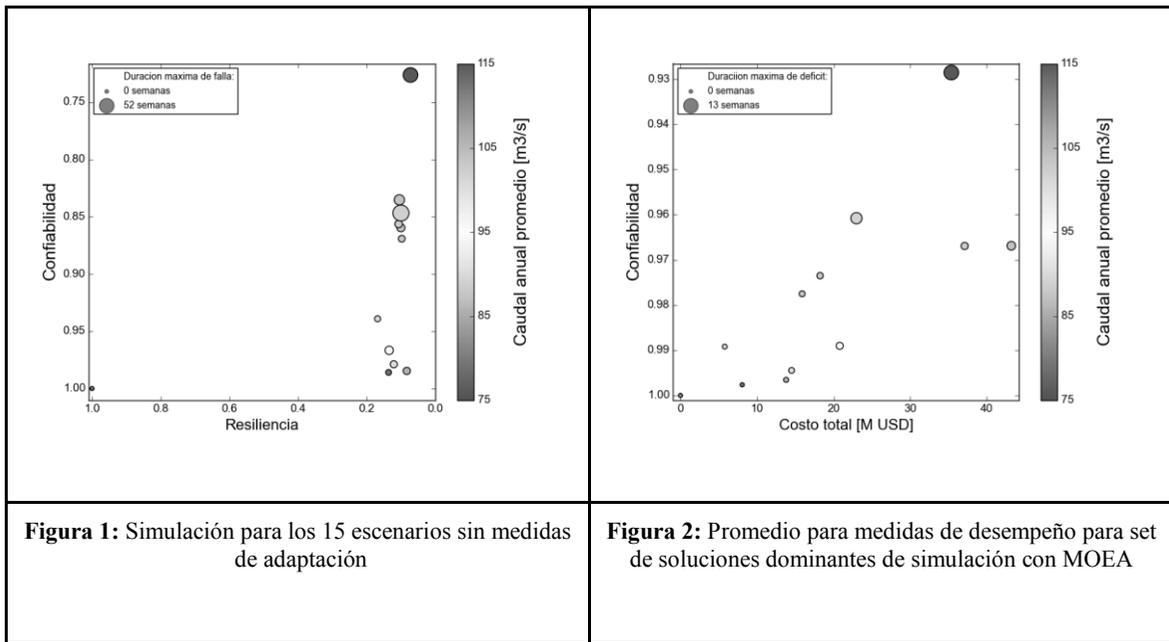
Finalmente, se comparó el costo de inversión de alternativas de infraestructura para aumentar la autonomía del sistema con la compensación por cortes a los usuarios para diferentes escenarios de amenaza. El costo total de compensación depende del costo por de compensar por una hora-corte determinado a partir de la disposición a aceptar la compensación calculada anteriormente. También del número de hogares a compensar y la duración efectiva del corte, entendida como la duración total del evento de amenaza menos la autonomía de almacenamiento en ese instante. Se simuló eventos de amenaza con diferente duración y frecuencia durante la vida útil de las alternativas de infraestructura, calculando el costo de compensar a los hogares para cada uno de los eventos. Luego, se determinó el valor presente (VAN) de los flujos futuros de compensación, comparando el costo de las alternativas de infraestructura con el costo de compensar a los usuarios para diferentes escenarios de amenaza.

3. RESULTADOS

3.1. RESULTADOS EN EL CASO DE SEQUÍAS

En la Figura 1, se muestran la simulación de los 15 escenarios de cambio climático en caso de que no se realice ninguna medida de adaptación para 3 medidas de desempeño: resiliencia, confiabilidad y máxima duración de falla. Se puede ver que en 11 de los 15 escenarios se presentarían casos de falla, ligados a caudales promedios más bajos, evidenciando la

importancia de un proceso de adaptación a largo plazo que evite consecuencias graves. En segundo lugar, se utiliza el MOEA para encontrar el set de soluciones dominantes. En la Figura 2, se muestran los resultados del promedio entre todo el set de portafolios para 3 medidas de desempeño: costo total, confiabilidad y máxima duración de falla. Se puede ver, en comparación a la Figura 1, cómo mejoran las medidas de confiabilidad y máxima duración de falla.



La implementación de distintas medidas de adaptación depende del escenario climático y el objetivo buscado. A modo de ejemplo se presenta en la Figura 3 una

distribución de la implementación de medidas de adaptación para tres escenarios climáticos posibles.

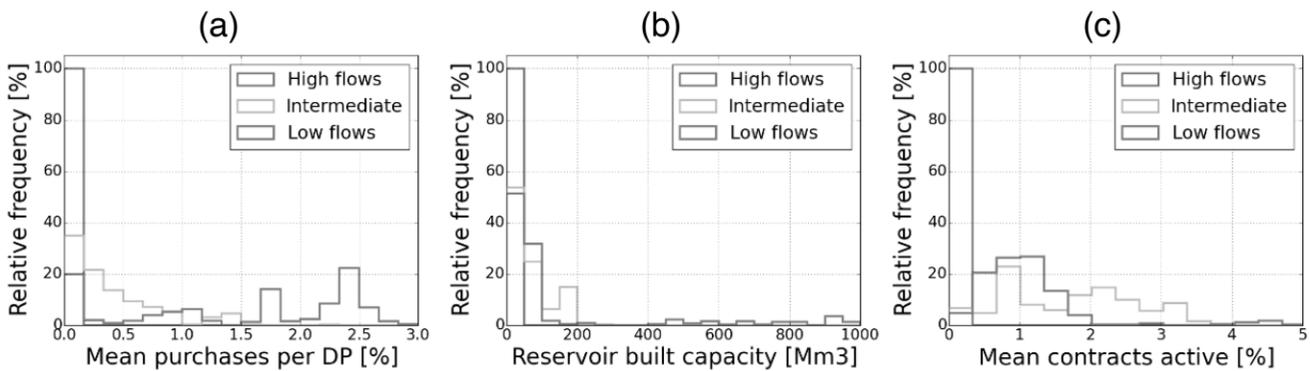


Figura 3: Distribución de la implementación de medidas de adaptación en función de escenarios hidrológicos

3.2. RESULTADOS EN EL CASO DE EVENTOS DE ALTA TURBIEDAD

Los resultados de la estimación de disposición a aceptar compensación presentan diferencias en función de la experiencia de cortes de los encuestados. Mientras mayor es el número de cortes experimentado por un hogar, menor es el monto que están dispuestos a aceptar como compensación por hora de corte. Si se considera el resultado promedio de toda la muestra, la disposición a aceptar compensación para cada hogar es de aproximadamente 0,58 USD/hora de corte. Este resultado se encuentra en los rangos esperados según la literatura (MacDonald et al., 2010; Molinos-Senante & Sala-Garrido, 2017; OFWAT, 2019).

Luego, se buscó comparar los costos de compensar a los usuarios con el de las alternativas de infraestructura propuesta por la empresa Aguas Andinas para alcanzar una autonomía de 48 horas frente a eventos de alta turbiedad en el río Maipo. Cabe mencionar que esta empresa terminaría de construir a fines del año 2019 las obras del Estanque Pirque que le permitirán al sistema pasar de una autonomía actual de 11 horas a una total de 34 horas. Con lo cual las obras alternativas

Se observa a partir de la Figura 4 que, para duraciones menores a 8 horas efectivas, los costos de compensación son menores que la inversión de las alternativas de infraestructura para todas las frecuencias consideradas. A modo de referencia, la inversión de las alternativas de infraestructura I1, I2, I3 e I4 equivalen en valor presente al costo de compensar a los 1,5 MM de hogares para eventos anuales de duración efectiva de

otorgarían 14 horas de autonomía adicional para cumplir con la meta recomendada de la SISS de 48 horas. Las cuatro alternativas de obras I1, I2, I3 e I4 tienen una inversión estimada de 115, 238, 410 y 500 MM USD respectivamente. Para efectos de comparación entre infraestructura y compensación se supone que se compensa a 1,5 MM de hogares para cada hora de corte con un costo de 0,58 USD/hora de corte/hogar.

A continuación, se presenta la comparación entre los costos de infraestructura y compensación para escenarios de amenaza con diferentes frecuencias y duraciones efectivas. Por ejemplo, un círculo rojo situado en 8 horas de duración efectiva de corte corresponde al VAN de costos de un evento de 8 horas con frecuencia anual (una vez al año) por los próximos 50 años (vida útil de las alternativas de infraestructura). Los resultados se presentan en la Figura 4, donde las alternativas de infraestructura se representan mediante los rombos amarillos situados en 14 horas efectivas dado que es la autonomía extra que otorgan.

8, 17, 30 y 36 horas respectivamente. Con respecto a los eventos de duración efectiva de 14 horas, se observa que la inversión de la infraestructura I1 es menor únicamente para la frecuencia anual, mientras que es superior para las otras frecuencias consideradas. Finalmente, para eventos de duración mayor a 14 horas el costo de compensación supera incluso la alternativa I2 para eventos de 23 horas efectivas con frecuencia anual.

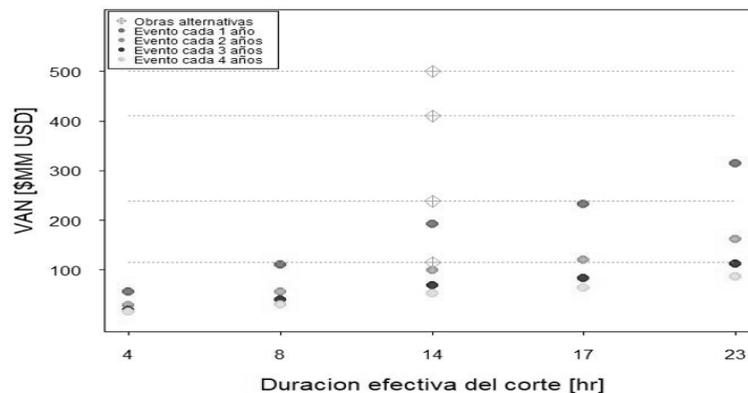


Figura 4: Comparación costo infraestructura y compensación. Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

El trabajo presentado da cuenta de la posibilidad de implementar medidas de adaptación basadas en instrumentos económicos y financieros como una alternativa a la implementación de medidas basada en diseño de infraestructura para hacer frente a los desafíos del cambio climático en la provisión de agua potable para la ciudad de Santiago. Se puede concluir del análisis que:

- El costo de la adaptación es una función de la gravedad del escenario climático. De la misma manera, el escenario climático implica la

cartera de opciones de adaptación a implementar.

- Existen escenarios que, sin medidas de adaptación, no tendrían fallas, lo que significa que existe el riesgo de inversiones innecesarias.
- Las medidas financieras flexibles, como el contrato de opciones de arrendamiento o el contrato de servicio interrumpible, son alternativas rentables que se pueden combinar con soluciones "tradicionales" para manejar la incertidumbre del cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

- Chadwick, C., Gironás, J., Vicuña, S., & Meza, F. (2019). Estimating the Local Time of Emergence of Climatic Variables Using an Unbiased Mapping of GCMs: An Application in Semiarid and Mediterranean Chile. *Journal of Hydrometeorology*, 20(8), 1635-1647.
- MacDonald, D. H., Morrison, M. D., & Barnes, M. B. (2010). Willingness to pay and willingness to accept compensation for changes in urban water customer service standards. *Water resources management*, 24(12), 3145-3158.
- Molinos-Senante, M., & Sala-Garrido, R. (2017). How much should customers be compensated for interruptions in the drinking water supply? *Science of the Total Environment*, 586, 642-649
- OFWAT, (2019). Standards of Service in England and Wales. Available from: <http://www.ofwat.gov.uk/households/supply-and-standards/standards-of-service>.
- Vicuña, S., Gil, M., Melo, O., Donoso, G., & Merino, P. (2018). Water option contracts for climate change adaptation in Santiago, Chile. *Water international*, 43(2), 237-256.

INFLUENCIA DE LAS EMISIONES AL AIRE DEL HEMISFERIO SUR EN LAS CONCENTRACIONES Y DEPOSICIÓN DE CARBÓN NEGRO EN LA ANTÁRTICA

Ernesto Pino-Cortés¹ y Luis A. Díaz-Robles²

Resumen

El carbón negro es capaz de absorber millones de veces más energía que el dióxido de carbono, por lo que es considerado el componente del material particulado atmosférico que, con mayor intensidad, absorbe la luz dentro de los compuestos presentes en la atmósfera.

Las variables de mayor relevancia en su estudio están relacionadas con el efecto de cambio climático que puede generar su presencia, tanto en la atmósfera como en su deposición en la nieve, ya que absorbe energía e incrementa las probabilidades de cambio de estado del agua. Este estudio generó evidencias de efecto de las emisiones antropogénicas y de incendios forestales de los países del hemisferio Sur en las concentraciones del carbón negro en la Antártica mediante la modelación y simulación hemisférica en CMAQ. Para ello se realizó una simulación meteorológica en WRF para los 6 primeros meses del año 2014 para posteriormente generar el inventario de emisiones usando el modelo SMOKE, que se alimentó de bases de datos globales como EDGAR y GFASv1.3. Finalmente, mediante el uso de CMAQ, se obtuvo la modelación de carbón negro en un dominio hemisférico centrado en la antártica. Específicamente el Territorio Antártico Chileno se alcanzó un peak de 10 ng/m³ de este contaminante en el mes de abril. En esta misma fecha se ocupó el modelo HYSPLIT para verificar la trayectoria pasada de los vientos hasta este punto, encontrándose una procedencia del sur Chile y Argentina. De forma similar, se propuso un escenario futuro al año 2050, aumentando las emisiones desde incendios forestales en un 5 % y reduciendo las de fuente antropogénicas en un 7%, encontrándose un aumento promedio de un 75 % en los valores de concentración en el aire para la misma zona, lo cual reflejó el efecto de las emisiones de este contaminante. Las diferencias encontradas entre los resultados de modelación y de satélite, se atribuyen a que no se consideraron las emisiones locales en el Territorio Antártico Chileno, lo cual debe ser estudiado y evaluado en futuro para corroborar ese argumento.

¹ Ingeniero Civil Químico de la Universidad de Santiago de Chile. Académico de la Escuela de Ingeniería Química, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Av. Brasil 2162, Valparaíso. Teléfono: 56 32 2372609. E-mail: ernesto.pino@pucv.cl

² Ingeniero Civil Químico de la Universidad de Santiago de Chile. Académico del Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Santiago de Chile. Av. Libertador Bernardo O'Higgins 3363, Estación Central.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es uno de los problemas que enfrenta la Humanidad en la actualidad. Mayores emisiones de compuestos al aire, debidas a las reacciones químicas ocurridas de fuentes naturales y antropogénicas, han ocasionado que se generen episodios de contaminación, afectando el entorno y el ecosistema natural del planeta. Una de las sustancias que ha sido estudiada es el carbón negro (BC), que se origina a partir de la combustión de biomasa y combustibles fósiles. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de EEUU. define al carbón negro (BC) como un componente carbonáceo del material particulado que absorbe toda la longitud de onda de la radiación solar, de ahí el término denominado como negro. La naturaleza de su contenido es capaz de absorber la luz en un diverso espectro de longitudes de onda, lo cual ha llamado la atención sobre este compuesto, siendo investigado tanto a nivel local, regional, continental e incluso global para determinar el efecto provocado en la atmósfera. La simbiosis de datos reales obtenidos en estaciones de monitoreo y los resultados desarrollados por modelos computacionales de simulación, han ayudado a determinar aproximaciones a gran escala de variaciones en parámetros climatológicos, tanto en el pasado como en el futuro.

OBJETIVOS

El objetivo principal de esta investigación fue realizar un Estudio de las emisiones antropogénicas y de incendios forestales de los países del hemisferio Sur y evaluar su efecto en las concentraciones del carbón

Estudios han encontrado los efectos de BC en el Ártico y otras regiones nevadas como las montañas del Himalaya y glaciares de América del Norte y Asia. Estos últimos han reportado un incremento de derretimiento desde la década de 1970, acompañado de una tendencia de calentamiento de 0,25 °C por década. En el territorio antártico se han estudiado concentraciones de carbón negro teniendo promedios anuales de carbón negro de alrededor de 8,3 ng/m³ para los años 1993, 1997 y 1998. Este registro fue consistente con resultados de estudios realizados por Penner y otros investigadores, en los cuales se asumió que la mayor fuente de emisión de BC corresponde a los incendios de biomasa producidos en el hemisferio Sur, especialmente en los países de Brasil, Australia, Indonesia y África, debido a que hubo un incremento de las concentraciones registradas a la par de estos incidentes. Otros estudios mostraron un comportamiento similar en otras zonas de medición durante fechas similares. Cabe destacar que las regiones de América del Sur, África, Australia y Oceanía, los cuales geográficamente rodean la Antártica, son severamente afectados, por múltiples incendios todos los años; sin embargo, no se ha obtenido un aporte global de carbón negro de todas las fuentes de emisiones y de los países involucrados, en las concentraciones de este contaminante en la Antártica.

negro en la Antártica. La búsqueda de evidencias fue hecha por medio de la modelación de calidad del aire, en las concentraciones de este contaminante, específicamente en el Territorio Antártico Chileno.

METODOLOGÍA

En la Figura 1, se muestra el esquema resumido de la metodología de este Estudio.

Inicialmente, se generó un dominio hemisférico de simulación con proyección en coordenadas polares y centrado en la Antártica, que abarcó en su mayoría a los países más cercanos al continente blanco, lo cual fue realizado en la etapa de simulación meteorológica. En este apartado se compararon datos satelitales de 12 localizaciones en diferentes puntos del dominio durante los primeros 6 meses del año 2014, que fue elegido como escenario base. Posteriormente se realizó la obtención de archivos de inventarios de emisiones usando el modelo SMOKE, alimentado con la información de la base de datos de EDGAR, para las

emisiones antropogénicas globales, y con los registros de la base de datos de GFASv1.3, para las emisiones generadas en los incendios forestales. Se compararon 2 estudios de inventarios de emisiones en Chile para corroborar la certeza de la base de datos usada para fuentes antropogénicas. Al mismo tiempo, se obtuvo un inventario de emisiones proyectado al año 2050, considerando una disminución de un 7 % con respecto al año base para todas las fuentes antropogénicas y un aumento de un 5 % en las emisiones desde incendios forestales, según el escenario RCP6.0. Finalmente, se realizó una modelación de carbón negro en la atmósfera entre los meses de enero y junio de 2014, y para el mismo periodo durante el escenario futuro del año 2050.

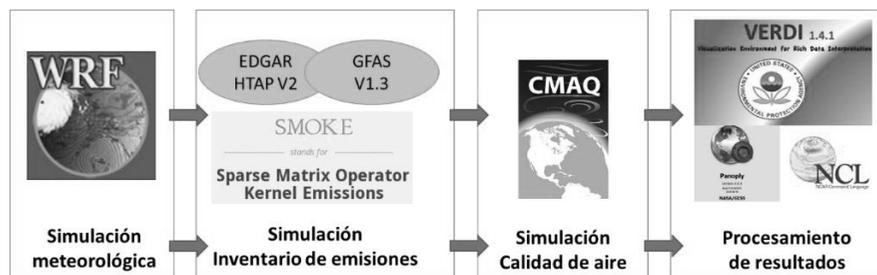


Figura 1. Etapas realizadas para obtención de resultados.

RESULTADOS

El inventario de emisiones de carbón negro para el año 2014 mostró que las grandes urbes de Sudamérica como Río de Janeiro, Sao Paulo y Santiago de Chile, las ciudades con mayor aporte, en conjunto con ciudades del Sur de África como Pretoria y Johannesburgo. Para el caso de emisiones desde incendios forestales, estos fueron 10 veces superiores con respecto a las emisiones antropogénicas, ubicándose los focos de mayor aporte en Australia, según se muestra en la Figura 2. Cabe destacar que

este tipo de fuente es variable a lo largo del año, lo cual significa que el resultado mostrado es una acumulación del año.

En la modelación realizado en CMAQ; se obtuvieron 2 peaks relevantes de concentraciones de carbón negro, registrándose en abril y junio, respectivamente. El valor máximo simulado fue de 10 ng/m³ para la celda de análisis en el Territorio Antártico Chileno reflejado en la Figura 3.

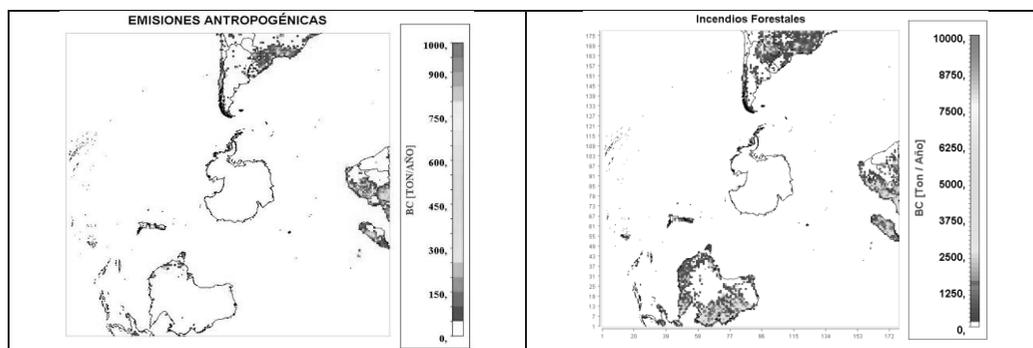


Figura 2. Representación de emisiones anuales de carbón negro desde fuentes antropogénicas y de incendios forestales en el 2014.

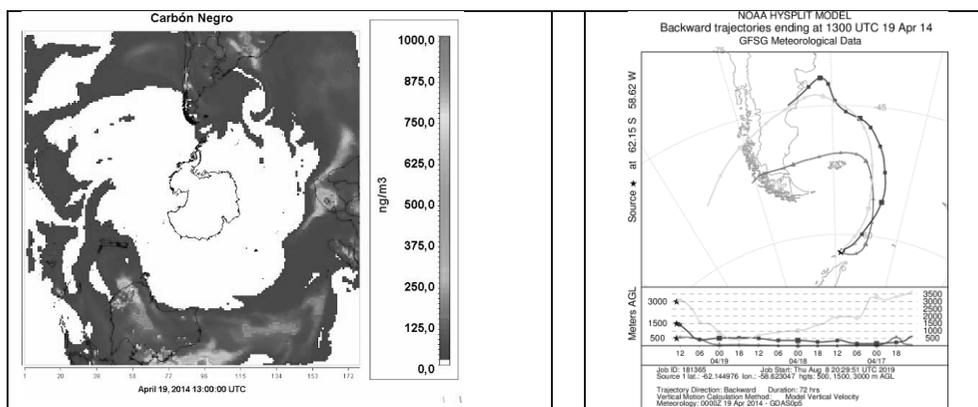


Figura 3. Representación de modelación de Carbón negro obtenida en CMAQ (izquierda) y simulación en HYSPLIT (derecha) para la misma fecha.

Los datos simulados fueron comparados con registros satelitales obtenidos desde MERRA2, lo cual arrojó que los resultados obtenidos para esa zona en cuanto a registros promedio mensuales eran 100 veces inferiores. Esta diferencia se estima que pudo haber sido originada porque no se tuvieron en cuenta las emisiones locales en el Territorio Antártico Chileno, donde existen alrededor de 21 bases de diferentes países con actividad permanente, que presentan procesos de combustión tales como transporte, generación de electricidad y calefacción. Pese a esto, se estima que las emisiones habituales de la zona

central de Chile y de la costa atlántica pueden haber influenciado en el incremento de las concentraciones de carbón negro registrado en la Antártica, lo cual fue verificado con el modelo de trayectoria HYSPLIT y que se muestra anteriormente en la Figura 3.

La proyección de las emisiones al aire para el año 2050 generó un incremento en las concentraciones de carbón negro en la Antártica, siendo en promedio del orden de un 75 %. De esta manera, se apreció con mayor énfasis, el efecto que generan las emisiones al aire desde los países más cercanos al Territorio Antártico Chileno.

CONCLUSIONES

La modelación de carbón negro a nivel hemisférico debe continuar investigándose para mejorar y entender con alcances reales, el efecto de este contaminante en zonas de peligro futuro de extinción, como la Antártica o los glaciares por el efecto del agravamiento del cambio climático. Este estudio registró evidencias de transporte de largo alcance de BC en el hemisferio Sur. La trayectoria del viento

sugirió que hubo una influencia de las emisiones desde Sudamérica en general hacia el Territorio Antártico Chileno. Al realizar una proyección de las emisiones al aire para el año 2050, se obtuvo un efecto en las concentraciones de carbón negro en la Antártica, lo cual reflejó aún más el impacto del transporte de BC en la atmósfera.

REFERENCIAS

- Petzold, A. *et al.* Recommendations for reporting black carbon measurements. *Atmos. Chem. Phys.* **13**, 8365–8379 (2013).
- Sasser, E. *et al.* Report to congress on black carbon. (2012).
- Srivastava, A. K., Singh, S., Pant, P. & Dumka, U. C. Characteristics of black carbon over Delhi and Manora Peak—a comparative study. *Atmos. Sci. Lett.* **13**, 223–230 (2012).
- Lyamani, H., Olmo, F. J., Foyo, I. & Alados-Arboledas, L. Black carbon aerosols over an urban area in south-eastern Spain: Changes detected after the 2008 economic crisis. *Atmos. Environ.* **45**, 6423–6432 (2011).
- Gertler, C. G., Puppala, S. P., Panday, A., Stumm, D. & Shea, J. Black carbon and the Himalayan cryosphere: A review. *Atmos. Environ.* **125**, 404–417 (2016).
- Briggs, N. L. & Long, C. M. Critical review of black carbon and elemental carbon source apportionment in Europe and the United States. *Atmos. Environ.* **144**, 409–427 (2016).
- Ramanathan, V. & Carmichael, G. Global and regional climate changes due to black carbon. *Nat. Geosci.* **1**, 221 (2008).
- Novakov, T. *et al.* Large historical changes of fossil-fuel black carbon aerosols. *Geophys. Res. Lett.* **30**, (2003).
- Bond, T. C. *et al.* Historical emissions of black and organic carbon aerosol from energy-related combustion, 1850-2000. *Global Biogeochem. Cycles* **21**, n/a-n/a (2007).
- Wang, R. *et al.* Trend in Global Black Carbon Emissions from 1960 to 2007. *Environ. Sci. Technol.* **48**, 6780–6787 (2014).
- Bauer, S. E. *et al.* Historical and future black carbon deposition on the three ice caps: Ice core measurements and model simulations from 1850 to 2100. *J. Geophys. Res. Atmos.* **118**, 7948–7961 (2013).
- Winther, M. *et al.* Emission inventories for ships in the arctic based on satellite sampled AIS data. *Atmos. Environ.* **91**, 1–14 (2014).
- Cheng, M. D. Geolocating Russian sources for Arctic black carbon. *Atmos. Environ.* **92**, 398–410 (2014).
- Lund, M. T., Berntsen, T. K., Heyes, C., Klimont, Z. & Samset, B. H. Global and regional climate impacts of black carbon and co-emitted species from the on-road diesel sector. *Atmos. Environ.* **98**, 50–58 (2014).
- Pereira, E. B., Evangelista, H., Pereira, K. C. D., Cavalcanti, I. F. A. & Setzer, A. W. Apportionment of black carbon in the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula. *J. Geophys. Res. Atmos.* **111**, 1–14 (2006).

16. Penner, J. E., Eddleman, H. & Novakov, T. Towards the development of a global inventory for black carbon emissions. *Atmos. Environ. Part A. Gen. Top.* **27**, 1277–1295 (1993).
17. Hansen, A. D. A., Lowenthal, D. H., Chow, J. C. & Watson, J. G. Black carbon aerosol at McMurdo Station, Antarctica. *J. Air Waste Manag. Assoc.* **51**, 593–600 (2001).
18. Keramidas, K. *et al.* *Global Energy and Climate Outlook 2018: Sectoral mitigation options towards a low-emissions economy.* (2018). doi:10.2760/67475
19. van Vuuren, D. P. *et al.* Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Clim. Change* **81**, 119–159 (2007).
-

UNSTRUCTURED ROAD SEGMENTATION: A COMPARATIVE STUDY

Fernando Bernuy¹, Javier Ruiz-del-Solar²

Abstract

The robust detection of unstructured roads is a relevant problem in autonomous vehicles applications. Most of the reported unstructured road detection approaches are based on an adaptive visual segmentation of the images, using a Bayesian framework fed with color and/or texture features. The main goal of this paper is to carry out a comparative study of various segmentation algorithms, using different kinds of color, texture, and joint color-texture features, and different region-wise approaches for the analysis of the images. Altogether, 39 combinations of color and/or texture features are used. In addition, two different region-wise segmentation methods are compared with the standard pixel-wise approach. The main results of this study are that: (i) the joint use of color and texture features improves the segmentation results, (ii) best performance is obtained when using HSV+Gabor features, (iii) the second best performance is achieved by HSV+LBP features but using a fifth of the processing time of HSV+Gabor, and (iv) the region-wise segmentation of the images using the Ground-Grid method improves the performance of the segmentation process.

Keywords: unstructured road segmentation, autonomous navigation, color-texture features, image segmentation

¹ Electrical Engineer and PhD in Electrical Engineering from the University of Chile. Department of Electrical Engineering, Universidad de Chile, Av. Tupper 2007, Santiago, Chile.

² Electrical Engineer of the Federico Santa Maria Technical University. Department of Electrical Engineering, Universidad de Chile. Advanced Mining Technology Center, Universidad de Chile, Av. Tupper 2007, Santiago, Chile

1. INTRODUCTION

Road detection is a fundamental component of intelligent vehicles and Advanced Driver Assistance System (ADAS). The road detection problem can be classified according to the shape/morphology of the road into structured road detection and unstructured road detection. A structured road is paved, has visible lane markings, a regular structure, and hard borders. Structured roads can be found in urban areas and highways. Unstructured roads on the other hand, are unpaved and made of the native material of the soil, have an irregular structure, no lane marking, and fuzzy borders. Several approaches have been proposed to address the structured road detection problem, achieving very good results [1][2][3][4][5][6][7]. Even though several works have addressed the unstructured problem [8][9][10][11][12][13][14][15][16][17][18], this is still an open problem because of the variability of the roads due to different soils, irregular shapes, and weather conditions.

Most of the reported unstructured road detection approaches are based on the visual segmentation of the road. The typical framework is based on the use of color and/or texture features together with a statistical classifier that classifies pixels as belonging to the road or non-road classes. In addition, most of the approaches implement an adaptive model of the road class using a Bayesian framework (e.g. [8],[13]), in order to deal with the large changes of the pixel's intensities, produced mainly by large variations in the outdoor illumination.

In this context, the aim of this paper is to carry out a comparative study of vision-based, unstructured road segmentation algorithms, using an adaptive Bayesian framework. The different algorithms use different kinds of features -- color-based, texture-based and joint color-texture features, and different region-wise methods for the segmentation of images. Altogether, the use of seven different color spaces and four texture analysis methods are analyzed, together with their combinations (28). In addition, two different region-wise segmentation methods (*ground-grid* and *superpixels*) are compared with a pixel-wise approach.

The algorithms are compared using two real-world outdoor image databases with more than ten thousand images manually annotated for road segmentation evaluation.

The paper is organized as follows. In Section 2, related work on vision-based road segmentation is presented. In Section 3, the adaptive Bayesian framework, the databases used for evaluation, and the unpaved road segmentation algorithms to be compared are described. Then, in Section 4, the comparative study and its results are presented. Finally, in Section 5, the results obtained are discussed and conclusions are drawn.

2. VISION-BASED ROAD SEGMENTATION

Structured road detection can be achieved by exploiting the characteristics of the road, as (i)lane markings [3][4][5][7], and/or (ii)other visual characteristics of pavement [1][2][6].

In [3], color filters are applied to the image to extract white and yellow lane markings, and then a width filter is used to extract only the lines that match with the size with of the lane markings, considering the vertical position in the image. The lane detection is obtained using Random Sample Consensus (RANSAC) over the lane pixels with a parabolic model. [4] uses the image intensity to distinguish the lane markings from the paved road, then edge detection is used to separate lines, and a Hough transform to fit the strongest lines to a curve. A so-called drivable area is also determined, by using the absolute color of the area in front of the vehicle and a threshold in the image. In [5] a Region of Interest (ROI) is used to handle the bottom part of the image, and then a fixed weighted summing RGB value is adopted to get an intensity image, followed by an adaptive local threshold to obtain the lane marking pixels. Then, a Hough transform is used to obtain initial locations for lane markings, and an iterative search is made to filter the lane marking candidates. Finally, RANSAC curve fitting is made using a combination of straight line and quadratic curve models. In [7], Inverse Perspective Mapping (IPM) is used based in a flat ground hypothesis, and knowing the camera parameters, to remove the perspective effect. Then a Statistical Hough Transform uses pixel with high gradient to fit a straight-line model.

In [6], three methods are proposed for road segmentation: Mean Shift clustering with the CIE-Luv color space, Gabor with RGB color space, and Gaussian Markov Random Fields (GMRF) with RGB. Then IPM is used with the flat ground hypothesis to fit the boundaries of the road with MSAC, a variant of RANSAC, and an approximation of a spiral transition curve model. In [1], an On-line video alignment method is used to estimate the spatiotemporal relation between the current images and a previously annotated road detection video sequence, in order to transfer the road annotation to the current image. In [2], a comprehensive evaluation of paved road segmentation methods is made, combining 19 color representation and 17 single class-classifiers. A simple road segmentation framework is used to test different color representations, including RGB, HSV, CIE-Lab, O1O2O3, nRGB.

The unstructured road detection task requires different approaches, as there is no artificial marking, and the visual characteristics depend on the material of the road. The unstructured road detection methods can be classified by the information used into: (i)Color based [8][12][13], (ii)Texture based [15][16][18], and (iii)Geometry based approaches [9][10][11][19]. Some works has addressed the road segmentation problem using pre-trained road definitions, achieving great performance in the trained or controlled roads [14][17], but they cannot adapt to new roads or changing weather conditions.

Adaptive color-based approaches depend on a training region to adapt the road model. For instance, Stanley, the robot that won the DARPA Grand Challenge [13], used an adaptive color based approach using a mixture of Gaussians that model the color of the drivable terrain and a quadrilateral region, defined by laser sensors, to update the color model, allowing the system to rapidly adapt to different road conditions. In \cite{bernuy2011}, an adaptive color-based approach is proposed using RGB histograms as road and non-road color models with a *naïve Bayes* classifier. The road model is updated using a fixed training region and the non-road region is adapted using the classifier output. Additionally, the borders of the road segmentation output are used to feed a RANSAC based straight road detection method. [12] proposes the usage of a shadow removal technique to improve the light robustness of

the road detection to shadows, using an HSV histogram for road and non-road color model and a *naïve Bayes* classifier.

Texture based approaches uses texture extraction techniques, in addition to color features, to identify the road region in the image. In [15], a pixel feature vector is a concatenation of two feature vectors: color image feature vector and depth feature vector. The depth image is reconstructed from the monocular camera using the method proposed in [20]. Histograms of Oriented Gradients (HOG) and Local Binary Patterns (LBP) are used as texture features, with the RGB channels as color image feature vector, and LBP and intensity are used as depth image feature vector. The image is divided in superpixels and a Support Vector Machine (SVM) classifier is used to obtain a superpixel-wise rough estimation of the road, which is refined using the previous image label with a Context-aware Label Transfer technique. In [16], CIE-Luv color space and gradients are used as features to feed a Bayesian framework that combines an Expectation Maximization (EM) based on-line learning method with an Adaboost based off-line learning method. The on-line learning method uses a semi-circular region in the central-bottom part of the image as training region for the road model. In [18], the HSV color space channels are used as color feature and five statistical features of the Gray Level Cooccurrence Matrix (GLCM) method [21] are used as texture features to feed an adaptive SVM classifier. The SVM parameters are slowly updated using previous images output. Finally, a post processing stage is applied to discard unconnected regions and smoothing the output using morphological operations.

In [11], a Gabor wavelet texture orientation-based desert road detection method is proposed. This method exploits the vanishing point of the parallel lines of the road, combined with a Hough-style voting. Then, a set of rays are drawn from the vanishing point, and the pixels orientation discrepancy to the ray is obtained to evaluate if the ray supports the vanishing point, and if so, the pixels are considered part of the road. In [9], confidence-weighted texture orientation estimation is proposed to find the vanishing point of the road by a locally adaptive soft voting scheme, and road segmentation is made by selecting the dominant edges among the support rays of the vanishing point. In [10],

an execution time improvement to the work of [9] is proposed by approximating the Gabor filters with combinations of Haar-like boxes, computed with integral images, and by optimizing the voting method with a cascade voting scheme: a rough estimation of the vanishing point followed by a refinement. In [19], a voting scheme based on a Multiple Population Genetic Algorithm (MPGA) is used to find the vanishing point of the road, based on Gabor filters to find the local dominant texture orientation. Then, the vanishing point is used to differentiate the road from the background, using k-means clustering over the RGB pixels. Later, an over-segmentation method [22] is used to create superpixels of the image, and the closer superpixels to the road and background clusters are used to as seed to a GrowCut Framework, that iteratively labels all the superpixels until a stable condition is reached. And finally, Conditional Random Field is used to integrate

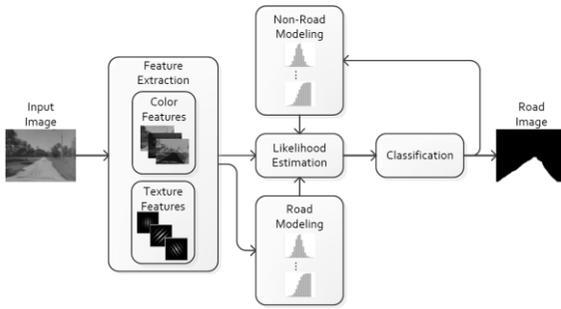


Figure 1: Diagram of the Road Segmentation framework.

3. FRAMEWORK AND METHODOLOGY

A Bayesian road segmentation framework is used in the comparative study (see Figure 1). In this framework, a fixed training region is used to update the road model, and the classifiers output is used to update the non-road model. Color features, texture features, and region-wise approaches are compared using this framework, using image sequences acquired using an autonomous vehicle.

Due to the numerous kinds of soils of unpaved roads, and the wide range of lighting conditions, the segmentation strategy must be adaptive and not based on an a priori model. To meet this condition, an adaptive *naïve Bayes* classifier is used.

high-level information to achieve a more robust road detection. The main disadvantage of the geometry-based approaches is that they assume there is an implicit structure of the road that can be approximated by a vanishing point. Even when this assumption might be correct for most of the cases, the diverse nature of the unstructured road cannot allow a road segmentation system to rely on geometry, dominant orientation, or low curvature.

In this work, an adaptive Bayesian framework is used to segment the unstructured road region in the image. Different color representations and texture features are used to feed the framework, as well as two different region-wise methods for analyzing images. The results obtained for all the alternatives are compared using two manually annotated databases.

The framework proposed for the unsupervised road segmentation, shown in Figure 1, consists of five main stages: Feature Extraction, Road Modeling, Non-Road modeling, Likelihood Estimation, and Classification. The Feature Extraction stage receives a color image and extracts color and/or texture features of the image. The Road Modeling stage and the Non-Road Modeling stage use a fixed positive training region located in front of the vehicle to update the Road model and a negative training region defined by the last classifier output to update the Non-Road model, allowing the segmentation system to be adaptive to road conditions. The Likelihood Estimation calculates the likelihood ratio for each pixel, creating a single-channel floating point likelihood ratio image based on both models and the last likelihood ratio image. The Classification stage uses the likelihood ratio image to create a binary road image that draw the segment of the image that belongs to the road.

The probability of a given pixel with a n-dimensional feature vector $\vec{x}_F = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ to belong to a class C is $P(C | \vec{x}_F)$. Assuming independence between the features (*naïve Bayes* classifier approach) is possible to calculate this probability as

$$P(C | \vec{x}_F) = \frac{P(C)}{Z} \prod_{i=1}^n P(x_i | C),$$

where $P(C | \vec{x}_F)$ is the posterior probability for a pixel with features \vec{x}_F to belong to the class C, $P(x_i | C)$ is the likelihood of the i -th feature, $P(C)$ is the prior

probability for the class C , and $Z = P(\vec{x}_F)$ is the evidence, a normalization factor as the values of \vec{x}_F are known.

Following the *naïve Bayes* classifier paradigm, the posterior probabilities for the road class and the non-road class are compared as a quotient. By using this quotient, the normalization factors are cancelled, and the quotient between the class prior probabilities is an unknown constant k_{prior} . This quotient, or ratio, is calculated for each pixel of the image, creating a likelihood ratio image I_L .

The probability distributions of the likelihood of road and non-road pixels are approximated by the normalized histograms H_R^i and H_{NR}^i [23]. The likelihood ratio image is calculated as:

$$I_L(\vec{x}_F) = \frac{P(\text{Road} | \vec{x}_F)}{P(\text{Non-Road} | \vec{x}_F)} \approx k_{prior} \prod_{i=1}^n \frac{H_R^i(\vec{x}_F)}{H_{NR}^i(\vec{x}_F)}.$$

To make a pixel-wise decision about which class each pixel belongs, the likelihood ratio of each pixel is compared to a fixed threshold. If the ratio is greater than the threshold, the pixel belongs to the road class.

$$I_{CL}(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{if } I_L(i, j) \geq T_{\{CL\}} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases},$$

where I_{CL} is the classified image, I_L is the likelihood ratio image, and T_{CL} is the fixed threshold and a parameter of the system.

The update of the likelihood histograms of a class C , *Road* or *Non-Road*, are updated using normalized histograms $H_t^{i,k-1}$ of the pixels selected from the image $k-1$, as

$$H_C^{i,k} = \alpha \cdot H_C^{i,k-1} + (1 - \alpha) \cdot H_t^{i,k-1},$$

where $H_C^{i,k}$ is the histogram for the k image of the i feature for the class C , and α is the histogram update weight.

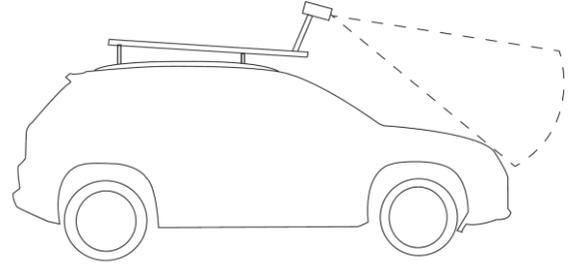


Figure 2. Camera position on the vehicle.

3.1. Databases

In order to make a valid comparison between different approaches, two manually annotated databases are used. These databases consist of sequences of images acquired by the Advanced Mining Technology Center's (AMTC) autonomous vehicle (Volkswagen Tiguan 2010) [24] driven on unstructured roads, using a camera mounted over the roof of the vehicle (see Figure 2).

The first database, **DB1**, was recorded in a dry environment with small trees and bushes, showing almost no shadows or illumination changes. The road goes through a flat region and ends beside a hill. The road material is mostly dirt with small parts of dry grass and most of the terrain beside the road is covered by dry grass, making some parts of the road difficult to differentiate from their surroundings. This database is composed by 2,600 images, with resolution of 320x240 pixels recorded at 10 frames per second.

The second database, **DB2**, is the database used by Parra-Tsunekawa et al. [24]. This database was recorded inside O'Higgins Public Park, located near the downtown area of Santiago, Chile. The database was captured while the vehicle was driven on unpaved, rough terrain at low ($< 10 \left[\frac{m}{s} \right]$) and medium speeds ($< 20 \left[\frac{m}{s} \right]$). The unpaved area is formed by a very irregular road having a length of about 800 [m] with positive and negative slopes. The road is a track made of dirt surrounded of grass and some trees, with a strong visual difference with the road. As some trees are near the road, some parts of it are fully covered with shadows, showing strong illumination changes. This database is composed by 7,532 images, with resolution of 640x480 pixels.

The use of these databases in the comparison will evaluate the robustness of the proposed algorithms under complex and different unstructured road scenarios.

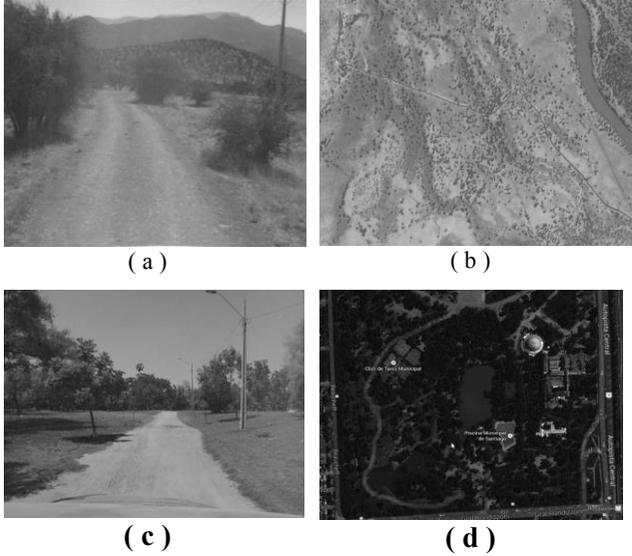


Figure 3. Databases used for the evaluation. (a) and (c) are example images of the databases. (b) and (d) are satellite images of the roads. (Source: Google Maps satellite image)

3.2. Algorithms under Comparison

The aim of this comparative study is to evaluate the performance of different unstructured road segmentation algorithms based on the described Bayesian framework, using the described databases. The different algorithms include different sets of features (color features, texture-features, and joint color-texture features), as well as the use of a region-wise, instead of pixel-wise, analysis of image.

3.2.1. Color Features

The color-based approaches aim to find the best color representation for the road segmentation framework. For this work, seven different color representations are used for computing the feature vector: RGB, HSV, HSL, CIE-XYZ, YCrCb, CIE-Lab, and CIE-Luv.

Each color representation describes a pixel's color with three values, or channels. The color channels of a color representation are used as feature, creating a three-dimensional feature vector for every approach. For a

color representation with channels A , B , and C , the feature vector \vec{x}_{ABC} of the pixel (x, y) is set as:

$$\vec{x}_F(x, y) = \begin{bmatrix} A(x, y) \\ B(x, y) \\ C(x, y) \end{bmatrix}$$

3.2.2. Texture Features

The texture of a region of an image is the spatial arrangement of intensities of the pixels. Four texture extraction methods are compared in this work: (i) Gabor filters, (ii) Gray Level Cooccurrence Matrix (GLCM), (iii) Local Binary Patterns (LBP), and (iv) Gaussian Markov Random Fields (GMRF).

Gabor Filters. Gabor filters are linear filters which are similar to the human visual receptive fields, for its frequency and orientation representation. The impulse response of a two-dimensional Gabor filter is defined by a sinusoidal wave multiplied by a Gaussian function:

$$h(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 \cdot \{y'\}^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \cos\left(\frac{2\pi x'}{\lambda} + \psi\right)$$

$$\begin{aligned} x' &= x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta) \\ y' &= -x \cdot \sin(\theta) + y \cdot \cos(\theta), \end{aligned}$$

where λ is the wavelength of the sinusoidal function, θ is the orientation, ψ is the phase offset, σ is the standard deviation of the Gaussian function, and γ is elliptical factor for the filter shape.

A set of 24 filters are applied, obtaining a 12-dimensional feature vector for each pixel of the image. The filters parameters are a combination of $\lambda = \{4, 8, 12\}$, $\theta = \left\{0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}\right\}$, and $\psi = \left\{0, \frac{\pi}{2}\right\}$, with $\sigma = \frac{\lambda}{2}$ and $\gamma = 0$. The features used are the total response energy of the Gabor filters for different values of λ and θ , which is the square root of the sum of the squares of the convolution (*) of the filters across ψ :

$$E_{\{\lambda, \theta\}} = \sqrt{\left\{ \left(h\left(\lambda, \theta, 0, \frac{\lambda}{2}, 0\right) * I \right)^2 + \left(h\left(\lambda, \theta, \frac{\pi}{2}, \frac{\lambda}{2}, 0\right) * I \right)^2 \right\}}$$

Thus, the feature vector \vec{x}_{GF} for of the Gabor filters is defined as:

$$x_{GF(i,j)}(x, y) = E_{\lambda_i, \theta_j}(x, y),$$

with $i = 1, 2, 3$ and $j = 1, 2, 3, 4$.

GLCM. The Gray Level Cooccurrence Matrix method proposed by Haralick [21] is based in the construction of histograms of pixel intensity combinations for different spatial distributions, and the calculation of some statistics over these histograms to be used as texture features.

Let $P_{(a,b)}$ be the histogram, or cooccurrence matrix, for a spatial distribution (a, b) of a segment S of the image I . The (i, j) element of the matrix is calculated as follows:

$$P_{(a,b)}(i, j) = \# \left\{ (k, l), (m, n) \in S \mid \begin{array}{l} (k, l) - (m, n) = \pm(a, b) \\ \wedge I(k, l) = i \wedge I(m, n) = j \end{array} \right\}$$

where $\#$ is the cardinality of a set. For this work, we used symmetrical cooccurrence matrices, so the cooccurrence matrices for (a, b) and (b, a) are the same, and the methodology used is based on [14].

Three statistics from the matrices are used: Angular Second Moment (ASMS), Contrast, and Correlation:

$$GLCM_{a,b} = \begin{bmatrix} ASM_{a,b} \\ Cont_{a,b} \\ Corr_{a,b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} \left(\frac{P_{(a,b)}(i, j)}{R} \right)^2 \\ \sum_{i=1}^{N_g} \left(n^2 \sum_{|i-j|=n} \frac{P_{(a,b)}(i, j)}{R} \right) \\ \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} \left(i \cdot j \cdot \frac{P_{(a,b)}(i, j)}{R} - \mu_x \cdot \mu_y \right)^2}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \end{bmatrix}$$

where μ_x , μ_y , μ_x , and μ_y are the mean and standard deviations of the marginal distributions of $\frac{P(i, j)}{R}$, and R is a normalization constant.

The color intensities are discretized to 32 values. The image is divided in 32x32 pixel overlapped segments, obtained every four pixels, both horizontally and vertically. For each segment, four cooccurrence matrices are obtained and for each cooccurrence matrix three statistics are calculated, making twelve features for each segment. The feature image is filled with the feature vector of the closest segment.

The feature vector \vec{x}_{GLCM} is set as:

$$\vec{x}_{GLCM}(x, y) = \begin{bmatrix} GLCM_{4,0}(x, y) \\ GLCM_{4,4}(x, y) \\ GLCM_{0,4}(x, y) \\ GLCM_{-4,4}(x, y) \end{bmatrix}$$

LBP. Local Binary Pattern is an effective texture descriptor based on a binary representation of a local neighborhood relative to the center gray-scale value. For this work, a 3x3 neighborhood is used, and the 8 neighboring pixels are used. The LBP image I_{LBP} is obtained as follows:

Let S be a local 3x3 neighborhood centered in the pixel g_c in (x, y) , and g_0, \dots, g_7 be the neighboring pixels ordered clockwise and starting from the pixel on top of g_c . We define the LBP image value for a pixel g_c as:

$$I_{\{LBP\}}(x, y) = \sum_{i=0}^7 s(g_i - g_c) \cdot 2^i, \quad \text{with } s(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

For each pixel, four windows sizes (9x9, 17x17, 33x33, and 65x65) are used to obtain normalized histograms H_i^{LBP} of the LBP image. These histograms are used in the feature vector \vec{x}_{LBP} for the *naïve Bayes* classifier as:

$$\vec{x}_{LBP} = \begin{bmatrix} H_{9 \times 9}^{LBP}(x, y) \\ H_{17 \times 17}^{LBP}(x, y) \\ H_{33 \times 33}^{LBP}(x, y) \\ H_{65 \times 65}^{LBP}(x, y) \end{bmatrix},$$

and the likelihood ratio of for each pixel is estimated as:

$$I_L(x, y) = \prod_{i=0}^4 \frac{D(H_i^{\{LBP\}}(x, y), H_R)}{D(H_i^{\{LBP\}}(x, y), H_{\{NR\}})},$$

with $D(H, G) = 1 - \sum_i |H_i - G_i|$, is the distance measure between histograms.

Gaussian Markov Random Fields. The parameters of the Gaussian Markov Random Fields (GMRF) are used as texture features, following the methodology proposed in [6]. The GMRF describes the dependency between the intensity $I(p)$ of a pixel p and that of its neighbors as $I(p) = \sum_{r \in \Delta_N} \theta_r (I(p+r) + I(p-r)) + e(p)$, where $\Delta_N = \{r : p \pm r \in N(p)\}$ for a neighborhood $N(p)$ of p , and $e(p)$ is a zero-mean Gaussian noise.

The parameters $\Theta = [\theta_1 \theta_2 \dots \theta_{\#\Delta_N}]$ of a GMRF are estimated as

$$\Theta^* = \left[\sum_{p \in \Omega_l} q(p) \cdot q(p)^T \right]^{-1} \cdot \left[\sum_{p \in \Omega_l} q(p) \cdot I(p) \right],$$

where Ω_l if a region around the pixel p , and

$$q(p) = \begin{bmatrix} I(p + r_1) + I(p - r_1) \\ I(p + r_2) + I(p - r_2) \\ \vdots \\ I(p + r_n) + I(p - r_n) \end{bmatrix}, r_i \in \Delta N.$$

The noise variance is calculated as $v^* = \frac{1}{\#\Omega_l} \sum_{p \in \Omega_l} (I(p) - \Theta^{*T} q(p))^2$. And the feature vector \vec{x}_{GMRF} is defined as:

$$\vec{x}_{GMRF}(x, y) = \left\lfloor \frac{\Theta^* v^*}{\rho^2} \right\rfloor,$$

Where ρ the sample variance of the texture as a feature vector $[\Theta^* v^*]^T$, ΔN is the star-like region [6] and Ω_l is a 11x11 region.

3.2.3. Joint Color-Texture Feature

In this approach, the joint use of color and texture features, are used to create the feature vectors. All possible combinations of color spaces and texture feature are mixed and compared.

For each pixel in the input image, the feature vector \vec{x}_C of a color approach and the feature vector \vec{x}_T of a texture approach are concatenated to create the joint feature vector \vec{x}_j as

$$\vec{x}_j = \begin{bmatrix} \vec{x}_C \\ \vec{x}_T \end{bmatrix}.$$

3.2.4. Region-Wise Segmentation

Some works [25][15] have shown significant improvements on road segmentation by applying region-wise approaches. To evaluate the effect of using spatial context information in the classifier, two region-wise approaches are compared with the use of the pixel-wise approach.

The first region-wise approach uses a square grid drawn on the ground, assuming a flat ground and knowing the pose of the camera with respect to the vehicle, and the pose of the vehicle to create a regular two-dimensional square grid in the ground (see Fig. 4). The second approach uses the unsupervised segmentation method proposed in [26] to divide the image in homogeneous regions (superpixels). The regions defined by these methods are used in the classification stage to classify over each region instead of over each pixel.

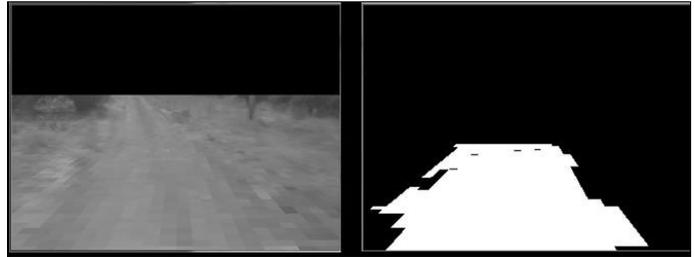


Figure 4. Example of the region wise classifier for the color segmentation using a regular two-dimensional square grid drawn on the ground. In the left image, mean color of each grid cell is used to show the effect of this image division. In the right, the classifier output image.

Ground Grid based segmentation. Each pixel position in the image is associated with coordinates in the ground, using the position of the camera and assuming a flat ground. The pixels are grouped according to a square grid in the ground. The size of the grid is a constant parameter of the system. The ground grid image is created based on the projected pixel grouping, and the classifier decision is made based on these groups.

$$C_{gg}(G) = \begin{cases} Road & \text{if } \# \frac{\{p \in G | I_{CL}(p) = 1\}}{\#G} > T_r \\ Non - Road & \text{otherwise} \end{cases}.$$

The ratio of road pixels for each group G of the ground grid image is calculated and compared to a threshold T_r . This ratio is the quotient of the number of pixels classified as road by the pixel-wise classifier, and the number of pixels of the group. Finally, a flooding algorithm [27] is applied to extract the connected groups to the training region (see Figure 4).

Superpixels based segmentation. The unsupervised segmentation method proposed by Felzenszwalb [26] is an undirected graph-based approach where the vertexes of the graph are the pixels of the image, and the edges connect to neighboring pixels. Each edge has a corresponding weight measuring the dissimilarity between the two pixels, obtained by edge detection filters. In this approach, segmentation is a partition of the pixels of an image into connected components (or regions). The segmentation begins sorting the edges by its weight, and setting each pixel as a different

component, and evaluates a predicate for each edge (from lower to higher weight) to know if the components separated by this edge should be connected or not. This predicate compares the inter-component differences to the within components difference. The internal difference of a component C is defined as the largest weight in the Minimum Spanning Tree (MST) of the component:

$$Int(C) = \max_{e \in MST(C)} w(e),$$

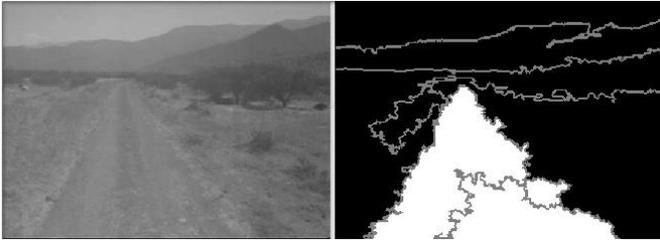


Figure 5. Example of the region wise classifier for the color segmentation using the unsupervised segmentation. In the left, the input image used to create the segmentation. In the right the classifier output with the segments drawn in gray.

where $w(e)$ is the weight of an edge e . The inter-component difference for the components C_1 and C_2 is defined as the minimum weight edge connecting the two components:

$$Diff(C_1, C_2) = \min_{v_1 \in C_1, v_2 \in C_2} w(v_1, v_2).$$

The predicate evaluates if the difference between the components is greater than, at least, one of the internal differences plus a threshold function:

$$D(C_1, C_2) = \begin{cases} true, & \text{if } Diff\left(\begin{matrix} C_1 \\ C_2 \end{matrix}\right) > \min\left(\begin{matrix} Int(C_1) + \frac{k}{\#C_1} \\ Int(C_2) + \frac{k}{\#C_2} \end{matrix}\right), \\ false, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Where k is a parameter, and in practice larger values of k implies larger components. The output of the segmentation is a set of components that divide the image in homogeneous superpixels.

The classifier uses the pixel-wise classifier output and the superpixels of the image to decide. For each superpixel S , the ratio of road pixels is obtained and then is compared with a threshold T_r ; if the ratio is larger than the threshold, then the whole superpixel is considered as road, otherwise the whole superpixel is considered as non-road (see Figure 5).

$$C_{sp}(S) = \begin{cases} Road, & \text{if } \frac{\#\{p \in S | I_{CL}(p) = 1\}}{\#S} > T_r, \\ Non - Road, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Finally, a flooding algorithm [27] is applied to the output of the superpixel classifier starting from the training region to exclude the superpixels unconnected to the road.

4. COMPARATIVE STUDY

Experiments are conducted to evaluate the performance of the different algorithms. Each experiment consists of the execution of the road segmentation algorithm with different features and regions in each of the databases. The output of the road segmentation is used to create a Receiver Operating Characteristic curve (ROC). Each point of the ROC curve corresponds to the mean True Positive Rate (TPR) and the False Positive Rate (FPR) of each frame for a different setup. Finally, a performance measurement for each experiment is used to make a quantitative comparison of the results. As the objective of this comparison is to find a safe and robust algorithm for unpaved road segmentation, the performance measurement must be related with the behavior of the ROC curves in low FPR values, and not in the whole curve as the Area Under the Curve (AUC)

value. For this work, the TPR_{10} value is obtained for each experiment as a performance measurement, where the TPR_{10} is the TPR value that corresponds to a FPR of 10%, which is an acceptable FPR for this application.

All the algorithms were implemented in C++ using the OpenCV library. The color features were implemented using the OpenCV color space transformation. The Gabor features were implemented based on the OpenCV Gabor Filter kernels. The superpixel approach was implemented using Pedro Felzenszwalb's C++ segmentation implementation [26]. GLCM, LBP, and GMRF texture features, the Ground-Grid approach, and the flooding algorithm were implemented by us.

4.1. Feature comparison

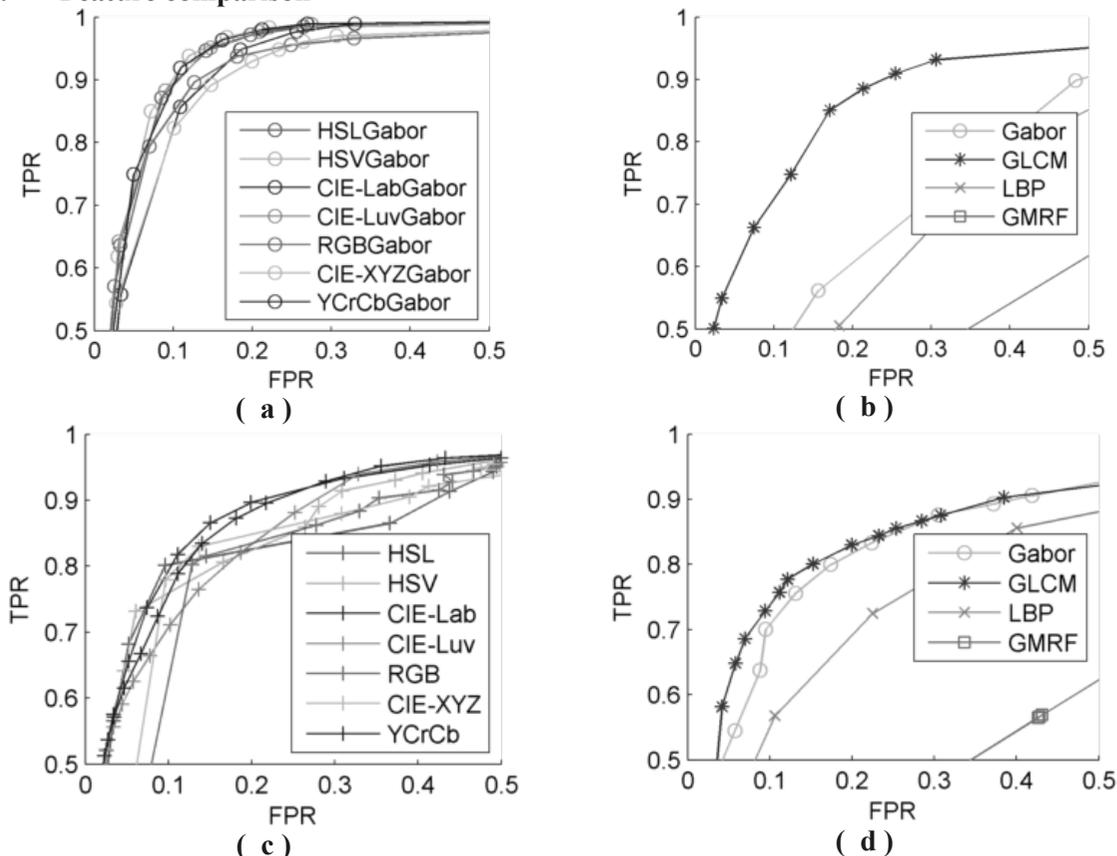


Figure 6. ROC curves with the results of the experiments. (a) and (b) show the ROC curves of the 7 Color feature algorithms in DB1 and DB2 respectively. (c) and (d) show the ROC curves for the 4 texture algorithms in DB1 and DB2 respectively.

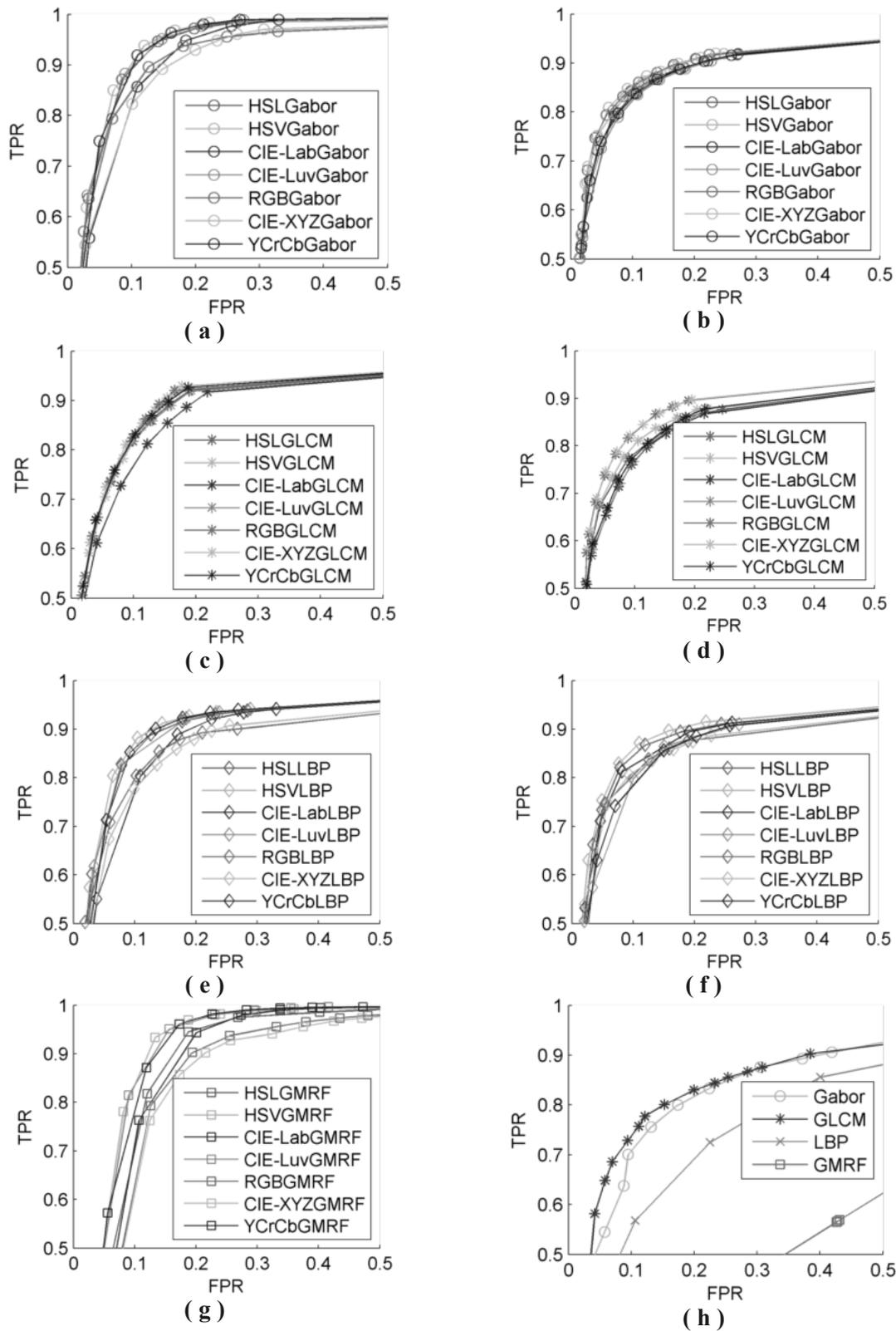


Figure 7. ROC curves with the results of the experiments with the joint features algorithms. (a) and (b) show the results of the Gabor joint features in DB1 and DB2, respectively. (c) and (d) show the results of the GLCM joint features in DB1 and DB2, respectively. (e) and (f) show the results of the LBP joint features in DB1 and DB2, respectively. (g) and (h) show the results of the GMRF joint features in DB1 and DB2, respectively.

The results of the experiments that compare the use of different color, texture, and joint color-texture features in DB1 and DB2 are shown in Figures 6 and 7, and in Table 1. In the case of using pure color features in DB1, HSV color features show the best results, followed by CIE-Luv, and YCrCb. In the case of DB2, the best results are obtained when using HSL features, followed by CIE-Lab, and CIE-XYZ. It can be observed that due to the different characteristics of the used databases, the performance of the segmentation algorithms that use different color features changes depending of which database is used, and that there are no color features that performs best in both databases. For instance, no color feature can properly handle illumination changes and shadows, so the results of the pure color features are better for DB1 than DB2, as the first has less shadows than the second one. Therefore, in the case of using pure color features, the selection of the best color space to be used will depend on the environmental conditions.

In the case of using pure texture features, GLCM features achieves the best results in both databases, followed by Gabor features, and LBP. It can be observed that the use of pure texture features produces worse segmentation results than the use of pure color features. Therefore, it arises the following question: is there any benefit on using joint color-texture features, when color features perform always better? As it can be seen in Figure 7 and Table 1, the answer is that the use of joint color-texture features allows obtaining more stable results, i.e. the performance variability of the algorithms is reduced, and an algorithm that performs best in one database can also obtain a very good performance in a different one. For instance, HSV+Gabor features show the best results when Gabor features are used together with different color features (see the +Gabor column in Table 1). It is also important to notice that almost all Gabor-based joint features show better results when compared when the case of using only the corresponding color features, being the only exception the HSV case in DB1.

Table 1. Experimental results for the feature methods for both databases. The bold value indicates the three best performances for each column in terms of the TPR10 index (see main text for details).

	Feature	Single	+Gabor	+GLCM	+LBP	+GMRF
DB1	HSL	0.8435	0.8918	0.8204	0.8533	0.7025
	HSV	0.9078	0.9019	0.8310	0.8733	0.8355
	CIE-Lab	0.7848	0.8224	0.7680	0.7712	0.7125
	CIE-Luv	0.8669	0.8953	0.8186	0.8473	0.8354
	RGB	0.7652	0.8490	0.8284	0.7982	0.6293
	CIE-XYZ	0.7128	0.8198	0.8185	0.7779	0.6126
	YCrCb	0.8474	0.8936	0.8258	0.8611	0.7816
	Gabor	0.4540	-	-	-	-
	GLCM	0.7089	-	-	-	-
	LBP	0.3825	-	-	-	-
GMRF	0.2304	-	-	-	-	
DB2	HSL	0.8025	0.8449	0.7844	0.8453	0.7279
	HSV	0.7599	0.8549	0.8025	0.8588	0.7948
	CIE-Lab	0.7937	0.8347	0.7683	0.8264	0.7853
	CIE-Luv	0.7073	0.8242	0.7689	0.7980	0.7015
	RGB	0.6273	0.8495	0.8285	0.8051	0.7798
	CIE-XYZ	0.7842	0.8457	0.8299	0.8108	0.7883
	YCrCb	0.7587	0.8296	0.7783	0.7839	0.7359
	Gabor	0.7080	-	-	-	-
	GLCM	0.7380	-	-	-	-
	LBP	0.5511	-	-	-	-
GMRF	0.3065	-	-	-	-	

When LBP features are used together with different color features, the best results in both databases are obtained by HSV+LBP (see the *+LBP* column in Table 1). It is important to note that in this case the performance of all color features in DB2 is improved. Similarly, when GMRF features are used together with different color features, the best results in both databases are obtained by HSV+GMRF (see the *+GMRF* column in Table 1). However, in this case the inclusion of GMRF features does not improve the results obtained by pure color features, except for HSV+GMRF and RGB+GMRF in DB2.

In the case of using GLCM features together with color features, HSV+GLCM obtains the best results in DB1 followed by RGB+GLCM, while in DB2 CIE-XYZ+GLCM obtains the best results, also followed by RGB+GLCM. Then, the RGB+GLCM is the best GLCM-based joint feature as it achieves competitive results in both databases (see the *+GLCM* column in Table 1).

4.2. Region-Wise Segmentation

Experiments are conducted to evaluate the convenience of using region-wise segmentation of the images. The performances of the two region-wise segmentation methods described in Section 3.2.4, *ground-grid* and *superpixels*, are compared to the standard pixel-wise segmentation. The experiments are carried out in DB1 and DB2 using the color-texture feature combinations selected in the previous section (HSV+Gabor, HSV+LBP, RGB+GLCM, and HSV+GMRF).

The obtained results are presented in Figure 8 (ROC curves) and Table 2 (TPR10 performance index). As it can be seen, the use of the *ground-grid* method improves the results of all algorithms in both databases. In most of the cases, except HSV+GMRF, the TPR10 rates increase in about 0.4. In the case of HSV+GMRF the increase depends of the database. This improvement is because the regions closer to the vehicle are represented by large segments, helping to handle small regions that are misclassified in the pixel-wise

In summary, the use of joint color-texture features allows the segmentation process to achieve competitive results in different databases using the same feature vector, independently of the particular characteristics of the databases (high similarity of the road and its surrounding in the case of DB1 and illumination changes and shadows in the case of DB2), as there is an optimal color-texture feature combination for each texture method. This is due to the use of the illumination invariance of the texture features and the color features, allows the system to improve the results of the segmentation. This can be observed mostly in DB2, as it presents more shadows in the road than DB1.

In the reported experiments, the best joint color-texture features are HSV +Gabor, followed by HSV+LBP (second best), RGB+GLCM (third best), and HSV+GMRF (fourth best). The use of these four color-texture combinations will be further analyzed in next Section.

segmentation. Another reason is the fact that any pixel over the horizon is discarded, as it does not belong to the ground grid. On the other hand, the use of the *superpixels* method does not improve the results of the segmentation process, except in the case of using HSV+Gabor in DB1. For both databases, the superpixel method fails on correctly differentiate the borders of the road, especially in the regions of the road that are far from the vehicle, as the border of the regions are not well defined, and the segmentation algorithm is unable to differentiate them.

In summary, the region-wise segmentation of the images using the *ground-grid* method improves the performance of all segmentation algorithms, independently of which color-texture feature combination is used. This shows that the use of local spatial context information, captured by the ground regions, helps the road segmentation process.

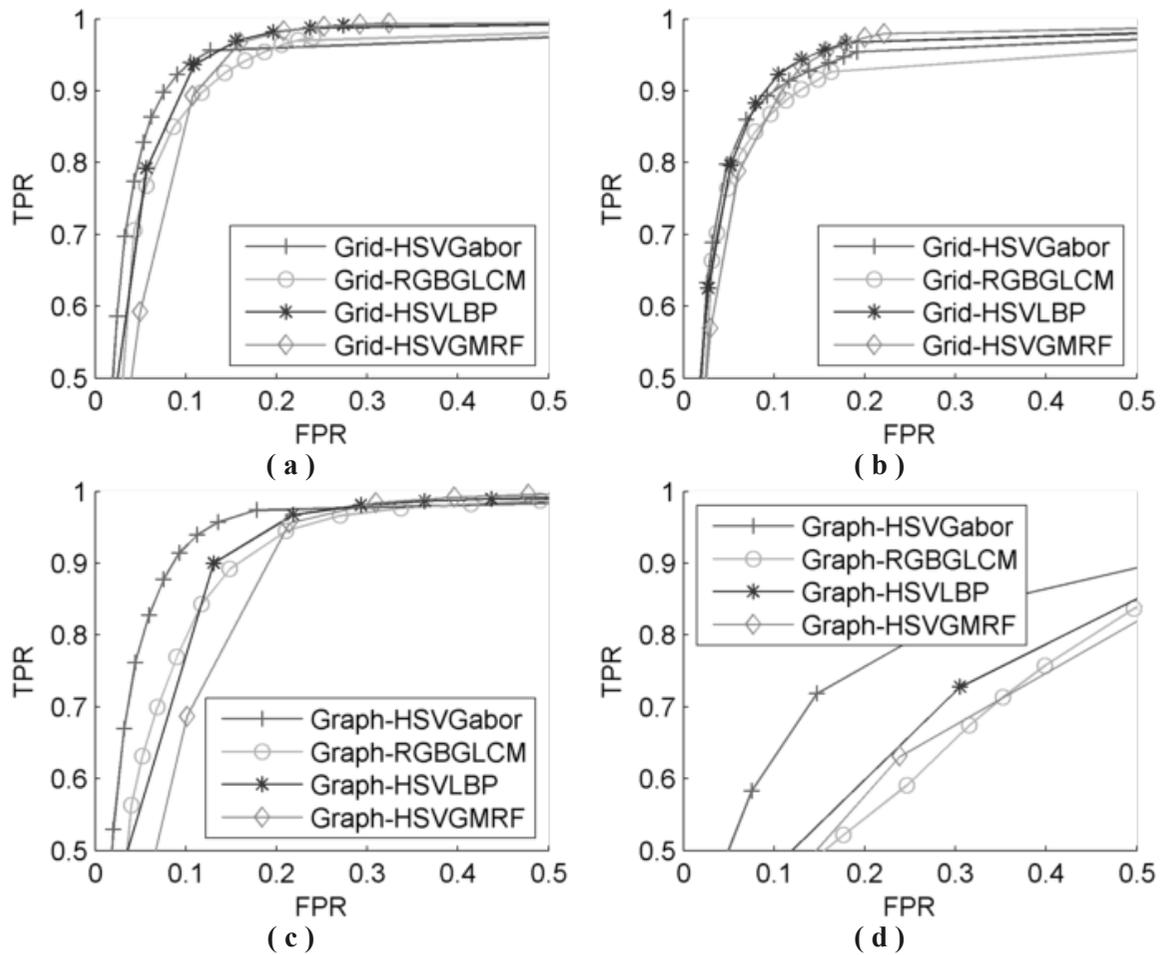


Figure 8. Detail of the ROC curves of the region-wise approaches for each database. (a) and (b) show the results of the ground grid-based approach in DB1 and DB2, respectively. (c) and (d) show the results of the superpixel-based approach in DB1 and DB2, respectively.

Table 2. Experimental results for the region-wise approaches for both databases. The bold value indicates the best performance for each method in terms of the TPR10 index (see main text for details).

	Approach	HSV+Gabor	RGB+GLCM	HSV+LBP	HSV+GMRF
DB1	Pixel-wise	0.9019	0.8284	0.8733	0.8355
	Ground Grid	0.9341	0.8714	0.9122	0.8545
	Superpixel	0.9237	0.7969	0.7720	0.6796
DB2	Pixel-wise	0.8549	0.8285	0.8588	0.7948
	Ground Grid	0.8920	0.8725	0.9157	0.8825
	Superpixel	0.6303	0.3956	0.4763	0.4340

4.3. Execution time

The execution time of the algorithms must be considered in their evaluation, as real-time execution is required for safe autonomous driving. Table 3 shows the average execution time of the best combination of features and region-based approaches analyzed in section 4.2. The implementation of the algorithms was made in C++, running in an Intel Core I5 3.1Ghz based computer and the input images are resized to 320x240.

Table 3 shows that HSV+LBP is the fastest feature combination followed by HSV+GMRF, and RGB+GLCM, leaving HSV+Gabor as the most time-consuming algorithm. For the region-wise approaches,

the Ground-Grid approach adds a small amount of processing to the segmentation, making it suitable for real time operation, while the Superpixel approach requires an important amount of processing time. The alternatives that allow the system to run at more than 10 frames per second are HSV+LBP and HSV+GMRF on pixel-wise segmentation and Ground-Grid approaches, when the images are resized to 320x240 before processing. The HSV+LBP+GroundGrid algorithm is the best alternative for unstructured road segmentation when considering both, execution time and performance.

Table 3. Mean execution time for the different features and region-based approaches, measured in milliseconds. Processing time measured when processing 320x240 input images.

[ms]	Approach	HSV+Gabor	RGB+GLCM	HSV+LBP	HSV+GMRF
	Pixel-wise	185.5	133.8	33.1	67.4
	Ground Grid	188.0	136.3	35.6	69.9
	Superpixel	252.6	200.9	100.2	134.5

5. CONCLUSIONS

A comparative study of vision-based unstructured road segmentation algorithms is carried out. In the study the performance of two region-wise segmentation approaches (ground-grid and superpixels), seven different color features (RGB, HSV, HSL, CIE-XYZ, YCrCb, CIE-Lab, and CIE-Luv), four texture features (Gabor, GLCM, LBP, and GMRF), and twenty-eight joint color-texture feature combinations are analyzed and compared within an adaptive Bayesian framework, in order to provide guidelines for the development of autonomous road detection systems. Two real-world image databases for unstructured road segmentation, with manually annotated ground truth, are used in the comparisons.

The main conclusions of this comparative study are:

- In the case of using pure color features, the selection of the best color space to be used will depend on the environmental conditions
- The use of pure texture features produces worse segmentation results than the use of pure color features
- The use of joint color-texture features allows the segmentation process to achieve competitive results in different databases using the same feature combination, as there is an optimal color-texture feature combination for each texture method. In the reported experiments, the best joint color-texture features are HSV+Gabor, followed by HSV+LBP (second best), RGB+GLCM (third best), and HSV+GMRF (fourth best)
- The region-wise segmentation of the images using the Ground-Grid method improves the performance of all segmentation algorithms, independently of which color-feature combination is used
- Even when HSV+Gabor+GroundGrid shows the best performance, it is recommendable to use HSV+LBP+GroundGrid, as it achieves a similar performance using only a fifth of the processing time

ACKNOWLEDGMENTS

This research was partially supported by FONDECYT (Chile) under Project Number 1130153.

REFERENCES

- [1] J. M. Alvarez, F. Diego, J. Serrat, A. M. L'opez, Road detection via on-line label transfer, arXiv preprint arXiv:1412.3159.
- [2] J. M. Alvarez, T. Gevers, A. M. L'opez, Road detection by one-class color classification: Dataset and experiments, arXiv preprint arXiv:1412.3506.
- [3] A. Atreya, B. Cattle, B. Collins, Darpa urban challenge-princeton university-technical paper, Princeton University.
- [4] A. Bacha, C. Bauman, R. Faruque, M. Fleming, C. Terwelp, C. Reinholtz, D. Hong, A. Wicks, T. Alberi, D. Anderson, et al., Odin: Team victortango's entry in the darpa urban challenge, *Journal of Field Robotics* 25 (8) (2008) 467–492.
- [5] T. Tan, S. Yin, P. Ouyang, L. Liu, S. Wei, Efficient lane detection system based on monocular camera, in: *Consumer Electronics (ICCE), 2015 IEEE International Conference on, IEEE, 2015*, pp. 202–203.
- [6] R. Tapia-Espinoza, M. Torres-Torriti, Robust lane sensing and departure warning under shadows and occlusions, *Sensors* 13 (3) (2013) 3270–3298.
- [7] P. Yan-zhou, G. Hong-feng, Lane detection method of statistical hough transform based on gradient constraint, *International Journal of Intelligent Information Systems* 4 (2015) 40–45.
- [8] F. Bernuy, J. R. d. Solar, I. Parra, P. Vallejos, Adaptive and real-time unpaved road segmentation using color histograms and ransac, in: *Control and Automation (ICCA), 2011 9th IEEE International Conference on, IEEE, 2011*, pp. 136–141.
- [9] H. Kong, J.-Y. Audibert, J. Ponce, Vanishing point detection for road detection, in: *Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on, IEEE, 2009*, pp. 96–103.
- [10] O. Miksik, Rapid vanishing point estimation for general road detection, in: *Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference on, IEEE, 2012*, pp. 4844–4849.
- [11] C. Rasmussen, T. Korah, On-vehicle and aerial texture analysis for visionbased desert road following, in: *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2005. CVPR Workshops. IEEE Computer Society Conference on, IEEE, 2005*, pp. 66–66.
- [12] N. A. Salim, X. Cheng, X. Degui, A robust approach for road detection with shadow detection removal technique, *Information Technology Journal* 13 (4) (2014) 782–788.
- [13] S. Thrun, M. Montemerlo, H. Dahlkamp, D. Stavens, A. Aron, J. Diebel, P. Fong, J. Gale, M. Halpenny, G. Hoffmann, et al., Stanley: The robot that won the darpa grand challenge, in: *The 2005 DARPA Grand Challenge, Springer, 2007*, pp. 1–43.
- [14] J. Wang, Z. Ji, Y.-T. Su, Unstructured road detection using hybrid features, in: *Machine Learning and Cybernetics, 2009 International Conference on, Vol. 1, IEEE, 2009*, pp. 482–486.
- [15] Q. Wang, J. Fang, Y. Yuan, Adaptive road detection via context-aware label transfer, *Neurocomputing* 158 (2015) 174–183.

- [16] Q. Xie, M. Shi, H. Fu, T. Wu, Road detection based on off-line and online learning, in: *Computer and Information Technology (CIT)*, 2014 IEEE International Conference on, IEEE, 2014, pp. 193–197.
- [17] W. Xu, Y. Zhuang, H. Hu, Y. Zhao, Real-time road detection and description for robot navigation in an unstructured campus environment, in: *Intelligent Control and Automation (WCICA)*, 2014 11th World Congress on, IEEE, 2014, pp. 928–933.
- [18] S. Zhou, J. Gong, G. Xiong, H. Chen, K. Iagnemma, Road detection using support vector machine based on online learning and evaluation, in: *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2010 IEEE, IEEE, 2010, pp. 256–261.
- [19] K. Lu, J. Li, X. An, H. He, Vision sensor-based road detection for field robot navigation, *Sensors* 15 (11) (2015) 29594–29617.
- [20] G. Zhang, J. Jia, T.-T. Wong, H. Bao, Consistent depth maps recovery from a video sequence, *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* 31 (6) (2009) 974–988.
- [21] R. M. Haralick, K. Shanmugam, I. H. Dinstein, Textural features for image classification, *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on* (6) (1973) 610–621.
- [22] V. Vezhnevets, V. Konouchine, Growcut: Interactive multi-label nd image segmentation by cellular automata, in: *proc. of Graphicon*, Citeseer, 2005, pp. 150–156.
- [23] M. Correa, J. Ruiz-del Solar, R. Verschae, J. Lee-Feng, N. Castillo, Realtime hand gesture recognition for human robot interaction, in: *RoboCup 2009: Robot Soccer World Cup XIII*, Springer, 2010, pp. 46–57.
- [24] I. Parra-Tsunekawa, J. Ruiz-del Solar, P. Vallejos, A kalman-filtering-based approach for improving terrain mapping in off-road autonomous vehicles, *Journal of Intelligent & Robotic Systems* 78 (3-4) (2015) 577–591.
- [25] H. Wang, Y. Gong, Y. Liu, M. Ren, Road detection via superpixels and interactive image segmentation, in: *Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, 2014 IEEE 4th Annual International Conference on, 2014, pp. 152–155. doi:10.1109/CYBER.2014.6917452.
- [26] P. F. Felzenszwalb, D. P. Huttenlocher, Efficient graph-based image segmentation, *International Journal of Computer Vision* 59 (2) (2004) 167–181.
- [27] A. Bevilacqua, A. Lanza, G. Baccarani, R. Rovatti, A single-scan algorithm for connected components labelling in a traffic monitoring application, in: *Image Analysis*, Springer, 2003, pp. 677–684.

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Empresas Socias

AGUAS ANDINAS S.A.

AGUAS NUEVAS S.A.

ALSTOM CHILE S.A.

ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.

ANTOFAGASTA MINERALS S.A.

ARCADIS CHILE S.A.

ASOCIACIÓN DE CANALISTAS SOCIEDAD DEL CANAL DE MAIPO

BESALCO S.A.

CIA. DE PETROLEOS DE CHILE COPEC S.A.

COLBÚN S.A.

CyD INGENIERÍA LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

EMPRESA CONSTRUCTORA GUZMÁN Y LARRAÍN LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA PRECON S.A.

EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES S.A.

EMPRESAS CMPC S.A.

ENAEX S.A.

ENEL GENERACIÓN CHILE S.A.

FLUOR CHILE S.A.

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SIGDO KOPPERS S.A.

MINERA ESCONDIDA LTDA.

SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.

SUEZ MEDIOAMBIENTE CHILE S.A.

EMPRESAS DE INGENIERÍA COLABORADORAS

ACTIC CONSULTORES LTDA.

IEC INGENIERÍA S.A.

JRI INGENIERÍA S.A.

LEN Y ASOCIADOS INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

SYNEX INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

ZAÑARTU INGENIEROS CONSULTORES LTDA.



Con tus Tarjetas de Crédito Bci Visa

Paga de forma fácil, segura y conveniente con tu celular o reloj.



G Pay

Usando tu smartphone Android



GARMIN PAY™

Usando tu smartwatch Garmin



fitbit pay

Usando tu smartwatch Fitbit

Además, usando Google Pay, Garmin Pay o Fitbit obtienes:



Doble de Acumulación de PuntosBci,
Pesos OpenSky o millas AAdvantage®.



VISA

Cámbiate a Bci BancoBci Más información en Bci.cl

Bci
seamosdiferentes

Promoción Doble acumulación de PuntosBci, Pesos OpenSky o millas AAdvantage: ávida desde el 1 de enero de 2020 al 30 de abril de 2020. Para obtener doble acumulación de PuntosBci, Pesos OpenSky o millas AAdvantage, cliente debe realizar compras utilizando la aplicación Garmin Pay, Fitbit Pay o Google Pay y Tarjeta de Crédito Bci Visa. El bono adicional por doble acumulación será otorgado en su cuenta del programa asociado en su estado de cuenta siguiente o subsiguiente. Se excluyen de esta acumulación o doble acumulación las compras realizadas en impuestos, juegos de azar, casinos, avances en efectivo y cuotas, pagos por servicios financieros y comisiones propias del producto. American Airlines, AAdvantage y el Símbolo de Vuelo son marcas de American Airlines, Inc. Se excluyen de este beneficio a clientes de Tarjetas emitidas por filiales y sociedades de apoyo al giro de Bci. Infórmese sobre la garantía estatal de los depósitos en su banco o en www.cmfchile.cl