

Revista Chilena de

INGENIERIA

ISSN 0370 - 4009 / N° 498 / Abril 2023



Anales del Instituto de Ingenieros

Vol. 135, N° 1 / ISSN 0716 - 2340

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Fundado en 1888

Miembro de la American Society of Civil Engineers (ASCE)

JUNTA EJECUTIVA

Presidenta

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Primer Vicepresidente

Ricardo Nicolau del Roure G.

Segundo Vicepresidente

Cristian Hermansen Rebolledo

Tesorero

Jorge Pedrals Guerrero

Protesorero

Juan Carlos Barros Monge

Secretario

Germán Millán Valdés

Prosecretaria

Ximena Vargas Mesa

DIRECTORIO 2023

Hernán Alcayaga S.

Elías Arze Cyr

Dante Bacigalupo Marió

Marcial Baeza Setz

Cristian Barrientos Gutiérrez

Juan Carlos Barros Monge

Fernando Bravo Fuenzalida

Juan E. Castro Cannobbio

Alex Chechilnitzky Zwicky

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Alejandra Decinti Weiss

Roberto Fuenzalida González

Rodrigo Gómez Álvarez

Mauro Grossi Pasche

Cristian Hermansen Rebolledo

Nicolás Majluf Sapag

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Valdés

Marcela Munizaga Muñoz

Eduardo Muñoz Castro

Juan Music Tomicic

Luis Nario Matus

Ricardo Nicolau del Roure G.

José Orlandini Robert

Jorge Pedrals Guerrero

Luis Pinilla Bañados

Daniela Pollak Aguiló

Miguel Ropert Dokmanovic

Alejandro Steiner Tichauer

Ximena Vargas Mesa

Secretario General

Carlos Gauthier Thomas

SOCIEDADES ACADÉMICAS MIEMBROS DEL INSTITUTO

ASOCIACIÓN CHILENA
DE SISMOLOGÍA E INGENIERÍA
ANTISÍSMICA, ACHISINA.

Presidente: Jorge Carvallo W.

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

Presidente: Alexander Chechilnitzky Z.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA
HIDRÁULICA, SOCHID.

Presidente: Hernán Alcayaga S.

SOCIEDAD CHILENA
DE GEOTECNIA, SOCHIGE.

Presidente: Roberto Gesche S.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA
DE TRANSPORTE, SOCHITRAN.

Presidenta: Marisol Castro A.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN
EN INGENIERÍA, SOCHEDI.

Presidente: Raúl Benavente G.

COMISIONES DEL INSTITUTO

Cambio climático y el agua.

Presidente: Luis Nario M.

Comunicaciones.

Presidente: Germán Millán V.

El Estado, su eficiencia, su rol y los desafíos futuros.

Presidente: Jorge Pedrals G.

Ingenieros en la historia presente.

Presidente: Miguel Ropert D.

La buena empresa: nuevos desafíos de gestión.

Presidente: Nicolás Majluf S.

Práctica y academia en la ingeniería chilena.

Presidenta: Silvana Cominetti C.

Propuestas desde la ingeniería para superar la pobreza.

Presidente: Juan Enrique Castro C.

Una visión y diagnóstico desde la ingeniería a la baja participación de jóvenes en Sociedades Académicas y Profesionales.

Presidente: Eduardo Muñoz C.

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

Alex Chechilnitzky Zwicky

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Alejandro Gómez Arenal

Tomás Guendelman Bedrack

Diego Hernández Cabrera

Jaime Illanes Piedrabuena

Agustín León Tapia

Nicolás Majluf Sapag

Jorge Mardones Acevedo

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Pérez

Guillermo Noguera Larraín

Luis Pinilla Bañados

José Rodríguez Pérez

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

Nuestra portada. Chile se encuentra en desarrollo de normativa robusta en materia de ciberseguridad. Contamos con una política nacional de ciberseguridad que está en proceso de revisión, como con un proyecto de ley marco sobre ciberseguridad. Los beneficios de la tecnología traen desafíos en esta área de crecimiento digital, que es esencial proteger tanto por organismos públicos como por entidades privadas. Se trata de un esfuerzo de todos, en que si debemos tener precaución de no sobrecargar a los actores del sistema con obligaciones no necesarias o que conlleven esfuerzos que no guarden relación con el riesgo por ejemplo que puede experimentar una pequeña empresa. Así, el riesgo no aplica por igual. No es posible aplicar iguales normas de ciberseguridad a la tesorería general de república y a una pyme. Así, como siempre, debemos lograr un balance en la futura legislación sobre ciberseguridad. (Fotografía: licencia CC BY-SA-NC / Conferencia del Sr. Claudio Magliona).

REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA N° 498, abril de 2023

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

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

SECRETARIO GENERAL

Carlos Gauthier T.

SECRETARÍA

Patricia Núñez G.

DIAGRAMACIÓN

versión productora gráfica SpA

EDITORIAL.

Pág. 2

HIDRÓGENO VERDE: UNA MANIFESTACIÓN DE LA NUEVA CORFO.

Pág. 3

Conferencia del Sr. José Miguel Benavente,
Vicepresidente Ejecutivo de CORFO.

ENFOQUE: ROL SOCIAL DE LA CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD. PROYECCIONES SECTOR CONSTRUCCIÓN.

Pág. 19

Conferencia del Sr. Antonio Errázuriz, Presidente
de la Cámara Chilena de la Construcción.

CÓMO LAS FALENCIAS DE CIBERSEGURIDAD PUEDEN HACER COLAPSAR EL SISTEMA PRODUCTIVO Y LA INFRAESTRUCTURA DE CHILE. MEDIDAS PARA ABORDARLAS.

Pág. 31

Conferencia de los Sres. Carlos Bustos, Gerente
Regional de Ciberseguridad de SONDA, y
Claudio Magliona, Presidente de la Mesa Legal
ACTI.

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS.

Pág. 44

– SR. GERMÁN MILLÁN PÉREZ
– SR. RICARDO NANJARÍ ROMÁN
Comisión de Ingenieros en la Historia Presente
Presidente: Miguel Ropert D.

RECONOCIMIENTO A NUESTROS SOCIOS.

Pág. 50

En las conferencias realizadas entre los meses de junio y noviembre de 2022, destacados especialistas abordaron temas de especial relevancia, relacionados con el Proyecto Innovativo de CORFO sobre el hidrógeno verde, el análisis del rol social de la Cámara Chilena de la Construcción y el peligro de cómo las falencias de ciberseguridad pueden hacer colapsar el sistema productivo y la infraestructura de Chile.

En el mes de junio, el Sr. José Miguel Benavente, Vicepresidente Ejecutivo de CORFO, expuso sobre el tema: **“Hidrógeno Verde: una manifestación de la nueva CORFO”**. Inició su presentación identificando la gestión de la CORFO para los próximos cuatro años con una mirada de mediano y largo plazo, para lo que definió tres pilares: Financiamiento para el desarrollo, apoyo al emprendimiento y nueva política industrial. Se refirió ampliamente a cada uno de estos temas, enfatizando que la misión principal se refiere al apoyo a la recuperación y el cierre de las brechas del tejido productivo en Chile que quedó atrás como consecuencia, primero, de los problemas internos y luego a la pandemia. El apoyo al emprendimiento se centra en el capital de riesgo, y como mecanismo de apoyo público-privado a empresas de alto componente tecnológico, en la Banca Nacional de Desarrollo que, eventualmente, coordinaría el Ministerio de Economía, con la participación de muchas instituciones, incluyendo el Banco Estado, el Ministerio de Hacienda y CORFO, entre otros. En su disertación, se enfocó luego en el rol de CORFO y del gobierno en general, en la producción de hidrógeno verde, herramienta funcional para conseguir la misión de descarbonizar Chile el 2050.

En el mes de octubre, el Sr. Antonio Errázuriz, Presidente de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), expuso el tema: **“Enfoque: Rol Social de la Cámara Chilena de la Construcción y Sostenibilidad. Proyecciones Sector Construcción”**. El señor Errázuriz compartió la visión de CChC respecto de la situación que se vive actualmente en el país y cuál debe ser el desafío de los profesionales de la industria de la construcción. Señaló que en el contexto país-gobierno, ha llegado una nueva generación al poder, que ha planteado un nuevo tipo de aproximación entre los privados, la sociedad y el Estado. Es indispensable abrir el diálogo, fortalecer las confianzas, buscar temas de mutuo interés por las partes, poner en valor la colaboración público-privada, sensibilizar sobre el impacto que la actividad tiene en la calidad de vida y en el bienestar de las personas. Aquí identifica el rol que le corresponde al Ejecutivo: erradicar la violencia y contribuir a la paz social. La CChC quiere hacer que las cosas pasen, ese ha sido su lema y su desafío. Detalló aspectos derivados de la pandemia, de las pérdidas de puestos de trabajo, del atraso de proyectos, y de diversos problemas que permitirían empezar a mover la actividad, aunque lentamente.

En las claves de esta nueva mirada, ha sido fundamental basarse en tres herramientas que se han creado: El Compromiso Pro, una forma de hacer las cosas; Construir; La Colaboración Radical, impulsando el trabajo colaborativo.

En el mes de noviembre, los señores Carlos Bustos, Gerente Regional de Ciberseguridad de SONDA, y Claudio Magliona, Director del Magíster en Derecho y Nuevas Tecnologías de la Universidad de Chile, expusieron sobre el tema: **“Cómo las Falencias de Ciberseguridad pueden hacer colapsar el Sistema Productivo y la Infraestructura de Chile. Medidas para abordarlas”**. Como moderador invitado se contó con la participación de don Jorge Yutronic.

El señor Bustos se refirió a cuatro aspectos que consideró fundamentales: el contexto general de lo que está pasando en Chile y el mundo en temas de transformación digital; cómo esto afecta las labores que cumplimos como ingenieros; la resiliencia del diseño de nuestra infraestructura, identificando las falencias de ciberseguridad que pueden hacer que, en obras de ingeniería perfectamente construidas, se produzcan fallas; y por último, al desarrollo de una metodología para resolver el problema. Complementó su disertación mediante ejemplos reales, de carácter internacional, que conducen a incorporar la autenticación y el respaldo para reconstruir o restituir lo que un ciberataque pudo destruir.

El señor Magliona, por su parte, se enfocó en problemas que no tienen su origen en la tecnología, sino en la delincuencia. Las máquinas las hacen los seres humanos y por eso son falibles. Señaló que la normativa y la regulación que viene nos van a obligar, querámoslo o no, a hacernos cargo de este tema. El llamado es a que nos involucremos, porque realmente puede alterar nuestro día a día.

Se refirió, por último, a una eventual sobrerregulación que podría generar el proyecto de Ley Marco sobre ciberseguridad que crearía una Agencia Nacional de Ciberseguridad, para que cualquier empresa que tenga infraestructura crítica, cuando sufra un ciberdelito que la afecte en materia operativa, lo comunique a la Agencia. Este tema queda abierto y podría perfeccionarse, en la medida en que se disponga de resultados de su aplicación.

Finalmente, se incluyen en esta edición, las entrevistas de los ingenieros **Germán Millán Pérez** y **Ricardo Nanjarí Román**, de destacada y dilatada trayectoria en el país y en el Instituto.

HIDRÓGENO VERDE: UNA MANIFESTACIÓN DE LA NUEVA CORFO

*Conferencia del Sr. José Miguel Benavente, Vicepresidente Ejecutivo
de la Corporación de Fomento de la Producción, CORFO*



Sr. José Miguel Benavente.

El día jueves 30 de junio de 2022, a las 11:00 horas –vía zoom–, ante una gran concurrencia del ámbito público y privado, como también académico, se realizó la conferencia del Sr. José Miguel Benavente, Vicepresidente Ejecutivo de CORFO, quien expuso sobre el tema: “Hidrógeno Verde: una manifestación de la nueva CORFO”.

El Sr. Benavente es Ingeniero Civil Industrial de la Universidad Católica de Valparaíso, Magister en Economía de la Universidad de Chile, y posee los grados de Master of Science y Doctor of Philosophy en Economía de la Universidad de Oxford en Inglaterra.

Fue profesor titular de la Escuela de Negocios en la Universidad Adolfo Ibáñez, y fue durante más de una década, académico del Departamento de Economía en la Universidad de Chile. Ha sido columnista de importantes medios de comunicación, editor de una revista científica indexada, consultor de organismos internacionales, y por 10 años, Consejero y Vicepresidente del Consejo Nacional de Innovación de Chile.

Se desempeñó como especialista líder principal, de la División de Competitividad e Innovación del Banco Interamericano de Desarrollo BID, división de la cual fue su jefe mientras estaba radicado en Washington.

Sus temas de trabajo profesional, investigación y enseñanzas, incluyen ámbitos del desarrollo económico, innovación, productividad, I + D, pymes, emprendimiento y economía de las artes y la cultura entre otros.

Es actualmente el Vicepresidente Ejecutivo de la Corporación de Fomento de la Producción - CORFO, tras su designación por parte del Presidente Gabriel Boric.

Sr. José Miguel Benavente.

—Buenos días a todos, y agradezco la invitación. Esta nueva CORFO recupera muchas cosas que ustedes conocen.

Y quiero partir con una curiosidad: si uno caracteriza a la CORFO en términos de profesiones, esta fue “dominada” por la ingeniería desde su creación. En los años 60 lo fue por economistas. Y al final terminó “dominada” por abogados. La forma en que evolucionó esta institución refleja un poco las características de quienes tomaron esos liderazgos y también quienes formaron parte constitutiva de su fuerza de trabajo.

Siguiendo esa analogía, lo que queremos es traer a esta nueva CORFO ese espíritu de la ingeniería, en un contexto obviamente del Siglo XXI.

Por eso quiero partir contándoles cómo nos estamos imaginando la CORFO, qué cosas estamos enfatizando, tomando las cosas buenas de la historia reciente de la Institución y qué cosas adicionales estamos incorporando, para que vean, por ejemplo, cómo situamos el hidrógeno verde, en particular, dentro de todo esto (Figura 1).



Figura 1

En primer lugar, cómo estamos mirando la gestión de la CORFO para los próximos cuatro años con una mirada de mediano y largo plazo. Para esto, operativamente, hemos definido tres ámbitos (Figura 2).

El primero tiene que ver con el Financiamiento para el Desarrollo. En este pilar nos referimos principalmente a



Figura 2

recursos financieros y en él la CORFO tendrá un rol que jugar en la formación de una nueva Banca Nacional de Desarrollo. Lo haremos a través de pilotos que nos permitan generar aprendizaje y capacidades que luego se transfieran a una nueva institución que se debe crear por ley. Ustedes saben que después de la reforma del año ‘89, la Corporación tiene algunas inhabilidades o restricciones para ser más activa en el tema de financiamiento de primer piso, por ello lo que hagamos será en conjunto con organismos multilaterales como el BID, el Banco Mundial o el KfW de Alemania.

Un segundo tema es lo que CORFO ha venido haciendo recientemente, que además es el sello que ha tenido en los últimos 20 a 30 años, que es el apoyo al emprendimiento, la innovación y el fomento productivo. Aquí se incluirán unos cambios, no tanto en los énfasis, sino más bien en la forma de operar y en el tema regional, que es clave en esta dimensión.

Y el tercer punto lo hemos denominado una nueva política industrial, porque es distinto a lo que era la vieja política industrial (que implicaba selección de sectores e incluso proteccionismo comercial), y porque trae una discusión que está en el mundo hoy: cómo los países llevan adelante una agenda público-privada que impulse el crecimiento. Y esto, en el contexto actual de cambio climático, donde son claves la sustentabilidad ambiental o el cambio de matriz energética, implica una forma diferente de llevar adelante la política industrial.

Veamos cada uno de estos tres pilares para explicarles cómo se enganchan con nuestros programas e instrumentos.

Primero, el **financiamiento para el desarrollo** (Figura 3).



Figura 3

En primer término, estamos apoyando la recuperación y el cierre de las brechas del tejido productivo en Chile que quedó atrás como consecuencia, primero, de los problemas internos que teníamos y, después, por la pandemia.

La idea es cómo hacer un proceso de recuperación con un foco más inclusivo.

Aquí la inclusión tiene que ver con el sentido de que, por ejemplo, el sistema financiero tradicional no llega a ciertos ámbitos y sectores por el tamaño de las empresas o incluso, porque están en un territorio un poquito más alejado. Parte de nuestro quehacer, junto con Sercotec y otras instituciones públicas, es llegar con nuevos instrumentos. Esto es lo que nos ha encomendado el Presidente de la República por medio del Programa de Chile Apoya y es un trabajo que nos va a tener ocupados unos 2 a 3 años, junto con seguir reforzando nuestros programas de garantías, financiamiento y refinanciamiento.

El segundo ámbito es el capital de riesgo. Estos son mecanismos de apoyo público-privado para empresas que recién comienzan, con un alto componente tecnológico y que no solamente tienen más riesgos, sino que también incertidumbre tecnológica temprana.

CORFO fue realmente señora y bien original en tratar de desarrollar este mercado en Chile mediante los fondos de capital de riesgo. Quizás muchos recordarán que los primeros fondos no tenían tanto de riesgo, pero hoy día, efectivamente, están más focalizados en temas verdes,

en el ámbito indígena, etc. Entonces, un segundo ámbito que queremos fortalecer son los programas de Start-Up Chile, para apalancar de alguna manera lo que hoy está ocurriendo activamente en el sector privado por medio de los Family Office.

El tercer tema es la Banca Nacional de Desarrollo. Y déjeme detenerme un poco aquí para explicarles qué pensamos hacer con esto, porque la CORFO no se va a transformar en una Banca Nacional de Desarrollo. Esta banca, en realidad, tiene dos partes: por un lado, los elementos más institucionales, que tienen que crearse por ley y ser aprobados por el Congreso, además de su capitalización, gobierno corporativo, etc. Todo esto puede demorarse un poco y por eso el Ministerio de Economía ha asumido un rol coordinador con la participación de muchas instituciones, incluyendo el Banco Estado, el Ministerio de Hacienda y obviamente nosotros, entre otros.

Pero hay otra parte de la Banca Nacional de Desarrollo que es saber hacer, entender cómo se desarrollan y cómo se generan las competencias y las capacidades para actuar como Banca Nacional de Desarrollo. Me explico. Una de las características de estas instituciones es que pueden evaluar con sus equipos internos no solo financiera, sino que también técnicamente proyectos relativamente importantes. Porque cuando llega un proyecto nuevo, por ejemplo, de una nueva especie en el sector acuícola, o para el desarrollo de alguna tecnología para relaves o fundición en minería, se necesita capacidad técnica para evaluarlos y establecer que están en una etapa de viabilidad tecnológica, a nivel de piloto, y que necesitan hacer el escalamiento al tamaño natural de producción.

Se requiere evaluar proyectos en que, generalmente, las inversiones van del orden de 20 a 30 millones de dólares, en promedio, y ustedes se pueden imaginar que no hay subsidio o financiamiento público para algo de ese tamaño. Tampoco los capitales de riesgo entran en estos proyectos con esos montos y la banca tradicional menos. Y no es un problema de riesgo, sino que todavía hay incertidumbre tecnológica y sobre todo comercial.

La Banca Nacional de Desarrollo es una figura que apunta a este nicho que no existe en Chile. Hoy en CORFO tenemos cerca de 30 proyectos que han pasado por nuestros programas y que están potencialmente en esta etapa. Lo que queremos es instalar esta capacidad para poder evaluarlos

en su parte financiera y técnica, y una vez que se adquieran esas habilidades y competencias y, además, esté la parte legal lista, lo ponemos todos juntos en una nueva institución llamada Banca Nacional de Desarrollo.

Destaco que nuestro rol tiene que ver con el saber hacer, con conocer todo desde el punto de vista operativo, de cómo funcionaría una Banca Nacional de Desarrollo.

El segundo pilar es el de **emprendimiento, innovación y fomento productivo** (Figura 4).



Figura 4

Estas son herramientas que la CORFO ha venido desarrollando por mucho tiempo. Muchos programas han ido cambiando de nombre, más por un tema de marketing, pero son las mismas herramientas más algunas nuevas. Y aquí es donde nosotros queremos hacer una gran diferencia.

En general, el mecanismo de todo este apoyo es un sistema de ventanilla nacional y neutral que, principalmente, hace competir los proyectos entre ellos, independientemente de los estados de maduración que tienen o el territorio del que vienen, lo que lo hace un sistema relativamente injusto.

Cuando existen desarrollos desiguales y heterogéneos, no solamente entre regiones, sino incluso al interior de las regiones, se puede actuar desde el concepto de “*eficiencia estática*” (que enfatizan mucho mis colegas Ministros de Hacienda y Economistas), donde se asignan recursos financieros a aquellos que tienen las mejores potencialidades hoy. Pero se olvidan de una cosa que se llama la “*eficiencia dinámica*”, y es que, si bien se puede partir desde más atrás, el trayecto se puede hacer mucho más rápido. Por lo tanto, si solo se

utiliza *eficiencia estática*, con concursos nacionales donde se hace competir a todos los proyectos entre ellos, esto no permite que surjan oportunidades que pueden estar en el territorio. Quizás, algunas de ellas estén un poquito más atrasadas, pero pueden tener un potencial enorme.

Por eso estamos haciendo un esfuerzo por ‘dar vuelta’ la CORFO y que lo que hacemos esté al servicio de las estrategias de desarrollo productivo e innovación que cada una de las regiones definan. Esto es muy consistente con el proceso de descentralización en marcha. Requiere un fortalecimiento de nuestras capacidades y nuestras direcciones regionales, pero no las vamos a hacer competir entre ellas, sobre todo, los de estos tres ámbitos. Aquí, principalmente, el mérito tiene que ver con las agendas de cada región.

Este es un desafío enorme, como pueden imaginarse, pero las señales son muy fuertes respecto a los temas de impulso productivo, anclado al territorio y, sobre todo, con los focos que las mismas regiones les quieran dar. De hecho, muchas tienen estrategias de desarrollo, por ejemplo, vinculados con los temas de sustentabilidad u otros elementos que tienen que ver con género o con sus propios anhelos, historia e idiosincrasia. Nosotros queremos velar porque exista un buen uso de los recursos, por lo tanto, los temas de evaluación los vamos a hacer de una forma más centralizada.

Pero hay otro tema muy claro: la mirada ecosistémica. Vamos a seguir empujando un financiamiento de proyectos a nivel individual, ya sea para empresas establecidas, para que incorporen innovación dentro de las mismas; o para empresas nuevas, por medio de programas de fomento o de emprendimiento, como Start-Up Chile. Pero también nos vamos a concentrar, sobre todo en los territorios, para empujar y ver que estén todas las piezas y partes para generar un ecosistema. Que todo esto florezca. Por lo tanto, vamos a apoyar también lo que está faltando, desde el punto de vista financiero, sobre el vínculo con las universidades, la formación de capital humano, entre otras.

Se trata de ajustar la mirada para que se desarrollen estos ecosistemas, pero desde los territorios. Además de seguir empujando la agenda de emprendimiento e innovación desde un enfoque tradicional, también debe ser en función de los anhelos de los intereses y de las estrategias de cada una de las regiones.

Y, finalmente, está la **nueva política industrial** (Figura 5).



Figura 5

En realidad, quiero hacer la analogía con la vieja política industrial que en la práctica era más bien seleccionar tecnologías o sectores. Nosotros no estamos con esa mirada. Hoy día, a nivel mundial, muchos países se están moviendo a la idea de que uno se plantea una misión con un objetivo claro, con plazo definido y una métrica definida, y al lograrlo, consigue el bienestar de los ciudadanos.

Claramente la administración anterior ya venía empujando esto. El tema de la descarbonización para el 2050, por ejemplo, cumple todas las características de una misión: 1) implica un periodo definido –al año 2050–; 2) descarbonizar completamente el país implica muchas actividades; y 3) obviamente, la descarbonización tiene pensado –o por lo menos uno esperaría– que el resultado más importante sea poder vivir en un medio ambiente más sano y, en lo que concierne a Chile, dejar un mundo descarbonizado para las generaciones siguientes.

Entonces, la nueva política industrial no solo la entendemos como una forma de estructurar distintos esfuerzos, además, vamos a tratar de buscar una misión que tenga estas características. Y la primera de ellas es la descarbonización al 2050 y, fíjense que el hidrógeno verde, para nuestros ojos, es una herramienta, un mecanismo, un paso, para lograr esa descarbonización. Por lo tanto, en esas demandas derivadas de esta misión, y en línea con esta nueva política industrial, lo que haremos es estructurar institucionalmente y después, en particular, ver con el hidrógeno verde cómo lo estamos haciendo y los esfuerzos que son necesarios para lograr esta descarbonización.

Ustedes sabrán qué en la descarbonización, por ejemplo, el 50% de la meta de Chile depende el sector forestal, de

la captura del CO₂ por medio de los bosques, tanto de los nativos como de las nuevas producciones. El esfuerzo que tenemos que hacer, de aquí a los próximos 30 años, es en el sector forestal y esto se traduce en que la producción de celulosa lo único que hace es liberar todo ese CO₂. Se está discutiendo a nivel mundial, por ejemplo, cómo las industrias que utilicen madera no liberen el CO₂ que está capturado en la madera, sino que la mantengan en la captura. Bueno, ese es un tema pendiente, se los dejó para discutirlo después con más detalle, pero en el caso particular del hidrógeno verde, es una herramienta por intermedio del cambio de la matriz energética.

Entendemos, en parte, la nueva política industrial como toda actividad que, desde el punto de vista productivo, incluye innovación, emprendimiento, nuevas empresas y nuevos sectores orientados a lograr esta descarbonización.

Obviamente, se requiere hacer otras cosas adicionales. No es solamente lo productivo, sino que también tiene que ver con temas sociales. Y el tercer pilar de CORFO, del que después hablaré en detalle, tiene estas cosas adicionales.

Como he dicho, la nueva CORFO rescata y empuja cosas antiguas que venía haciendo e incorpora temas adicionales; este es precisamente el mandato que nos ha dado el Presidente de la República en estas materias.

Vamos ahora a los temas de **hidrógeno verde** (Figura 6).



Figura 6

Desde CORFO y el Gobierno en general, entendemos el hidrógeno verde como una herramienta funcional para conseguir esta misión de descarbonizar Chile el 2050.

Para eso hemos hecho muchas cosas y voy a ir en detalle a algunas de ellas.

Este es un problema relativamente sistémico, que no solamente incluye al sector público, porque no depende, por ejemplo, solo de un Ministerio como el de Energía, sino también tiene que ver con el Ministerio de Economía, Bienes Nacionales, obviamente Relaciones Exteriores, que también pueden hablar un poco de esto. Entonces, primero, hay que resolver problemas de coordinación pública, para después pasar a la coordinación con el mundo privado.

El mundo privado necesita señales del sector público. Hoy los precios no son suficientes para generar los incentivos para involucrarse activamente en esto, entonces, lo que necesitan los privados son señales de todo tipo. Esto es importante. Hay recursos públicos sobre la mesa, hay interés para solucionar problemas de coordinación, temas regulatorios y para qué decir los temas asociados. Por ejemplo, el territorio. En la organización territorial logística, a través de puertos, hay bastantes cosas.

En esa línea, dos semanas atrás hemos creado una figura jurídica que tiene una flexibilidad que en otros ámbitos públicos no existe: creamos un Comité CORFO vinculado a los temas la industria de hidrógeno verde en Chile. Éste forma parte de la estrategia nacional del compromiso descarbonización y está dentro del nuevo modelo de desarrollo más sustentable, que descansa en todo lo que estamos planteando.

Este nuevo Comité de CORFO lo lidera el Ministerio de Energía, pero participan 11 Ministerios adicionales y la idea es desarrollar un conjunto de mesas para ver temas del territorio, por ejemplo, Magallanes o Mejillones, que son los más evidentes; el vínculo con las relaciones internacionales; los temas relacionados con la producción de ciertos bienes y servicios que son necesarios, entre otros.

Todo esto lo quisiera estructurar en tres temas que veremos con respecto al hidrógeno verde y que son clave: Primero, tiene que ver con desarrollar la capacidad de producción de energía y de hidrógeno verde en Chile.

Segundo, la reconversión de sectores tradicionales chilenos para utilizar energéticos limpios, por ejemplo, entre ellos, el hidrógeno verde. La minería es uno, la agroindustria es otro, el sector del transporte, incluso el transporte naviero,

tanto local como internacional, que es otro que requiere hacer esta reconversión.

Finalmente, la exportación, porque tenemos una ventaja competitiva en Chile en la producción de energía que es necesaria para producir hidrógeno verde. Esto nos da una potencialidad a nivel mundial, sobre todo en un mundo que está demandando cada vez más de esto, a lo que se agrega la crisis del gas en Europa. Actualmente, hay demandas muy importantes para este tipo de energético, por los problemas que tienen sobre todo con los bonos de carbono en Europa y sus derivados.

En el contexto de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (Figura 7), que se desarrolló durante la administración anterior, es muy interesante respecto a la ambición que se tiene de aquí, por ejemplo, al 2030, relacionado con hidrógeno verde.



Figura 7

Lo primero, convertirnos en tres años en un lugar para invertir en el desarrollo de hidrógeno verde y para atender, sobre todo, la demanda local; y para esto se requiere una capacidad de electrolisis construida y en desarrollo. Para que tengan una idea, hoy la producción del mundo es 1 GB aproximadamente y Chile acaba de firmar un Acuerdo para, de aquí a 3 años más, a fines de 2025, tener la mayor producción de hidrógeno verde del mundo.

Hay dos polos de hidrógeno verde en Chile y estamos pensando precisamente en el norte, en la zona de Mejillones, aprovechando los temas solares y eólico; y en el sur, en toda la zona de Magallanes, principalmente por la energía eólica. Y después viene la parte de empezar a exportar.

En hidrógeno verde y sus derivados, la idea es que sea más barato. Hoy, con respecto del hidrógeno gris, está más caro, pero, obviamente debiera ser más competitivo en el futuro, por medio del cambio tecnológico, la mejora de electrolizadores, y el cambio de los precios relativos de la energía, entre otros factores, por el aumento de los impuestos verdes que está empezando a ocurrir. De hecho, en Europa ya empezaron a subir todos los impuestos asociados a importaciones que tengan trazado de CO₂ y en Chile, la idea es que se van a aplicar y va a empezar a ser más barato el tipo de producción de hidrógeno verde, en términos relativos y absolutos.

Nuestra meta es llegar a ser líder mundial de producción de hidrógeno verde por electrólisis, alcanzar unos 25 GW en 2030.

Para que tengan una dimensión de la cantidad de energía que necesitamos para lograr esto: de aquí al 2030 tendremos que duplicar la capacidad de producción de energía eléctrica que tenemos actualmente en Chile. Hoy se producen algo más de 25 GB y la idea es aumentarlo a otros 25, solamente para los temas de hidrógeno verde. Esa es la escala de lo qué significa esto. Y además está el desafío desde el punto de vista de las inversiones, desde la producción energética, eléctrica, la transmisión y después producción, particularmente el hidrógeno verde.

¿Qué hemos hecho en términos gruesos? (Figuras 8 y 9).

Aquí hay una visión más o menos larga de lo que hemos hecho, pero me voy a concentrar en 2 o 3 cosas. Este es un tema que se viene trabajando hace mucho tiempo, particularmente, desde la CORFO. Es una política del Estado más que del Gobierno. Y eso es muy importante.

Nosotros estamos considerando e incorporando todo el desarrollo que hizo CORFO y el Exministro de Energía, Juan Carlos Jobet, y estamos dándole un plus, por ejemplo, una participación más activa del Estado en el desarrollo de encadenamientos productivos o en temas de sostenibilidad, entre otros.

En 2020 se hizo un llamado a licitación desde CORFO y se seleccionaron 6 proyectos, con un mecanismo de subsidio bastante *clever*: fue un llamado para instalación de capacidades de electrólisis a escala pequeña aún, con una producción total de 0,4 GB de energía aproximada, necesaria para producir los de hidrógeno verde. Había 50

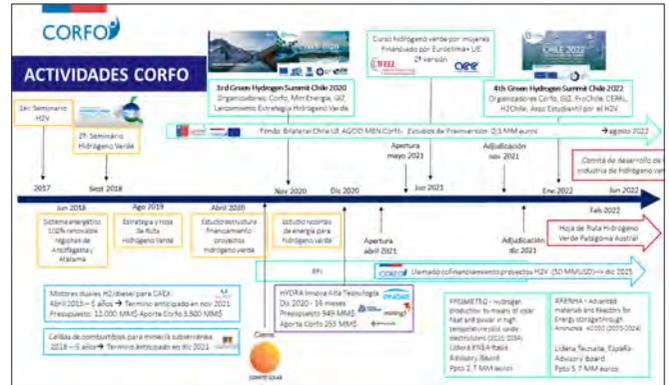


Figura 8

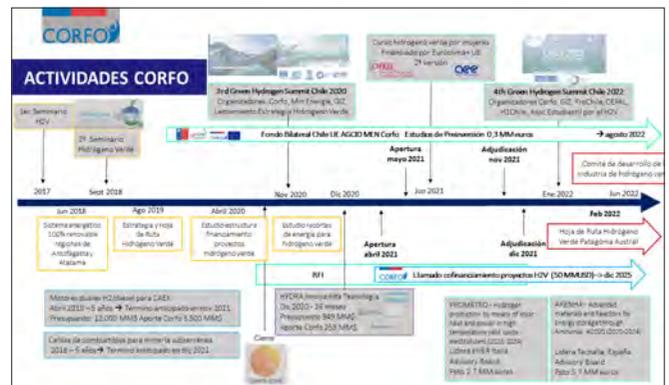


Figura 9



Figura 10

millones de dólares disponibles desde la CORFO y en esta selección hay tanto empresas nacionales como extranjeras. Los acuerdos de este llamado indican que estas empresas tienen que estar operando para el 2025. Es en ese momento en que están operando que recién se les entregará subsidio. No es antes, sino después (Figura 10).

Este subsidio de 50 millones de dólares logró apalancar 1.000 millones de dólares en inversiones de estos 6 grupos y principalmente orientado a producir hidrógeno verde para la demanda local.

Esta es una señal súper fuerte. Por lo tanto, quiero enfatizar que, si en diciembre de 2025 no están produciendo lo que comprometieron, el Estado no pone los 50 millones de dólares, así de fácil. En ese momento la producción alcanzará los 0,4 GB, por lo que Chile va a tener la mayor producción de hidrógeno verde del mundo, es poquito para los desafíos que hay, pero por lo menos vamos a ser el líder mundial en esto.

Obviamente se han desarrollado otras cosas como fondos para el desarrollo de la transición (Figura 11). Estos son estudios de pre-inversión, que vienen más adelante. Ahí están las empresas que están involucradas en producción de amoníaco, el reemplazo del diésel; esto tiene que ver con la transición, pero principalmente lo que estamos haciendo es lo siguiente:



Figura 11

Lo primero es atraer inversión para desarrollar proyectos de hidrógeno verde que atiendan demandas locales. A nosotros, como administración, nos interesa mucho que esto genere valor local. Y hay dos formas de hacerlo. Una, evidentemente, es la transformación energética de las industrias locales para incorporar hidrógeno verde que es mejor para el medio ambiente, pero hay otros temas de valor local que tienen que ver con el lado de la oferta, la parte productiva. Sin ir más lejos, la producción de electrolizadores.

Ustedes, mejor que nadie, saben que el hidrógeno como energético se utiliza hace más de 100 años y, por lo tanto, los electrolizadores existen hace muchísimo tiempo. Todas las patentes están expiradas y los elementos y materiales que se requieren para producir electrolizadores existen en Chile: todos o el 99,5% del valor está aquí. Además, a diferencia de las baterías de litio para automóviles, que si las fabricamos en Chile tenemos que llevarlas a Estados Unidos o los mercados donde se fabrican los vehículos, los electrolizadores se van a utilizar aquí. O sea, si queremos traer electrolizadores de otros países tienen el costo de transporte que afecta. Es ahí donde tenemos una enorme oportunidad de desarrollar una industria nueva vinculada, por ejemplo, al tema de producción de electrolizadores.

Nosotros estamos empujando lo que se llama “Compras Públicas Innovadoras”, que es un mecanismo que no existe en Chile como política de promoción de la innovación, y que consiste en que las empresas públicas y/o sectores o en ministerios sectoriales, estén interesados en desarrollar y asegurar cierta demanda para que proveedores chilenos estén dispuestos a producir este tipo de bienes y servicios para una demanda que es más o menos palpable y visible.

Por ejemplo, lo que estamos empujando es una agenda con ENAP, para que ellos desarrollen toda una producción. De hecho, uno de los contratos es para la demanda derivada de electrolizadores, para que hagan una licitación con criterios de selección que incluyan el precio, y también, un segundo contenido: desarrollo nacional. O sea, aquello que en los electrolizadores condicionan el precio, obtengan mayor contenido nacional.

Y es que nos interesa dar una señal muy interesante y fuerte al sector privado chileno para desarrollar esa competencia, esa capacidad. Si esas competencias y capacidades se desarrollan en mediano y largo plazo uno esperaría, tal como lo hacen todos los países, hacer una inversión extranjera inteligente, es decir, ya perdimos un poco la carrera desde el punto de vista tecnológico en el área solar, producción científica y tecnológica en paneles o también la tenemos un poco perdida en los temas, por ejemplo, de producción o de generación eólica. Pero no tenemos perdida la carrera en producción de electrolizadores, por lo menos los números van en esa dirección. Podemos ser marginalmente más caros, incluso corrigiendo por los costos de transporte, pero si tenemos una energía que es más barata en términos

relativos, energía verde, obviamente hay una compensación entre uno y otro y por lo tanto eso no se transmite al precio final del hidrógeno verde.

Este es el tipo de cosas que estamos pensando en la coordinación público-privada, que puede llevar adelante un espacio como el Comité CORFO, y que son parte de los proyectos que apuntan en esa dirección.

Un segundo tema son los proyectos que tienen que ver con la transformación de los sectores tradicionales chilenos al utilizar, por ejemplo, hidrógeno verde u otros energéticos (Figura 12). Estoy pensando en la minería con los camiones y los sistemas de fundición, en la agroindustria o todos los sistemas que usan calor. Hay muchos sectores que utilizan el calor como medio energético para sus procesos productivos. Para qué decir el tema de transporte, incluso, de barcos de mediano alcance. Todos requieren esa transformación. Después veremos dónde están los garrotes, pero ya se pueden imaginar que los impuestos verdes son uno de los temas más importantes.



Figura 12

Ahora ¿cómo logramos generar capacidad local para atender esa demanda que va a salir de estos sectores? De alguna manera tenemos que generar un espacio para que haya una oferta de proveedores, que no existe actualmente en Chile, para ayudar a estos sectores en el proceso de transformación con mantención y servicios. Un desarrollo que vulgarmente se conoce como “proceso de desarrollo de proveedores” pero orientado a lo que no hicimos en el ámbito solar –y donde creo que nos equivocamos– en que la mantención de los sistemas solares se hace con capital humano y empresas extranjeras.

Uno podría preguntarse por qué no repetir los mismos proveedores internacionales, que ya conocen de esto y pueden ser mucho más efectivos. Como el caso alemán, belga, francés, suizo, que son expertos en temas de proveedores de la transformación de empresas al uso de hidrógeno verde u otro energético. Y rápidamente nos hemos dado cuenta de que en realidad para los países –diré una cosa curiosa– le sale más conveniente hacer toda la transferencia a nuestras capacidades locales a cambio de los bonos de carbono.

A Europa, en este momento, le sale muy caro bajar sus cuotas de carbono porque tienen restricciones muy altas, por lo tanto, si logramos hacer la reducción de carbono en nuestra industria, vamos a tener un excedente de bonos de carbono que podríamos intercambiar con ellos, gracias al Artículo 6 del Acuerdo de París. Y hay 2 o 3 países con los que tenemos conversaciones muy avanzadas y que están dispuestos a hacernos toda la transferencia a empresas locales y a capacitar gente chilena.

En temas de apoyo de proveedores para empresas grandes, líderes exportadores chilenos como la minería, agroindustria, etc., que quieren hacer esta transformación, también necesitamos resolver un problema de coordinación público-pública, algo que ya comenzamos a hacer.

Y finalmente, para el tercer pilar, las exportaciones, también necesitamos resolver problemas de coordinación público-pública, sobre todo los temas del territorio. Incluir a las comunidades en las etapas tempranas, estudiando temas que a veces se nos olvida, como, por ejemplo, la migración de pájaros que tiene parados 2 o 3 proyectos en el norte y sur.

Es importante ver también cómo generamos estas ganancias en el territorio y evitar, por ejemplo, que cada empresa, que quiera desarrollar sus Plantas de hidrógeno verde, tenga un puerto. Si no, vamos a terminar con 20 puertos. En cambio, debemos avanzar en cómo utilizamos las tuberías y las cañerías con las que se puede mezclar gas con hidrógeno hasta un 20% o 15% y tener un puerto o dos, que den las capacidades suficientes. Todo esto por el lado de las exportaciones, producción de amoníaco y de combustibles sintéticos. Aquí es clave la coordinación público-pública, porque, por ejemplo, entra Bienes Nacionales para la asignación de los terrenos para los aerogeneradores.

Está también todo el tema de transporte, tanto de energético, como puede ser de hidrógeno a través de las tuberías –o su

cambio– y la utilización de la logística en el puerto, en que los precios no son la mejor manera de asignación en una economía de mercado, porque se demoran en resolver esto.

Voy terminando por el tema del tiempo, pero este es el tercer pilar de en el que estamos pensando y cómo el Comité ayuda en esa dirección.

Estas son las plataformas territoriales que estamos desarrollando de hidrógeno verde en el caso particular del Programa Estratégico en Magallanes. Sirve para ver todos los problemas de coordinación que hay entre la generación, la producción de hidrógeno verde, el transporte del mismo, la logística y el envío en el caso de la exportación (Figura 13).



Figura 13

Nuestros indicadores de éxito son precisamente los que están definidos en la estrategia: lograr ser el mayor inversionista en hidrógeno verde (Figura 14).



Figura 14

Tener una capacidad electrólisis, producir y exportar, pero para nosotros, como nueva administración, es muy importante generar valor local a través de 9 empresas nacionales en la cadena, empleos de mejor calidad y la reducción evidente del valor de CO₂ a nivel nacional, donde está la parte con la ciudadanía por medio de hojas de ruta en materia de desarrollo tecnológico que están en proceso.

Los números que estamos viendo no los inventamos nosotros, es un estudio que hizo la GYZ sobre los impactos en la creación de empleo. De aquí hasta el 2050 se pueden llegar hasta 94.000 empleos, sobre todo en la construcción de planta y la mantención de esta. Ese tipo de empleo es mucho más sofisticado del que tenemos en promedio. Las inversiones y recursos financieros que se requieren para llevar todo esto adelante son realmente impresionantes (Figuras 15A y B).



Figura 15A



Figura 15B

Y lo mismo desde el punto de vista del *tracking* que puede generar este encadenamiento aguas arriba o aguas abajo, sobre todo, en la parte de proveedores, tanto los que tienen que ver con la producción de ciertos elementos en la generación misma de hidrógeno verde, como también, en la transformación de sectores tradicionales a la incorporación de estos nuevos energéticos y donde hay un espacio muy interesante para estas nuevas pymes.

Con estas competencias y capacidad hay un desafío. Pero estamos avanzando en esta línea con algunas instituciones como la Fundación Chile.

Disculpen si me alargue un poco en los tiempos. Encantado de escuchar sus comentarios y preguntas con respecto a este tema.

Muchas gracias.

Al término de la conferencia, el Sr. José Miguel Benavente respondió consultas y comentarios de los asistentes. A continuación, reproducimos lo más relevante de estas intervenciones.

Sebastián Cea.

—¿Cómo interactúan los nuevos lineamientos de CORFO con la nueva estrategia nacional de ciencia, tecnología, conocimiento e innovación para el desarrollo de Chile, en particular en lo relativo a las regiones y experiencias previas?

Sr. José Miguel Benavente.

—Esa estrategia sale del Consejo Nacional de Innovación del cual me tocó formar parte en su creación y fui su vicepresidente por 10 años, así que la conozco un poco más en detalle. Interactúan de varias maneras; la primera en entender que, de alguna manera, en esa estrategia está la idea del concepto de las misiones, que es un tema, es el primer nivel, más estratégico. O sea, entender las misiones como un elemento central que tiene que ver con la forma en que uno orienta el esfuerzo de la ciencia, innovación y emprendimiento en particular. El segundo elemento que yo creo que es importante es que, en este mundo de la CORFO, necesitamos el tema de la ciencia y la innovación, pero de

una manera más funcional. Me explico, o sea, el desarrollo de la ciencia y tecnología es clave y el balance que tenemos en la historia chilena es que ha estado muy orientada a los instrumentos, los mecanismos y la forma de financiarla, y lo que entendemos es que la ciencia y tecnología también están en la estrategia, está en ver esa parte más funcional, es decir, que esté disponible ese conocimiento, precisamente para atender los desafíos que surgen de esta misión. Otro elemento característico que tiene esa estrategia es el desarrollo del territorio, entendemos en la CORFO también lo relevante que es el territorio. En el caso de la estrategia habla mucho del anclaje del territorio en las oportunidades que se generan ahí, esto va en la misma dirección, en la forma de desarrollarlo, de una manera consistente y amigable con el medio ambiente, buscando incorporar a distintos actores que están en el territorio que han estado ahí la idea de ellos obviamente, sobre todo estoy pensando en los pueblos originarios, es mantenerse ahí, eso también está vinculado en la estrategia. Y en la parte operativa digámoslo así, que es el tercer nivel, tenemos una vinculación muy cercana con el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, en el cual precisamente lo que tenemos es una separación de las actividades en que todo aquello que es financiamiento para este tipo de actividades, que vienen más por el lado de la oferta, por ejemplo, que sea desde las universidades y que se pueden transformar el emprendimiento de base científica tecnológica, eso es una cosa que es más del menester del Ministerio, mientras que la CORFO va por otro lado, que es más tirado por la demanda; demanda que puede ser privada, de conocimiento por ejemplo. Y si quiero desarrollar algunos temas de paneles etc. y necesito ciencia, en el fondo que esa ciencia sea funcional para atender estas preguntas, como también de la demanda que puede venir del sector público. Cuando hablamos de las compras públicas innovadoras, es decir tanto las empresas públicas o temas públicos, como pueden ser desastres naturales y otros elementos, en los cuales la ciencia responde más funcionalmente a atender los problemas que no son definidos por ellos mismos, obviamente un tema de propiedad intelectual asociado a esto, que es muy importante destacar y entonces la parte operativa entre ambos Ministerios de alguna manera lo estamos haciendo. Entonces, para resumir un poco y quisiera ser bien claro es decir que, en general en Chile y en Latinoamérica había una división como los temas ciencia y tecnología van por un carril, innovación y emprendimiento van por otro carril, nosotros entendemos esto como dos triángulos arriba y abajo en un rectángulo, donde obviamente hay gran parte ciencia, tecnología e

innovación y cada vez menos emprendimiento base científica tecnológica va por el carril de abajo, que necesita del Ministerio de Ciencias y el triángulo de arriba es obviamente emprendimiento, innovación tecnología y ciencia, y va por el carril de arriba tirado por la demanda, en el fondo, es menester de CORFO no sé si con eso contesté la pregunta.

Sr. Rodolfo Krause.

—¿Con quién en CORFO se debe contactar directamente para presentar una iniciativa así?

Sr. José Miguel Benavente.

—CORFO, tiene una página web, que a mí no me gusta mucho y la estamos tratando de cambiar un poco. Están ahí todos los llamados y uno pueden hacer un conjunto de preguntas, dependiendo de la iniciativa, si es de ciencia e innovación, de emprendimiento, desarrollo productivo, y le va a orientando, pero siento que todavía no está tan clara y, por lo tanto, lo que estamos tratando de desarrollar sobre todo en el territorio, es que nuestros ejecutivos se vinculan con la Dirección Regional y los ejecutivos le pueden ayudar a orientarse sobre cuáles son las ventanillas y apoyarlo en el proceso de postulación. Pero para contestarle particularmente al Señor Krause, ahora la página web de la CORFO ayuda bastante dónde y cómo puede llegar, tenemos más de cien instrumentos distintos para atender iniciativas diferentes, dependiendo de aquella que quiera llevar adelante.

Sr. Rodrigo Barahona.

—¿Existe un diagnóstico regional de potencialidades de uso de desarrollo hidrógeno verde?

Sr. José Miguel Benavente.

—Una cosa es el potencial de desarrollo de hidrógeno verde y el potencial de uso. En el desarrollo sí, obviamente hay muchos estudios que nos ha ayudado en la estrategia nacional e incluso, de la administración pasada, hay una serie de documentos que respaldan esto, que principalmente apuntan a los temas de generación, esto depende mucho la generación de energía limpia y, por lo tanto, los lugares

naturales son, el norte de Chile por la solar y por algo de eólico y en el sur por lo eólico. De paso están los usos y ahí tenemos varios estudios. Ahora, la pregunta central es qué es lo que se transmite, transmito electrones o transmito moléculas, si es por una red de energía verde que después la conecto y hago la electrólisis in situ en los sectores productivos, la minería, o en el caso por ejemplo el sector agroindustrial, o al revés produzco el hidrógeno verde in situ, en el fondo donde se produce energía y me llevo el hidrógeno y cada uno tiene sus ventajas y sus desventajas. Con respecto al primero, para contestar un poco más en específico, la única manera que yo pueda producir hidrógeno verde in situ, pegado a las empresas demandantes, me tengo que asegurar que la red eléctrica transmita energía limpia y en Chile eso va a demorarse mucho todavía, no vamos en 10 años a tener toda la energía limpia, vamos a mezclar energía desde fuentes distintas.

Entonces este es un tema, un desafío. Pero, por el otro lado, transportar hidrógeno no es trivial, generalmente uno tiene que transportarlo en distintos mecanismos o uno usa mucha presión y necesita mucha energía para licuar el hidrógeno, además de que es medio peligroso en ciertas circunstancias o, lo otro, transformó en un material que puedo transitarlo como amoniaco, pero también requiero transformar el hidrógeno verde en amoniaco y después el amoniaco devolverlo. Entonces, eso es parte del desafío que hoy día se están planteando distintas propuestas para ver dónde va a ser el uso de éste. Y la pregunta de usos, más allá de los temas de fuente energética, obviamente hay toda una industria que está utilizando celdas de hidrógeno para distintas cosas en este caso por ejemplo, para calentamiento, para temas de transporte, y esa es una carrera respecto de la cual Chile está un poquito lejos porque esto empezó, como les decía el hidrógeno como combustible existe hace mucho tiempo, la diferencia que tenemos es la forma en que lo producimos la energía y por lo tanto en esa carrera que lleva más de 50 a 60 años, creo que Chile está un poquito alejado, salvo en algunas cosas que tienen que con los mecanismos de producción, por ejemplo de electrolizadores, en que es Australia la que lleva en esto la delantera, haciendo más eficiente el proceso.

Sr. Juan Carlos Latorre.

—¿Cómo se han establecido los vínculos con nuestras universidades?

Sr. José Miguel Benavente.

—Obviamente hay algunos de los proyectos que mostré que tienen un vínculo directo con las universidades, pero esto de alguna manera es una transformación del modo en que las universidades entienden el apoyo a este tipo de actividades. De nuevo, esto ha estado un poco desbalanceado y yo viniendo del mundo universitario toda mi vida lo he visto, porque los mecanismos de incentivos, los programas, están diseñados para que sea mucho por el lado de la oferta y hoy día tenemos que transformar esto un poco para que sea por el lado de la demanda, donde las universidades son más bien funcionales. En el mundo científico, que vive dentro de la Universidad es una cosa bien particular chilena, porque el mundo científico no necesariamente tiene que vivir de la Universidad; el sistema alemán quizá el contraejemplo más importante y es un tema destacar. Para resolverlo entonces, dentro de este Comité CORFO tenemos una de las mesas que están diseñadas y que tiene que ver justamente con el tema del vínculo entre el mundo privado, el mundo público y el mundo universitario, para desarrollar competencias y capacidades, no solamente conocimiento, sino que vamos a requerir muchos temas de formación de capital humano incluso avanzado, para enfrentar los desafíos que tiene este tipo de energético en la industria en general, en los 3 pilares que recién les mencionaba.

Sr. Sebastián Aylwin.

—¿Cómo evalúan las dificultades territoriales y tiempo de demora que hoy se verifica en el Sistema de Evaluación Ambiental, existen estrategias para reunir las complejidades actuales en proyectos similares?

Sr. José Miguel Benavente.

—Sí, está justamente otra mesa creada, en el fondo, dentro del comité de hidrógeno verde para ver exactamente este tema. Por ejemplo, resolver el tema que ya se están anticipando con respecto a los sistemas de evaluación ambiental; como les decía, el caso más notorio ha sido el de la migración de las aves, sobre todo en centrales aerogeneradores. A la gente que defiende las aves uno le pregunta qué es lo que tenemos que hacer y los tipos dicen: no sabemos, porque no conocemos las migraciones, pero nos vamos a oponer

igual. Entonces, de alguna manera, lo que se está haciendo es todo un sistema de, por ejemplo, financiamiento, ya que es esperable que cada uno de los proyectos financie el desarrollo de la información que después va a ser información privada que no se va a compartir y, por lo tanto, hay un espacio de política pública para generar información, por ejemplo, en el tema de migraciones. Todo eso, de alguna manera se está incorporando a través de bienes públicos para, en este proceso, no saltarse las etapas, pero sí buscar procesos para que éstos sean más rápidos en los temas de evaluación ambiental. Un tema clave con esto es la incorporación temprana de la ciudadanía, particularmente cuando hay pueblos originarios, por lo tanto, como les decía otra de las mesas que está definida va a ser temas de territorio. La primera de todas va a ser Magallanes y obviamente en la de Magallanes incorporar a la sociedad civil organizada desde el comienzo, para justamente evitar que este proceso del sistema de evaluación que es muy necesario, no se encuentre con sorpresas y problemas en su desarrollo en el transcurso del tiempo.

Sr. Douglas Pollock.

—Pareciera desprenderse de la presentación que un elemento importante para el éxito del hidrógeno verde es el Artículo 6 del Acuerdo Paris. Sin embargo, ese Artículo no ha sido acordado por las naciones ni la COP 25 ni la COP 26 ¿cuál es su opinión al respecto?

Sr. José Miguel Benavente.

—Muy buena pregunta. La información que yo manejo de la Ministra Rojas, que es la que está involucrada directamente, es que están muy avanzadas las conversaciones, precisamente porque hoy día por estas transformaciones que están ocurriendo en ciertos países, incluido el nuestro, les sale muy conveniente que ese mercado se active y es cosa de meses que esto se implemente.

Sr. Cristian Hermansen.

—¿La industria geotérmica está aumentando y ya se tiene la primera planta en Cerro Pabellón, se tiene en consideración la geotermia en la planificación de hidrógeno verde?

Sr. José Miguel Benavente.

—Obviamente no soy el experto en esto, pero en la discusión que hay en este panel de temas de fuentes energéticas para producción de hidrógeno verde, que va a ser dentro del contexto del Comité de CORFO, entiendo que se van a estudiar todos los temas de fuentes energéticas para conseguirlo, las más obvias son estas dos, pero me imagino que el tema de producción geotérmica podría ser una alternativa, pero sinceramente desconozco si están viendo ésta en particular.

Sr. Alejandro Steiner.

—¿Cómo hará CORFO para empujar a los inversionistas que compartan los recursos de infraestructura?

Sr. José Miguel Benavente.

—La CORFO no se mete directamente en los temas de infraestructura, lo que CORFO va a hacer es tratar de solucionar problemas de coordinación público-público y público privada, entre ellos el tema de infraestructura. Como decía las mesas diseñadas actualmente, creo que son 9 y una de ellas tiene que ver con el tema de infraestructura, entonces la idea es que el Ministerio de Obras Públicas, el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, junto con el sector privado vean los temas de coordinación con respecto a si la infraestructura actual que existe, por ejemplo, el Puerto que está en el sur, ¿es suficiente para atender estas demandas o se requieren cosas adicionales? Y cuando sean bienes públicos, el sector público tendrá que ponerse con recursos o para coordinar con el sector privado, por ejemplo, y compartir los costos de esta infraestructura. La CORFO no ve este tema, pero sí lo que estamos esperando es el espacio para que esta coordinación institucional sobre todo público-público, público privada ocurra y una de las mesas tiene que ver justamente con el tema de infraestructura.

Sr. Mauricio Sarrazin.

—¿Quiénes serían los principales competidores de Chile en el hidrógeno verde?

Sr. José Miguel Benavente.

—Están apareciendo por todos lados. La demanda por hidrógeno verde para descarbonización del mundo es una locura, más o menos los números, si mal no recuerdo, son 700 GW de energía que necesitamos para hacer esto; para que tengan una idea, la capacidad instalada al 2030 en el mundo van a ser 54, es una orden de magnitud más y nosotros con la producción al 2025 de estos 4 proyectos, estos 5 firmados que recién que les mencionaba, vamos a hacer la mayor producción de hidrógeno verde del mundo con menos de 1 GW. Esos son los números que estamos viendo, entonces, la idea de competencia es una idea que tiene de alguna manera una aseveración que yo no creo que esté viniendo de la economía, cuando uno ve una demanda de estas escalas y una oferta tan pequeña creo que no hay tantos espacios para una competencia porque eso implícitamente está diciendo que hay muchos jugadores que se están peleando una torta fija y la idea es ver cómo la llevas lo más eficientemente.

La demanda tan grande, que de alguna manera lo que se está desarrollando son capacidades de apoyo y de trabajo colectivo para atender esa demanda. Ahora, quiénes están metiendo mucho dinero en esto son los países que dependen del petróleo, particularmente los países árabes. Arabia Saudita, hace como un mes atrás acaba de anunciar que va a invertir 5.000 millones de dólares en el desarrollo de la industria hidrógeno verde, particularmente producción de hidrógeno verde porque ellos tienen la ventaja del Sol. 5.000 millones de dólares y CORFO acaba de poner 50 para apoyar la inversión. En Latinoamérica, Chile es el que está más avanzado y hay dos países a los que les sale esto un poquito más fácil porque nosotros no producimos energéticos de base de carbono, particularmente petróleo, por lo tanto, el switching para nosotros, el costo alternativo es más bajo.

Si ustedes piensan en Venezuela en Colombia, Brasil, el mismo Argentina con el gas, México, para ellos en el fondo les va a ser más difícil la aceptación porque el costo total alternativo es más alto porque ellos ya producen esto. Es una situación de estrés puntual que está ocurriendo en este momento en Europa que hace que el precio suba porque hay más demanda por este tipo de fósiles. Entonces lo que quisiera contestar es decir que, en realidad, no hay un tema de competencia porque la demanda es tan grande por lo menos los próximos 30 o 40 años que no hay forma que podamos satisfacerla entre todos actualmente, pero sí

agresivamente muchos países están invirtiendo. Los países, por ejemplo, europeos el problema que tienen es de lugar, físicamente no tienen espacios dónde poner más Plantas porque la cantidad de energía si uno quisiera, más o menos satisfacer la demanda de Chile, para que tenga una idea de producción de energía, primero tenemos que aumentar al doble la producción de energía limpia, esto significa como la mitad de la 12ª Región en términos de aerogeneradores en espacio, esas son las magnitudes de las que estamos hablando y por lo tanto, el desafío desde el punto de vista de la oferta es tan grande que yo no hablaría de competencia, sino de cómo podemos llevar adelante esta agenda, que otros países ya lo están haciendo, también con mucho apoyo público, mucho subsidio y nosotros no tenemos esa capacidad, así que tenemos que hacerlo de una manera más inteligente.

Sra. Paula Mellado.

—*¿Qué estrategia educacional en ingeniería tiene la CORFO para disponer de capital humano técnicamente preparado para operar las Plantas?*

Sr. José Miguel Benavente.

—Hay tres ámbitos que nosotros vemos que son clave en esto, primero formación de habilidades y competencias, que precisamente están asociados a temas de lo que podríamos llamar en el mundo CPT IP, un tema. Un segundo tema, tiene que ver con la formación de carreras de pregrado como puede ser ingeniería u otra que estén atendiendo esto y, la tercera, tiene que ver con la formación de postgrado, es decir, sobre todo en posgrados nacionales como extranjeros.

Voy a partir de atrás para adelante. Con el Ministerio de Ciencia y Tecnología estamos empujando la idea de que los Programas Nacionales de Becas Chile tengan algunos de ellos focos, es decir, números adicionales de cupos de programa que estén asociados a ciertas formaciones de nivel de posgrado nacional y sobre todo en el extranjero que sean llamados específico a tener que formar estas competencias. Es una conversación que tenemos actualmente con el Ministerio de Ciencia, el Ministerio de Hacienda, y ellos podrían ser formadores de profesionales en Chile, sobre todo en el ámbito universitario. Nosotros tenemos un Programa de Ingeniería 2030, que probablemente conocen y que tiene incorporado elementos de sustentabilidad

y formación de competencias en esa área, pero nosotros pensamos que no es suficiente y que necesitamos una respuesta relativamente inmediata. Pensamos que la respuesta más inmediata por las urgencias, sobre todo por esto de la instalación de la planta el tema de la transformación de las empresas locales etc., es utilizar ciertas competencias que ya existen en empresas proveedoras de servicios que pueden transformarse y entrenar gente, principalmente en temas de habilidad en competencia donde la Fundación Chile puede ser un jugador y estamos en conversación con ella.

El modelo que estamos tratando de empujar es de transferencia tecnológica, es decir, que los proveedores de estos sectores en otros países ayuden a empresas locales a incorporar su conocimiento que es tanto a nivel directivo y de la empresa y las capacidades, como también el cuerpo de la gente que trabaja a través de programas, como lo decía, hoy con la Fundación Chile, para incorporar estos tipos de competencia. Entonces lo estamos haciendo en esos 3 niveles, donde el primer nivel es más un tema de Ministerio de Ciencia, nosotros le estamos dando un poco las orientaciones de dónde están los déficit, las brechas que van a salir en parte de los estudios que estamos haciendo en el Comité; el segundo, cómo se transforma a través de Programas, por ejemplo, un Ingeniero 2030 en los programas de desarrollo en ingeniería en la Universidad y, el tercero, tiene que ver con formación de competencias y habilidades en programas CPT IP, incluso además a corto plazo y con instituciones intermediadoras, una de ellas, por ejemplo, Fundación Chile, pero podría haber otras.

Sr. Ricardo Palma.

—*¿Ustedes recomiendan la creación de Estaciones de producción de hidrógeno verde para ferrocarriles de carga y/o pasajeros con CORFO, siendo quizás la demanda de hidrógeno verde reducida todavía?*

Sr. José Miguel Benavente.

—La respuesta en detalle es no, pero quisiera mencionar el contexto. Por lo menos, los antecedentes, que manejamos ahora, es que el hidrógeno verde no es un sustituto de la electromovilidad. La electromovilidad aplica generalmente para camiones y particularmente buses y autos de corto alcance y baja carga; el hidrógeno verde es una mejor

alternativa para trenes o camiones de carga de largo alcance y buses de largo alcance. Eso es lo que hemos desarrollado particularmente. No soy experto en estos temas con lujo de detalle y parte de la discusión con uno de los ministros que está sentado en el Comité Verde es el Ministro de Transporte y Telecomunicaciones que, obviamente, tiene una agenda muy importante en tema de trenes y entiendo que él está viendo, como parte de los sistemas, por ejemplo, la transformación o estos nuevos trenes que se están diseñando, y utilizar obviamente combustible de esta naturaleza para ser consistente con la política de medio ambiente que está llevando adelante el Gobierno. Así que sospecho, esto es una hipótesis, que en la discusión de esa mesa en particular que tiene que ver con el transporte, este tema surja y ver cómo se hace de alguna manera. Por ejemplo, de esta forma, creo que estamos implementando lo que hicimos con estos primeros seis contratos, es decir, como hay potencialmente quizás una demanda asegurada en algún momento y ver si se necesita algún empujoncito, no con subsidios sino como un empujoncito al principio, con la asignación de recursos en la evaluación de proyectos, puede ser una alternativa bastante viable y que ya no resultó en una parte y puede ser que en esta fecha resulte o sea aplicable.

Sr. Jorge Mardones.

—¿Qué rol podría jugar el Instituto de Ingenieros y las Sociedades Científico-Académicas, en el ámbito de la ingeniería en apoyar esta y otras iniciativas de CORFO?, ¿cómo podemos trabajar en conjunto?

Sr. José Miguel Benavente.

—Creo que una institución como el Instituto de Ingenieros ha sido ultra relevante en el desarrollo productivo y científico-tecnológico en este país, mi sospecha es que, de alguna manera por algún motivo, quizás eso se ha perdido un poco, no sé por qué. Personalmente quisiera retomarlo, de todas maneras, creo que esto es una primera instancia para lograr tener un efecto. Para mí, el Instituto de Ingenieros es una fuente de incalculable valor en este tipo de conocimiento y por lo menos el compromiso del lado nuestro, es

generar los espacios para tratar de articular eso y ¿cómo yo me imagino esto? Primero, en el apoyo para estructurar preguntas, uno de los grandes problemas que tenemos es estructurar preguntas y desafíos y eso lo podemos hacer entre varios, es decir, cuáles son y de las preguntas que ustedes mismos han hecho yo creo que ayuda mucho en esa dirección y después responder esas preguntas en base al conocimiento y el trabajo que podemos desarrollar en forma conjunta que ustedes lo tienen dentro del Instituto. La CORFO, como decía, fue dominada entre comillas y para bien, por los ingenieros durante muchos años, los más viejos se acordarán cómo del Instituto Nacional iban a la Escuela de Ingeniería en Beauchef y después se iban a la CORFO, así era el modelo durante 30 años y de ahí se iban a las Eléctricas, Endesa, a la CAP, etc. No es tomar eso, pero en el fondo sí articular, fortalecer internamente o generar un vínculo con la ingeniería para estructurar preguntas que tienen que ver con el quehacer local asociado a esta mirada que tenemos cada uno y empujar. Segundo, responder esas preguntas, será en función de datos, estadística, experiencia etc. y, quizás lo más difícil es cómo la implementamos después y obviamente cada uno de su rol. Probablemente muchos miembros en el Instituto participan en empresas y obviamente este tipo de información que estamos compartiendo ahora va a estar disponible como también la presentación. Todo esto puede dar señales de hacia dónde queremos empujar y yo creo que el desarrollo, por ejemplo, de todos estos sectores de proveedores vinculados a este y otras cosas pendientes que tenemos, ejemplo, seguridad alimentaria, para que decir el agua etc. Obviamente creo que el rol y el trabajo conjunto, si lo podemos hacer con el Instituto sería genial.

Personalmente siendo ingeniero y teniendo realmente cariño por la institución, creo que CORFO y el Instituto tienen que retomar esa parte de la historia de la CORFO y sacar adelante una agenda que es tremendamente desafiante y en que estamos contra el tiempo como ustedes se pueden imaginar.

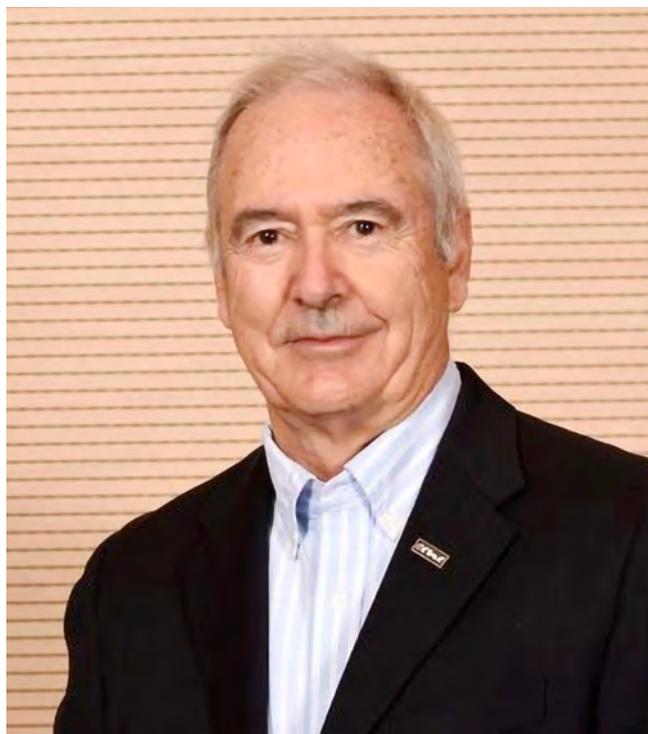
Muchas gracias.

Fin de la conferencia.

ENFOQUE: ROL SOCIAL DE LA CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD

PROYECCIONES SECTOR CONSTRUCCIÓN

*Conferencia del Sr. Antonio Errázuriz B., Presidente de la Cámara Chilena
de la Construcción, CCHC*



Sr. Antonio Errázuriz.

El día martes 25 de octubre de 2022, a las 11:00 horas –vía zoom–, ante una gran concurrencia del ámbito público y privado, como también académico, se realizó la conferencia del Sr. Antonio Errázuriz, Presidente de la Cámara Chilena de la Construcción, quien expuso el tema: “Enfoque: Rol Social de la Cámara Chilena de la Construcción y Sostenibilidad. Proyecciones Sector Construcción”.

El Sr. Antonio Errázuriz es Ingeniero Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile, y tiene más de 37 años de experiencia profesional en el rubro, ha sido socio y director en varias empresas en el ámbito de la construcción. En ámbito gremial se desempeñó como Director de la Mutual de Seguridad; también que forma parte de la Cámara Chilena de la Construcción, fue vicepresidente de la Cámara y actualmente es su presidente en ejercicio.

Sr. Antonio Errázuriz.

—Agradezco esta invitación que me ha hecho el Instituto de Ingenieros de Chile, ya que me da la posibilidad de compartir con ustedes en qué estamos y compartir una visión de la situación que vivimos actualmente y cuál debe ser el desafío de los profesionales de la industria de la construcción y de la Cámara Chilena de la Construcción.

El nombre de la presentación, la hemos denominado los “Desafíos profesionales de la industria de la construcción” (Figura 1).



Figura 1

Hoy resulta cada día más evidente que los liderazgos, las formas tradicionales de conducir a las empresas, han tenido cambios importantes (Figura 2).



Figura 2

Y es relevante que los profesionales entiendan que el rol, que las habilidades técnicas, son insuficientes y, en ese sentido, lo que Chile necesita en un contexto más desafiante y con un escenario de futuro, es ser más flexible, más permeable y trabajar colaborativamente. Lo hemos dicho nosotros de alguna manera, que necesitamos abrir la caja de herramientas (Figura 3).

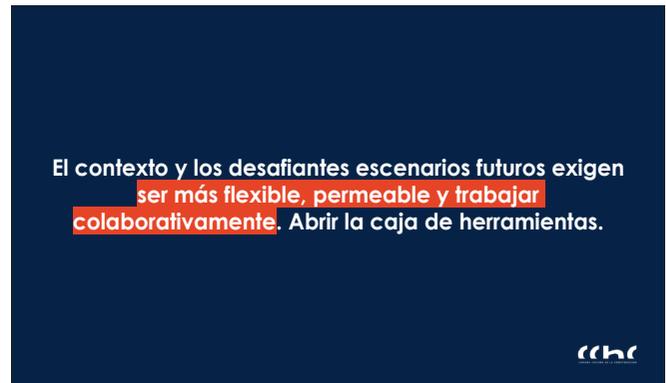


Figura 3

En el contexto país-gobierno, ha llegado una nueva generación al poder, que nos ha planteado, un nuevo tipo de aproximación entre los privados, la sociedad y el Estado. Ahí necesitamos abrir el diálogo, fortalecer las confianzas, buscar temas de mutuo interés por las partes, poner en valor la colaboración público-privada, sensibilizar sobre el impacto que la actividad tiene en la calidad de vida y en el bienestar de las personas (Figura 4).



Figura 4

A esto se suma que hemos vivido un proceso constitucional, liderado por la clase política que tiene el desafío de empujar soluciones. Realmente en una primera etapa se pensó que se canalizarían por medio de este proceso constituyente y la verdad es que todos sabemos el resultado que se tuvo, con el texto de una Constitución que no nos ayudó a unirnos como país, y generar las confianzas que necesitamos (Figura 5).



Figura 5

Hoy, la ciudadanía exige poner un foco en las prioridades más importantes que tiene el país: el alto costo de la vida y el control de la delincuencia. Lo decía días atrás, en una carta que envié a El Mercurio, que no hay inversión posible en el país, si hoy tenemos el nivel de violencia que estamos viviendo. Ya lo hemos dicho, que las condiciones de borde que necesitamos para la inversión, especialmente la inversión privada, que da cuenta de un 75% de la inversión total en el país, son aquellas que nos permitan generar confianzas y una de las confianzas fundamentales está en el control de la delincuencia (Figura 6).



Figura 6

La falta de seguridad, que hemos estado viendo y quizás lo peor de esta falta de seguridad, es que nos estamos acostumbrando a convivir con ella. Tal vez al principio, la macrozona sur nos quedaba un poco alejada de nuestro diario vivir, pero esto se ha trasladado a otras formas de violencia en nuestra Región Metropolitana. Ya vemos que es común en las conversaciones que tenemos con amigos, o la familia, referirse a este tema, porque se ha ido haciendo cada día más normal (Figura 7).



Figura 7

Y eso es un rol que nosotros no lo podemos asumir. A nosotros, los empresarios, el rol que nos corresponde y al Ejecutivo le corresponde erradicar la violencia y contribuir a la paz social. El Ejecutivo, a partir de la coordinación con los otros poderes del Estado, Legislativo y Judicial, tiene que atacar este tema. Es fundamental, como una condición básica para enfrentar un desafío mayor que es la caída del crecimiento. Fíjense ustedes lo que nosotros hemos dicho: cuando hablamos que para el 2023, pronosticamos una caída de un 5,3% en el sector, eso genera una pérdida de inversión del orden de 15.000 millones de dólares, con una pérdida social, en creación de empleos del orden de 75.000 puestos de trabajo. Entonces, esto es un tema absolutamente real, no es ciencia ficción cuando hablamos de caída de la inversión, y el impacto que va a producir en la ciudadanía (Figura 8).

Nosotros hemos dicho, que queremos hacer que las cosas pasen, ese ha sido nuestro lema, y desde un tiempo a la fecha, hemos definido como mesa directiva en la CChC, que esto debemos enfrentarlo, y lo asumimos como un desafío en varios ámbitos (Figura 9).



Figura 8



Figura 10



Figura 9

Lo primero es que históricamente la Cámara, desde su fundación, asumió que su misión era mejorar la calidad de vida de nuestros trabajadores y a consecuencia de lo anterior, mejorar la calidad de vida de los chilenos y nuestra meta hoy se llama Desarrollo Empresarial Sostenible y es un desarrollo que tiene a las personas en el centro de su actividad.

Permítanme hacer una diferenciación de nosotros como gremio. Por una parte, tenemos la suerte por decirlo así, que nace esta vinculación de empleadores con su gremio y sus trabajadores, y realmente se trata de poner a la persona en el centro de nuestra actividad, con dialogo y con colaboración y eso es lo que nosotros estamos de alguna manera exigiéndole a nuestros socios (Figura 10).

¿Y qué hemos hecho en ese sentido?

Lo primero es que ante la crisis que sufrimos por la pandemia, en su peak, donde llegamos a perder del orden de

400.000 puesto de trabajo, elaboramos un protocolo sanitario, que nos permitió empezar a mover nuestra actividad lentamente. Las consecuencias de esa paralización del orden de 3 a 4 meses, la estamos sufriendo en la salud financiera de nuestras empresas miembros.

Me detengo aquí en este tema, porque recordemos qué para implementar el protocolo sanitario, debimos cambiar nuestra forma de operar en nuestros proyectos, mejorando los estándares, lo que fue un producto positivo, pero posteriormente nos costó encontrar a trabajadores que quisieran estar interesados en volver a la construcción, ello por las ayudas del Estado, los IFE y de los retiros de las AFP. Eso provocó una suerte de migración de trabajadores de la construcción a actividades privadas, a trabajo informal. Eso también ha ido creando algunas situaciones que han perjudicado la economía por lo que significa la informalidad, en la economía de nuestro país, por ejemplo, en el ingreso de tributos.

Pero también significó el atraso de proyectos y además se produce el impacto de la escasez de materiales, y comienzan a abastecernos a precios mucho más altos.

Posteriormente, se produce este desbalance en nuestra economía, con el IFE y los retiros; se desarmó de alguna manera el sistema de financiamiento que teníamos como país y se produce esta escalada de los precios especialmente y primero para el financiamiento y después en los créditos hipotecarios para acceder a una vivienda.

Todo esto, ha sido un cóctel que de alguna manera ha ido transformando nuestra industria, ha ido sumiendo a nuestra industria de la construcción en una situación de riesgo, para

todo el sistema financiero, que estamos intentando revertir. Ustedes esta semana han visto la expresión más violenta de esto con la quiebra de la Constructora Claro, Vicuña y Valenzuela – CVV, pero esto también ha puesto en alerta, a todo el sistema bancario, todo el sistema de financiamiento de nuestra industria, ya que nos preocupa el impacto que pueda tener a futuro para nuestro sector. Hemos buscado soluciones a los problemas que afectan a los socios y, evidentemente, estamos en eso, pero necesitamos un sentido de urgencia para resolver los problemas.

Otra de las líneas de acción en que hemos participado según dice esta lámina, es en contribuir al bienestar de las personas por medio de nuestra participación en el déficit cero, ustedes saben que nuestro país, tiene un déficit del orden de 650.000 viviendas, y eso nos parece que también tiene un sentido de urgencia, porque esto se puede transformar en algo muy duro para la paz social de nuestro país (Figura 11).

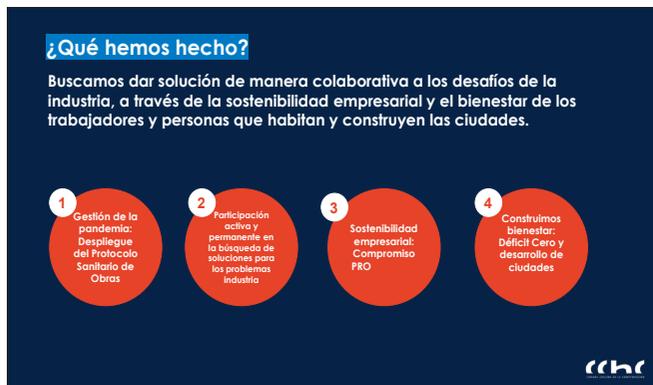


Figura 11

Ahora, ¿cómo lo hemos hecho? Creo que es fundamental el cómo y el terreno.

El terreno: los empresarios no podemos alejarnos de nuestra gente, de las necesidades de los trabajadores, creo que, si hay algo que voluntaria o involuntariamente se produjo en nuestro país, fue el alejamiento del terreno. Digo involuntariamente, aunque voluntariamente también puede ser, que digamos que las obras empezaron a crecer, involuntariamente porque nosotros empezamos a delegar quizás en los ejecutivos de nuestras empresas, muy buenos ejecutivos, pero hay una parte de la que nos hemos preocupado con la academia y es que se incluya dentro de la

enseñanza a los jóvenes profesionales, el sentido y el valor que tiene la cercanía con la gente. Me ha tocado ir a un par de charlas, donde he hecho mucho hincapié en esto, en que la universidad los tiene que dotar, no solo de buenos conocimientos técnicos, sino que también de buenos conocimientos humanos, para acercarse a nuestra gente y conocer los problemas que ellos sufren, día a día.

Hemos impulsado una agenda pública, donde hemos priorizado cuáles son los desafíos y por medio de un acercamiento que hemos hecho con ellos, hoy la agenda pública ha tenido muy buena acogida, en algunos ministerios sectoriales.

También tenemos la situación de pago, su deterioro y el impacto que ha tenido en este Gobierno; este es un tema que viene con las empresas públicas desde hace mucho tiempo, hemos intentado, insisto, a partir de la creación de las confianzas, poner en la agenda pública las prioridades de nuestro sector.

También, hemos intentado llamar a la acción a los socios de la Cámara, que es un gran articulador de programas sociales, sobre un compromiso de desarrollo sustentable, pero si los socios de la Cámara, que son los que deben mostrar en el día a día en su quehacer con la comunidad, con sus trabajadores, con la cadena de pago, coherencia en el actuar y no lo hacen, difícilmente vamos a ser una industria creíble.

Dialogando como les decía con las autoridades en busca de soluciones, hemos impulsado procesos de cambio en la construcción, en línea con las demandas de la ciudadanía (Figura 12).

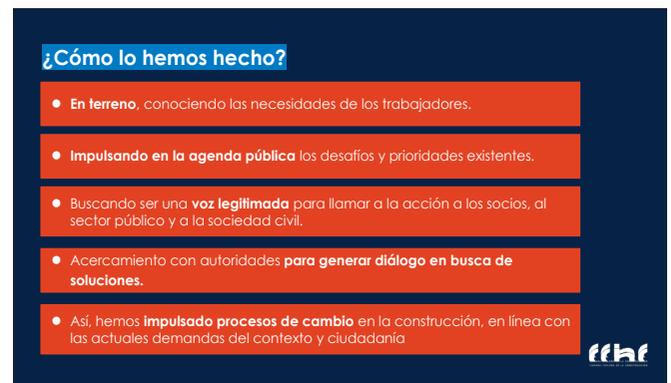


Figura 12

En las claves de esta nueva mirada, ha sido fundamental basarse en tres herramientas que hemos creado (Figura 13).



Figura 13

Primero. El compromiso pro. Ayer me dio mucho gusto que un presidente de otra rama me mandó una foto desde Londres, de una obra en construcción que decía “Considerate Constructors Scheme, cuya finalidad es un sello para el “Constructor Considerado”, con la ciudadanía, medio ambiente, trabajador y cadena de pago, pilares fundamentales en la Sostenibilidad del sector. Nosotros hace aproximadamente 6 años, lo adaptamos a nuestra realidad y lo hemos llamado *Compromiso Pro*.

El *Compromiso Pro*, es una forma de hacer las cosas, donde nos distinguimos por poner en el centro de nuestra actividad al trabajador, a la comunidad, al medio ambiente, a la cadena de pago, pilares fundamentales de la sostenibilidad.

Y para ello, estamos reconociendo a las empresas que hoy han cumplido con todos los requisitos del *Compromiso Pro*, para tener un *Sello Pro* y que eso sea una forma de diferenciarse ante futuros clientes, ante los mandantes, creo que es un atributo diferenciador, pero esto nace, insisto en el concepto, de una forma distinta de construir, poniendo al constructor considerado.

No solamente basta que nuestros proyectos tengan el Compromiso Pro, estos deben ser sustentables económicamente (Figura 14).

Más de 700 obras y centros de trabajos están alineados con el compromiso y sello pro, pero pensamos que está todavía en una condición bastante incipiente (Figura 15).



Figura 14



Figura 15

Segundo. Construir. Somos constructores y nos sentimos orgullosos de pegar ladrillos, pero dijimos en un momento que nosotros necesitábamos conversar, Chile necesita conversar. Este espacio de diálogo que se abrió con los trabajadores de la construcción, y que pudimos llegar a más de 42.000 trabajadores que participaron, 122 empresas socias a lo largo de todo Chile, nos permitió captar de alguna manera, cuál era el sentir de nuestro pilar fundamental de la construcción de nuestros proyectos, que son los dolores de nuestros viejos y en estos dolores de nuestros viejos, nos dimos cuenta que aparte de las pensiones, de la seguridad y capacitación, estaba el trato.

¿Por qué comento esto, que es tan importante? Porque en los últimos conversatorios en que nos sentamos a conversar, yo he dicho que “nosotros tendríamos que andar con el pisito adentro del auto”, “llevar el pisito a la familia” se lo he dicho a los viejos, los trabajadores, “llévense el pisito azul y conversa con su viejita en la casa”, “conversen con sus hijos”, porque esto que nosotros partimos haciendo en

la industria, no quiero que seamos autorreferentes, pero la verdad es que cuando hablamos de esta experiencia con otras ramas de la actividad económica, les ha llamado la atención esta experiencia, y creo que aquí hay mucho más por hacer (Figura 16).



Figura 16

Tercero. La colaboración radical. Impulsamos un trabajo colaborativo, ante distintos actores sociales, y la Cámara me parece que ha sido de alguna manera, entre los gremios, destacada por esta creación de confianza, porque la verdad es que el mundo público nos necesita a nosotros, nos requiere a nosotros como constructores, no solamente de edificios, sino como constructores de la sociedad, no crean que esto es un sueño el que yo le estoy transmitiendo a ustedes, sino que lo he visto en la realidad.

La semana pasada estuvimos con todos los directorios de la Cámara, lo hemos hecho a lo largo de Chile, estuvimos en Antofagasta y fuimos a conocer unos edificios de viviendas sociales recién entregados, del Proyecto TS 49, y nos juntamos ahí con un grupo de mujeres, que eran como las voceras de este Consejo de Administración de los Edificios, y estaba presente el Minvu, una parte del Minvu estaba presente, también una Seremi de Vivienda. Y empezaron ellas a plantear problemas que tenían en el diario vivir, un vertedero que había al lado, y otros problemas, quizás algunos más allá de lo doméstico.

En el caso del vertedero eran por el tráfico, el exceso y la suciedad, y una de las mujeres me dijo, mire, yo quiero dejarle bien claro que los problemas que nosotros tenemos hoy día, estamos convencidos que el mundo privado puede resolverlos mucho más rápido que el sector público (Figura 17).

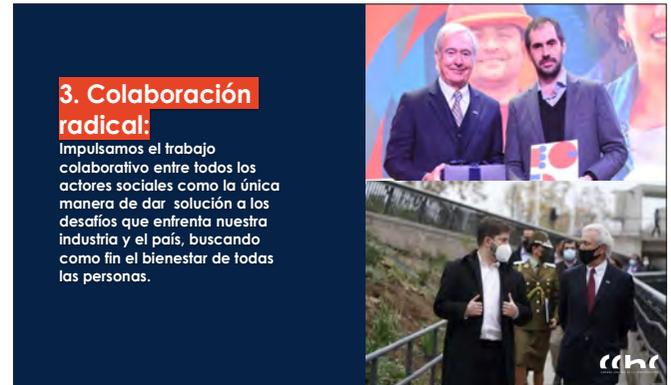


Figura 17

Y la verdad es que es así, y que alguien de la propia ciudadanía empiece a captar que la participación nuestra, como empresarios, como profesionales, no solamente está orientada a desarrollar proyectos exitosos en “su última línea”, sino que en participar colaborativamente con ellos para resolver los problemas que los aquejan creo que es dar un paso más allá. Nos queda mucho para andar, pero sí es avanzar. También hemos participado activamente, con todos los relacionamientos, con el Presidente, con los Ministros (Figura 18).



Figura 18

Esta colaboración radical, nos ha permitido que el Gobierno haga suya algunas propuestas de la CChC, por ejemplo, la entrega de una garantía, para el financiamiento del pie hipotecario o de acordar con el Ministerio de Obras Públicas algo inédito, que es el reajuste de los Contratos en Ejecución de Obras Públicas, y eso lentamente creemos que se va a solucionar, estoy convencido de eso, por lo menos los nuevos contratos vienen con reajustes polinómicos (Figura 19).

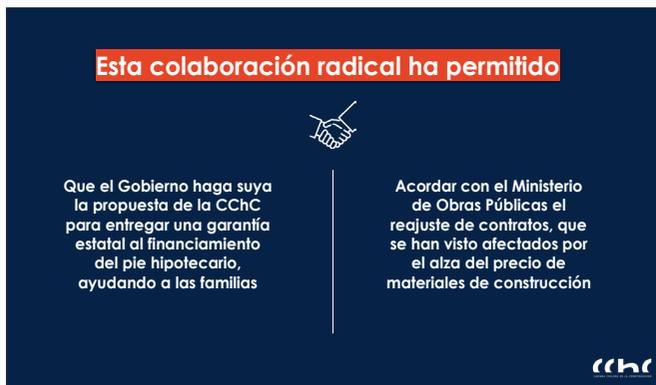


Figura 19

Nosotros tenemos una participación muy activa, y muy presente en construir un mejor país para todos; si miramos las proyecciones sectoriales a este año, la verdad es que dan cuenta de una caída del 4% de la inversión en el sector y el próximo año estamos pronosticando una caída de un 5,3%. Y eso significa que una caída de un 5,3%, es dejar de invertir aproximadamente en 1.500 millones de dólares la inversión pública y la inversión privada, pero eso afecta también a la creación de 75.000 puestos trabajo de acuerdo a nuestros cálculos, entonces hay una situación compleja para nuestro sector, yo diría que en general de la situación económica del país, a partir de la inflación que tenemos, es muy compleja.

Fíjense ustedes, que conversaba con un medio y hacía ver esto y me consultaban, ¿pero estas empresas que están o han caído en quiebra, no será que estaban mal manejadas? Y claro que cada una de las empresas tendrá que ver eso, pero es insostenible un alza de costos de construcción de un 20%, con un alza de los créditos para financiar los proyectos, especialmente en una industria altamente competitiva con márgenes bajos.

Pero lo más importante y quizás preocupante, es una inflación en el país en que estamos llegando a 14% anual. De acuerdo a las proyecciones del Banco Central, a mediados del próximo año pudiera aflojar un poco llegando a un 6% anual, ojalá que así sea. Pero a los chilenos ya se nos habían olvidado trabajar con inflación, y por cierto ha impactado a toda la ciudadanía y a las empresas. Si a estas le agregamos la burocracia estatal, la incerteza jurídica, las dificultades para obtener los pagos especialmente de

las empresas públicas, es que estamos ante una situación compleja. La “guinda de la torta”, es que hoy día la banca, y en eso estamos iniciando algunas gestiones, ha tomado una actitud de resguardo, y ha puesto en general a toda la industria de la construcción en el mismo saco.

Entonces, empresas que están con una buena salud financiera, están teniendo dificultades para obtener el financiamiento, boletas de garantía, etc. Y para apoyar a los socios en ese aspecto, hemos creado un grupo de trabajo Contingencia Financiera, grupo de relacionamiento con la banca e instituciones financieras, para que, mediante alguna garantía estatal, dar más certezas al sector financiero respecto a las herramientas necesarias para enfrentar el desarrollo de proyectos.

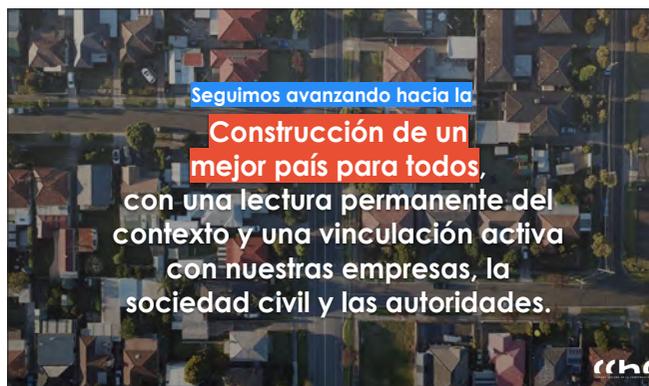


Figura 20

Ahora, termino diciendo que la situación del país es difícil, es compleja, pero a riesgo de que me traten de iluso, quiero decir que el “partido”, nosotros los profesionales y el gremio, lo tenemos que jugar en nuestro proyecto con la ciudadanía. Esta situación económica nos va a afectar indudablemente, vamos a tener que acostumbrarnos por un tiempo a estar más apretados, creo que, en definitiva, a nosotros como gremio, lo que nos corresponde es trabajar en lograr tener un Chile mejor; Chile no soporta más esta crisis de desconfianza que nos afecta y es ahí donde nosotros creemos y estamos convencidos, que tenemos que ser un aporte para construir un Chile mejor, y que no sea solo un eslogan, sino que hacerlo realidad (Figura 20).

Muchas gracias.

Al término de la conferencia, el Sr. Antonio Errázuriz respondió consultas y comentarios de los asistentes. A continuación, reproducimos lo más relevante de estas intervenciones.

Sr. Ricardo Nicolau del Roure.

—Muchas gracias por la presentación y sobre todo por tu reflexión final, de la esperanza y del optimismo que refleja, eso de alguna manera también reafirma que los empresarios, y en particular los constructores, son optimistas y es una buena forma de terminar una presentación, muchas gracias.

Sra. Elena Gajardo.

—¿En qué consiste el relacionamiento con la comunidad?

Sr. Antonio Errázuriz.

—El relacionamiento con la comunidad es uno de los requisitos fundamentales dentro de este proyecto que hemos lanzado, “el Compromiso Pro”. Lo típico de nuestros proyectos de construcción, especialmente los de edificación, cuando construimos al interior de las ciudades, llegamos a construir sin ningún relacionamiento con la comunidad, sin mencionar el impacto que tendrá el proyecto dentro de la vida diaria que van a tener ellos. Entonces, dentro de este proyecto del Compromiso Pro, lo que se hace en una etapa temprana, es reunirse con la comunidad adyacente a la construcción y explicarles de qué se trata el proyecto, cuáles van a ser aquellas situaciones que van a producir algunas molestias y como la empresa tomará acciones de mitigación. Es todo un protocolo que deben cumplir las empresas, para poder incorporar más a la comunidad en el proceso de construcción, y eso la verdad que ha tenido un cambio fundamental en el relacionamiento; hoy día ustedes han visto lo empoderada que está la sociedad, lo hemos visto con todas las paralizaciones de proyectos por falta de consultas tempranas, y eso es lo que queremos evitar.

Sr. Guillermo Bolbarán.

—Si bien la visión expuesta tiene un espíritu positivo, la tendencia general indica que el año 2023, va a ser un año

similar al que estamos viviendo, con falta de materiales, crisis económica. Entonces, ¿cómo se enfoca este escenario?

Sr. Antonio Errázuriz.

—Me encantaría poder contestarle certeramente, pero de acuerdo a mi experiencia como profesional y como empresario y creo que este va a ser un momento complejo, altas tasas de interés, dificultades para obtener boletas y pólizas de garantías para respaldar proyectos, no debemos dejar de lado el impacto de incertidumbre que genera aprobar una nueva Constitución, y ojalá que no perdamos el tiempo en polarizarnos como chilenos;

Me parece que una de las palancas que puede empujar “el carro” en forma inmediata, es por medio de la inversión pública. Y la inversión privada, va a estar un poco esperando que mejoren las condiciones, especialmente del crédito y también algo de la Constitución

En cuanto al sector inmobiliario será de gran ayuda, que el Gobierno impulse una garantía para el pie de la vivienda, que bajaría de un 20% que exigen los bancos a un 10% y que se genere un mercado más activo en la compra de vivienda para movilizar la inversión privada. Pero en estas situaciones normalmente lo que ha pasado, es que el sector público es el que arrastra el carro, y qué duda cabe de la necesidad de tener más inversión pública para mejorar la calidad de vida de los chilenos y por cierto la creación de empleos.

El Ministro de la Vivienda, está empeñado en mirar esta forma de hacer las cosas, tratar de salir de la caja y aumentar en forma significativa la construcción de viviendas sociales, lo cual sería un motor para la creación de empleos y disminuir el déficit de viviendas. Y la idea, por ejemplo, entre otras, llamar a una licitación pública internacional para la construcción de un número importante de viviendas en el país. El Estado tiene terrenos, y el Gobierno necesita cumplir con la construcción de 260.000 viviendas. Insisto y quiero terminar, vienen años difíciles, pero como nos han tocado también otros años difíciles, creo que la inversión pública, debiera ser la que nos ayude en eso.

Ahora en el sector minero, no se visualiza hasta no despejar todo el tema de los royalties, una intencionalidad mayor de las empresas mineras de invertir, por lo menos, en proyectos nuevos. A lo más, puede ser ampliaciones de sus

capacidades, pero también es cierto que la industria minera, si no mantiene la producción, bueno, sus gastos generales en relación a la producción comienzan a afectar sus costos. También debiera haber ahí un paquete de inversiones.

En resumen, desde el punto de vista de la inversión, hay alternativas para la creación de empleos, las cuales por cierto hay que despejar “los nudos críticos”, pero reitero que debemos ayudar a restituir las confianzas a partir del rol de las empresas en la sociedad, en nuestro caso, a partir de nuestros “viejos”.

Sr. Juan Quiroz.

—¿Por la visión de la Cámara acerca de las posibilidades efectivas de mejorar la burocratización, por una parte, y el cumplimiento de normas por otra, para la realización de los proyectos y no trabarlos?

Sr. Antonio Errázuriz.

—Qué difícil. Aquí deberíamos estar unidos todos los gremios, de ver cómo hacemos para hacer una propuesta distinta, hemos hablado tantos años, se escucha la modernización del Estado, y por ejemplo, muy concretamente estamos trabajando con el Ministerio de Economía en una mesa que se llama, “la mesa de los nuevos críticos” y eso es lo que estamos tratando de acotar y volver a esos conceptos de ventanilla única.

Y en este punto hay que decir las cosas como son y enfrentar el problema. El rol que han jugado las DOM, (Dirección de Obras Municipales) deja mucho que desear.

Esto se traduce, en que hoy en día el tiempo de construcción, es menor al tiempo que se utiliza en trámites para obtención de permisos y aprobaciones, sin contar con alguna paralización por alguna demanda ambiental.

En el déficit de la vivienda, por ejemplo, por qué no invitamos a empresas de ingeniería, que sean capaces de hacer un planteamiento distinto, y propongan alguna una forma salir de la burocracia y salir de la caja donde siempre hemos estado acostumbrados a hacer las cosas.

Por otra parte, el MOP y la forma de relacionarse con las empresas contratistas, debe modernizarse. Está muy presente el impacto que ha tenido en nuestro sector la quiebra de la Constructora Claro, Vicuña y Valenzuela, creo que desgraciadamente a costa de ello, se debieran abrir algunas formas distintas de hacer las cosas, pero es un largo camino; Ya había empresas del sector de la construcción que no les trabajan a empresas estatales y eso no puede ser. Y ¿cuál es la razón? Pérdida de productividad, amparada en la burocracia, situación que, al considerar los exiguos márgenes de utilidades, se traducen en pérdidas económicas para el contratista.

Lo que hemos hecho nosotros, es una invitación a los distintos ministerios tanto de la Vivienda como de Obras Públicas, de cómo hacer las cosas “saliendo de la caja”.

Como botón de muestra, de cómo no se deben hacer las cosas, está el Contrato del bypass de Castro. El bypass de Castro la primera licitación fue el año 2015, lleva cuatro años de atraso, a raíz de la participación del Consejo de Monumentos Nacionales, quienes a partir de algunos hallazgos arqueológicos determinaron paralizaciones y aumentos de costos no considerados que obligaron a la empresa ante la incapacidad de cumplir, determinó que la primera empresa, tuvo que hacer un movimiento de tierras gigantesco, para sortear algunas de estas cosas que se declaraban como monumento. Consecuencia de lo anterior, la empresa decidió abandonar el Contrato. Se vuelve a licitar el mismo proyecto, ganando la licitación CVV, y las paralizaciones continúan, impactando negativamente en esta última empresa, con los resultados que todos ustedes ya conocen.

Hace un par de años participamos en un estudio encargado por el ex Presidente Piñera a la Comisión Nacional de Productividad, productividad en el sector de la construcción, el cual indica que, en contratos de Obras Públicas, que un 70% de la responsabilidad dentro de las improductividades del sector, son producidas por razones ajenas a las empresas constructoras.

El diagnóstico está. ¡Pasemos a la acción!!

Sr. Marcos Lima.

—*Felicitaciones Antonio, ojalá que el espíritu que transmite contagie a otros gremios, mi pregunta apunta, a que miles de trabajadores con los que se hizo el experimento del piso azul, representan solo una pequeña proporción y que no llega a mover la aguja, ¿tiene la Cámara un plan para reinstalar esta práctica y convencer a muchos de conversar con sus trabajadores?*

Sr. Antonio Errázuriz.

—Un saludo especial para mi querido maestro, fue profesor mío; esta actividad del piso azul, en sus inicios era una fecha definida por una oportunidad, ahora lo estamos usando en forma permanente y cada uno de los presidentes, acuérdense que la Cámara está en 18 regiones del país, y ese es un encargo dentro de los tres ejes que nosotros mencionamos, compromiso pro relacionamiento, y el piso azul, como las palancas.

Creo que es importante que los empresarios, de cualquier sector de la economía, tomen esta sencilla herramienta para relacionarse con sus trabajadores.

A nosotros nos exige que el próximo conversatorio donde sea, tenemos que llegar con propuestas distintas, y eso lo hicimos. Por ejemplo, un programa que yo lo considero extraordinario, es el “Construye Tranquilo”, que es una de suerte de seguro complementario de salud para los trabajadores de la construcción, donde hemos logrado reducir los días de espera de cirugías desde 500 días a 50 días. ¡Extraordinario!! Pero para eso tienen que estar convencidos los empresarios; la Cámara en ese sentido, no puede asumir el rol de cada uno de sus socios en sus proyectos.

Y aquí hay que hablar con la verdad, los estándares de la obra de edificación eran muy bajos, en comparación a aquellos contratos en que se trabaja para la minería, por ejemplo. Hoy día, cualquier obra que uno visita, ya hay una mejora importante de los estándares y eso la gente lo ha sentido, y debemos darle mérito al Protocolo Sanitario, que nos permitió construir durante la pandemia, como al Piso Azul.

Pero tal como lo dije anteriormente, es un desafío país, no solo de nuestro sector.

Sr. Ricardo Nicolau del Roure.

—*Tengo una pregunta, que no sé si puedes intentar responderla y lo dijiste al principio, para reducir la burocracia es necesario restablecer o establecer confianza, y esto que vivimos en Chile, no es privativo del país, ha sucedido y sucede en todas partes, en muchos países, pero en otros países han de alguna manera realizado avances, han hecho cosas. Ejemplo de ello, es el Reino Unido, que tuvo una crisis con la industria de la construcción a fines del siglo pasado y con ideas innovadoras, saliendo y pensando fuera de la caja, resolvieron sus problemas de manera bastante virtuosa, entonces, ¿por qué no hacer benchmarking? que en el fondo significa copiar, ¿por qué no copiamos? o sea, ¿cuál es la dificultad las instituciones fiscales, la burocracia fiscal, los reglamentos que tenemos?, ¿cuál es tu opinión?*

Sr. Antonio Errázuriz.

—Creo que hay un problema de genes, los chilenos somos desconfiados, hay culturas que tienen un nivel de confianza que se ha ido trabajando, por años y años y nosotros en Chile la verdad que eso es al revés, la desconfianza es cada día más, porque desgraciadamente tenemos acuñado en nuestro pensamiento, y en una cantidad importante los chilenos, lo que es el mérito al vivaracho, y contra eso todos los sistemas de gestión de proyectos, han ido tomando resguardos. Cada día hay mayor cantidad de resguardos y hoy tenemos al “controlador que controla al que controla”; Hoy es muy común y nos sentimos muy orgullosos de tener excelentes sistemas de control de gestión. ¿Cuántos de ellos son necesarios y cuantos son para “certificarnos” aumentando la burocracia al interior de las empresas?

Eso nos ha afectado mucho en la productividad. Como profesional, he hecho un desafío a algunas empresas mineras, y les he dicho lo siguiente.

La mayoría de las empresas que trabajan con ustedes, son empresas certificadas bajo todas las normas de calidad, seguridad y medio ambiente, y nunca he visto que algunas de estas empresas, ustedes le asignen un contrato y les encarguen la responsabilidad del autocontrol. Y ¿en qué se traduce esta situación? Bueno, en que, en cada Estado de Pago, se requieren una infinidad de documentos. Tantos documentos como para llegar a utilizar más de 180 horas hombres en preparar un E. de P. Me imagino, que la contraparte,

alguien deberá revisar esos más de 700 documentos que se requieren adjuntar. Y el comentario de parte de algunos ejecutivos de los mandantes es: “imposible hacer lo que tú nos pides, tú sabes que los chilenos somos tan vivarachos”.

Sr. Luis Nario.

—*Se tiene un Programa construye tranquilo que tiene una bajada que significa, trabaje tranquilo porque si tiene problemas de salud, nosotros estamos ahí para apoyarlo, esa es la lectura, estamos ahí para apoyarlo, y esa es una cosa que creo que sería muy importante, dentro de esto que acaban de mencionar, de participar en que se mejoren en general las condiciones de confianza. Si nosotros pudiéramos transmitir ese espíritu, a otros gremios, a otras unidades empresariales sería muy importante. Porque la verdad es que yo lo que he*

visto en el caso de los trabajadores de mi empresa y ha sido realmente notable, saber que la operación de su señora se la hicieron en 30 días, y no en un año y medio y que le costó mucho menos, eso es una cosa que refuerza las confianzas, eso es valiosísimo, eso es algo que nosotros deberíamos, como lo planteó Antonio, propender a que los otros gremios también lo hagan, son cosas puntuales, pequeñas, pero que, si abundan, acercan las confianzas.

Sr. Ricardo Nicolau del Roure.

—*Una muy buena sugerencia. Bueno, agradecemos al Sr. Antonio Errazuriz su participación.*

Fin de la conferencia.

CÓMO LAS FALENCIAS DE CIBERSEGURIDAD PUEDEN HACER COLAPSAR EL SISTEMA PRODUCTIVO Y LA INFRAESTRUCTURA DE CHILE. MEDIDAS PARA ABORDARLAS

Conferencia de los señores Carlos Bustos, Gerente Regional de Ciberseguridad de SONDA, Director de la Alianza Chilena de Ciberseguridad – ACTI. y Claudio Magliona, Abogado de la Universidad de Chile, Presidente de la Mesa Legal ACTI



Sr. Carlos Bustos.



Sr. Claudio Magliona.

El día miércoles 30 de noviembre de 2022 a las 11:00 horas –vía zoom–, ante una nutrida concurrencia se realizó la última conferencia del año. Estuvo a cargo de los señores Carlos Bustos y Claudio Magliona, que expusieron sobre el tema: “Cómo las Falencias de Ciberseguridad pueden hacer colapsar el Sistema Productivo y la Infraestructura de Chile. Medidas para abordarlas”. Como moderador invitado se contó con la participación de don Jorge Yutronic.

El Sr. Carlos Bustos es Gerente Regional de Ciberseguridad de SONDA, Director de la Alianza Chilena de Ciberseguridad - ACTI. Ejecutivo de Negocios con amplia experiencia liderando equipos de trabajo multiculturales, multidisciplinarios y multigeneracionales en empresas TIC, posicionadas en mercados de alto crecimiento, y orientadas a la transformación digital de las organizaciones. MBA e Ingeniero Civil con experiencia en la definición y ejecución de estrategias B2B de Ventas, Marketing, M&A, y Go-to-Market.

El Sr. Claudio Magliona es Abogado, de la Universidad de Chile, Licenciado en Ciencias Jurídicas y Sociales, con distinción (1997). Master en Leyes en Derecho, Ciencia y Tecnología, Facultad de Derecho de Stanford (2003). Es profesor de la Facultad de Derecho de la Universidad de Chile y ex director del Magíster en Derecho y Nuevas Tecnologías de dicha casa de estudio (2012-2016). Es miembro del Colegio de Abogados de Chile (2001) y de la International Bar Association (IBA), Presidente del Grupo Legal de la Asociación Chilena de Empresas de Tecnologías de Información (ACTI), Vicepresidente de la Comisión de Economía y Productividad Digital de la Cámara Nacional de Comercio (CNC), Director Suplente de la Alianza sobre Ciberseguridad, Director de ISOC Chile, entre otras.

Don Jorge Yutronic es Ingeniero Civil Electricista de la Universidad de Chile. Ha sido consultor internacional en gestión de ciencia, tecnología, innovación y competitividad para gobiernos, empresas y universidades tanto de su país como de Argentina, Brasil, México, Perú, Uruguay, Panamá, El Salvador, y organismos internacionales (BID, UNESCO, PNUD); consultor en gestión universitaria y educación superior (miembro del Consejo Consultivo Internacional del MECESUP y de las comisiones de evaluación de la CNA de universidades en los procesos de acreditación institucional; evaluador del Consejo Superior de Educación de Chile de universidades en sus procesos de creación y de autonomía), gestor de empresas y de emprendimientos tecnológicos.

Sr. Carlos Bustos.

—Muchas gracias, Silvana, por la invitación para tratar este tema que nos apasiona. Cuando me invitaron a hablar del tema ciberseguridad, en la conferencia mensual del Instituto de Ingenieros, pensé que, como son ingenieros que hacen cosas de verdad, no tanto en este mundo virtual en que nos movemos nosotros, sería diferente y entonces preparé esta pequeña presentación.

Vamos a hablar de cuatro cosas: primero que nada, del contexto general de lo que está pasando en Chile y el mundo en temas de transformación digital.

Después vamos a bajar a temas ya más relacionados con Chile y de cómo esto afecta las labores que cumplimos como ingenieros, en todo ámbito, desde las empresas de ingeniería, hasta las obras de ingeniería; todo lo que se construye, todo lo que se puede ver, del orgullo que tenemos de nuestra ingeniería, de la capacidad de construir edificios en altura, en un país sísmico. Toda esta resiliencia que tenemos sobre nuestra infraestructura Chile es un país en que, si viene un sismo, en otras partes se caería todo y aquí dejan de funcionar un par de cosas y a la semana estamos retomando de nuevo las actividades, eso es admirable para todo el mundo. Están también todas las obras de minería, todas las obras en autopistas, en la industria etc. Daremos algunos ejemplos y de cómo esta transformación digital está afectando todo eso, y cómo falencias de ciberseguridad, pueden hacer que, a pesar de que nuestras obras de ingeniería estén perfectamente construidas, fallen, pero no por un tema de afectación física, sino que por un tema virtual.

Y luego hablaremos de cómo se resuelve todo esto. Daremos matices a conceptos generales, de cómo se resuelve desde el punto de vista de la industria.

Luego cosas más específicas o sea de cuánto deberíamos estar invirtiendo en este tipo de tecnologías de ciberseguridad y protección de ciberseguridad (Figura A1).

Lo que está pasando hoy en el mundo, es que hoy día tenemos básicamente, de los 8 mil millones de personas en el planeta, hay 5 mil millones que están conectadas a la red y, además, con varias veces más en dispositivos. Entonces, lo que está pasando ahí, es que el valor de esta red, con el valor de estos activos digitales, dejan de ser activos físicos. Así, con activos digitales, surge un interés de bandas

criminales organizadas, de acceder a estos activos digitales, para beneficio económico, lo cual obviamente aumenta la necesidad de protegerse. Tenemos todo este sistema interconectado y gente que está interesada en acceder a esta riqueza en forma ilícita y beneficiarse de eso, y este ataque informático, no solo son causa directa en pérdidas, de lucro cesante, robo de dinero, robo de información, sino que también en reputación y quizás ahí, Claudio Magliona va a entrar más en detalle, en posibles multas de los entes reguladores; cada vez más en el mundo se está viendo eso.

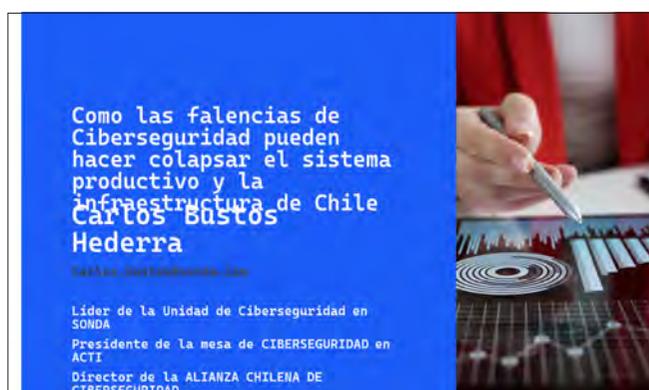


Figura A1

Las empresas no tienen, ni el tiempo, ni los recursos para dedicarlos a la solución del problema y mantener la confidencialidad, integridad y disponibilidad de su información.

Aquí una pequeña lámina, que da cuenta de este estudio de Data Bridge, que en el fondo dice, que el año 2022, se alcanzó el valor máximo histórico de lo que cuesta un ataque digital, con un costo de 4,4 millones de dólares en promedio por una violación de datos; en el caso de Latinoamérica es un poco menor, son 2 millones de dólares en promedio.

Y de lo otro que habla este estudio, es que es muy difícil identificar al atacante, en promedio en Latinoamérica se demoran casi un año en identificar que están siendo atacados y contener una filtración de datos, mientras el resto del mundo son 267 días, lo cual tampoco es mucho mejor. Y esto, en los últimos años, se ha visto exacerbado por esta transformación digital acelerada producto de la pandemia. Todos nos vimos en marzo de hace 2 años, de un día para otro, encerrados en la casa. Por ejemplo, en el caso de la industria bancaria, qué es lo que pasaba, los ejecutivos

estaban en las casas y los clientes estaban también en las casas, de alguna forma ellos tenían que seguir vendiendo servicios y tenían que habilitar todos sus sistemas para trabajar en forma remota, tenían que habilitar también nuevos servicios y eso produjo una transformación acelerada en la industria bancaria.

En la empresa de servicios de ingeniería, se tuvo que seguir desarrollando la ingeniería, y de repente tuvieron que mandar a todo el mundo a la casa. Algunos de los que están aquí quizás se vieron enfrentando a eso y tuvieron que partir con su computador a instalarse en la casa, o usar otros métodos tecnológicos para poder seguir desarrollando la ingeniería, lo mismo en la operación de plantas etc. Esto afectó a todos y ese proceso hizo que la transformación digital se acelerará, generara más riqueza y, por lo tanto, como era de esperarse, hubo más intentos de ataque y se desarrollaron más herramientas de agresión, para hacerse de estos activos digitales (Figura A2).



Figura A2

Hablando de lo que pasa en la problemática para los ingenieros, en general hay dos grandes temas.

La etapa de proyecto, hay una empresa de ingeniería y hay una empresa de construcción armando el proyecto.

Y en la parte de operación, generalmente lo que está pasando, es que cada vez más las redes SCADA se están exponiendo más en internet y están siendo víctimas de ataques, en general porque hay temas que no están correctamente parchados.

Traje algunos ejemplos de lo que pasa en estos casos.

El primer gran virus informático se dirigió a redes SCADA, alguno de ustedes tiene que haber escuchado eso, fue Stuxnet, un gusano que se desarrolló para atacar el problema de enriquecimiento de uranio que está desarrollando Irán. Se dice que o se piensa que, fueron los israelíes y los americanos que estaban preocupados por este proceso y, en esa época, este Stuxnet, aprovechó ciertas deficiencias de los sistemas operativos de los controladores lógicos, de estas plantas de uranio y aceleró la centrifugadora, y logró desestabilizar esta maquinaria para producir un retraso en el programa nuclear de Irán. Ahora, lo interesante de todo este ataque, es que lo que hicieron los autores fue dejar unos pendrives en los comedores, en las partes no seguras de estas plantas, y algunos de los empleados los tomaron, vieron lo que había adentro y ese fue el vector de ataque.

Otro caso muy conocido y que pasó hace poco, fue el de Colonial Pipeline, donde un grupo de hackers atacó un oleoducto de la costa este de Estados Unidos. Los tipos dijeron que no esperaban que el desastre fuera tan grande, ellos solamente querían cobrar un rescate de 10 a 15 millones de dólares, ese era su negocio, pero lamentablemente, el virus se expandió y cortó todo el sistema de suministro de la costa este; el Presidente de Estados Unidos tuvo que declarar un estado de emergencia, el 9 de mayo del 2021, y fue brutal el impacto físico a una instalación, fue muy grande.

Y el último caso a mencionar, que fue interesante, fue el ataque de un grupo de hackers a Costa Rica, que fue en abril de este año, donde básicamente detuvieron el funcionamiento de Costa Rica, fueron atacando al Ministerio de Hacienda, al Ministerio de Ciencia, al Ministerio del Trabajo, en algún momento detuvieron el pago a todos los profesores de Costa Rica, detuvieron ahí al sistema educacional. Se declaró un estado de emergencia nacional, desde el 8 de mayo de este año y bueno se han ido recuperando, pero básicamente afectó gravemente a su infraestructura. También atacaron al servicio de aduanas, pararon todas las importaciones y las exportaciones, esto afectó gravemente a toda Costa Rica.

Ahora, un tema interesante, empezamos a entrar en el análisis de algunas de las cosas que podemos hacer para protegernos. Hicieron un análisis post mortem en Costa Rica y descubrieron que de 250 instituciones que analizaron, 180 de ellas, no tenían un encargado de ciberseguridad y ese, para mí, es un tema interesante. Creo que lo primero que hay que hacer, es nombrar a alguien responsable de esto,

aunque no sepa de ciberseguridad, mucha de la gente que estamos en este rubro, venimos de otras disciplinas, nos hemos ido incorporando a la ciberseguridad y en el proceso uno va aprendiendo. Tiene que haber un responsable encargado de la ciberseguridad.

El Gobierno de Costa Rica, lo descubrió de mala forma, hay un montón de cosas más que tienen que ir haciendo, pero eso fue uno de los hallazgos principales.

Otros temas, en carretera; los famosos avisos en carretera. Colocar algo en un aviso de carretera, es algo relativamente sano, pero se ve que la infraestructura está expuesta y hay algunos analistas como Gator, que piensa que de aquí al 2025, muchos autores de amenazas, habrán convertido en arma los entornos de tecnología operativa y van a poder cobrar víctimas humanas con éxito. Vale decir, de aquí al 2025, por lo menos, vamos a escuchar de una noticia, en que alguien perdió la vida, porque se tomaron algún sistema de operación que puede ser de un hospital, por ejemplo, que entren a un equipo y desconecten a una persona de un soporte vital u otra, pero por lo menos alguien va a estar en alto riesgo de que sufra un ataque en estas circunstancias.

Esto es como el ambiente, el contexto; entonces, ¿cómo encaramos este tipo de problemas en la industria? Básicamente, lo que hacemos es basarnos en modelos de madurez y hay varios, está el NIST que están orientados a la industria financiera, está en el NERC-CIP, por ejemplo, en la industria eléctrica, el PCI para todo lo que es tarjetas de crédito, pero básicamente lo que dicen estos modelos, es que hay que ir implementando las soluciones en fase (Figura A3).



Figura A3

Cuáles son las cosas en las que nos deberíamos fijar, o las primeras en que nos deberíamos fijar.

Aquí está el análisis de las empresas de seguros, porque lo que tenemos que hacer, es manejar el riesgo y las empresas de seguros son expertas en eso.

¿Ante el riesgo qué se puede hacer?, se mitiga, se asume, o lo transfiere y la empresa de Seguros cuando uno quiere contratar los seguros ciber, se fija en estas 8 cosas:

1. Tener un servicio de monitoreo de la infraestructura desde el punto de vista de seguridad, que son estos famosos servicios SOC.
2. Gestionar a los usuarios con privilegio.
3. Tener claro qué es lo que estamos protegiendo, cuáles son los nuestros activos, nuestro hardware, y software que tenemos en nuestra organización.
4. Gestionar correctamente las identidades de las personas.
5. Tener algún sistema de control de nuestras estaciones de trabajo, tener algún tipo de antivirus o anti malware, lo que se llama una EDR en sistemas avanzados.
6. Gestionar dobles factores de autenticación, tener esta doble clave, en las cosas personales que usamos de repente, habilitamos la doble clave, por ejemplo, nuestro email, en nuestro WhatsApp, pero llevado a la empresa.
7. Entrenar a nuestra gente, capacitar a nuestra gente en los problemas de ciberseguridad.
8. Y tener un buen procedimiento de backup.

Estos son los 8 focos que, si no los tenemos deberíamos preocuparnos de tener; obviamente hay empresas que están muy por sobre esto, están mucho más avanzados, pero sí estamos iniciando nuestro proceso de ciberseguridad, debemos:

- Uno: nombrar a un responsable de ciberseguridad.
- Dos: fijarse en estos 8 temas.

Y, finalmente, la pregunta que siempre se hace uno de cuánto debería estar invirtiendo en esto, porque uno no puede sobreinvertir, la inversión tiene que estar en función del negocio (Figura A4).

Les traje también algunos datos, que después podemos quizás compartir. Por industria, cuánto se gasta en ciberseguridad. Por ejemplo, en la industria de la construcción 197 dólares por empleado, es un número para Estados Unidos.

Uno tiene que pensar, bueno, cuántos empleados tengo, entonces más o menos debería estar gastando esto; en la parte industrial, manufactura industrial 236 por empleado, visto desde el punto de vista de empleado, visto desde el punto de vista de cuánto de mi ingreso debería gastar en ciberseguridad. Aquí está, por ejemplo, el tema de banca de finanzas, que son los que más gastan, dicen que debería gastar 4 dólares por cada 1.000 dólares de ingreso, en las *utilities*, servicio de agua, electricidad, etc., 2 dólares por cada 1.000 dólares de ingreso.

Sr. Claudio Magliona.

—Gracias a Silvana, Jorge, muchas gracias al Instituto, feliz de poder compartir con ustedes.

Me gustaría traer buenas noticias, pero no traigo buenas noticias; todo tiempo pasado fue mejor, está clarísimo en materia de delito informático, lo que viene es horrible, no porque las máquinas delinquen, porque los que delinquen son los seres humanos, eso lo sabemos, pero a medida que haya más tráfico, que haya más tecnología, que nosotros estemos más tecnologizados, más dependientes del software, hardware, redes, conectividad, van a haber más delitos informáticos. Es un hecho, creer que esto no va a pasar no tiene ningún sentido, las máquinas las hacen los seres humanos y por eso son falibles y uno puede entrar a cualquier tipo de red, puede cometer cualquier delito y es un problema que se empieza a dar en el área jurídica.

Bueno, soy responsable de algo que no puedo controlar, por ejemplo, cuando una institución bancaria es objeto de un ciberdelito y sufre un Phishing, estamos hablando de algo distinto a la Ley de Tarjetas de Crédito. Si una entidad bancaria es objeto de un Phishing y algunos de sus clientes sufren perjuicios, tiene lugar la responsabilidad bancaria, porque la responsabilidad en nuestro sistema jurídico supone la negligencia, dejar de hacer algo y en ese momento se es responsable. Pero cuando uno hace todo, tú tenías herramientas World Class cómo se dice, herramientas de nivel mundial, y efectivamente tenías un control interno, con la autenticación y todo, y aun así se comete un delito informático, ¿cuál es la responsabilidad que hay de por medio?



Figura A4

Uno va viendo donde debería estar ubicado, una empresa de servicios profesionales, una empresa de ingeniería, que tenga 400, 500 empleados, son 400 dólares por empleado, uno más o menos tiene una idea de cuánto tiene que ser la inversión (Figura A5).

Muchas gracias.

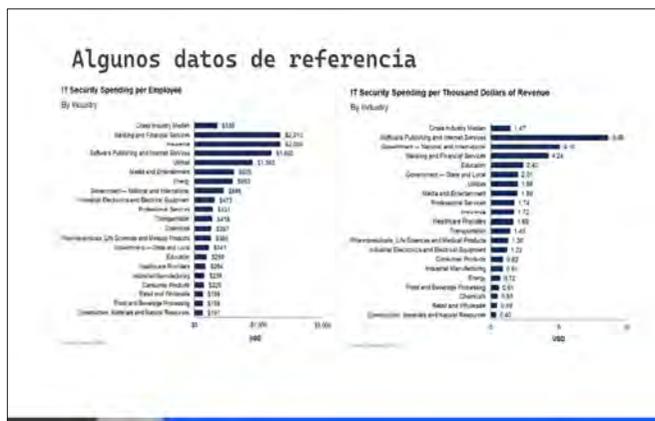


Figura A5

Ahora, es una realidad, Carlos Bustos mencionó lo que está sucediendo en materia de delito informático, cómo una empresa tiene que prevenir, cuánto tiene que invertir, cuáles son las tasas de delito; yo como abogado hablaré de legislación y de regulaciones, y acá se vienen múltiples obligaciones. Una empresa o una persona natural, una empresa estatal, una entidad sin fines de lucro, una entidad de la sociedad civil, como ingeniero, como profesionales podemos ejercer nuestra profesión desde distintas trincheras, de distintos sectores, no estamos limitados en la empresa privada, porque efectivamente quiero prevenir, quiero tener una política de ciberdelincuencia, en virtud de que característicamente se trata de disuadir al delincuente, y por eso uno ve en el diario financiero, que el Banco de Santander, estoy poniendo

un ejemplo, acaba de invertir 190 millones de dólares, en protección, en medidas de ciberseguridad, quizá el objetivo es disuadir y decirle al señor delincuente que no se acerque porque estoy preparado, quizá al mismo tiempo se le pone en una tentación para que vaya a esa institución.

La normativa y la regulación que viene, nos va a obligar, queramos o no, a hacernos cargo de este tema y viene pesada, lamentablemente súper pesada, y aquí el llamado es a que nos involucremos, porque viene tan pesada que realmente puede alterar nuestro día a día. Me voy a adelantar un poquito; el proyecto de ley marco sobre ciberseguridad crea una Agencia Nacional de Ciberseguridad, este proyecto fue presentado por el Gobierno del Presidente Piñera. El Presidente Boric quiere seguir adelante con este proyecto, y presentó un paquete de modificaciones, entre ellas un paquete que incluye que cualquier empresa, que tenga infraestructura crítica, que tenga servicio esencial, cuando sufra un ciberdelito, si la afecta en materia operativa, debería comunicarlo a la Agencia sobre ciberseguridad, no le encuentro ningún sentido la verdad y es un ejemplo de sobrerregulación (Figura B1).



Figura B1

Uno ve que la Ley de Delitos Informáticos que era de 1993, se acaba de modificar, además de complementarse, tanto en los tipos penales como en la parte procedimental. En los tipos penales, imagínense que la Convención (Convenio de Budapest) sobre el cibercrimen mundial, al que nosotros mediante esta ley adherimos es del 2001, entró en vigor en 2004 y estamos en el año 2022, y lo implementamos finalmente, crea figuras de fraude informático. El engaño en materia clásica, el tipo penal del código penal es el ardid, la puesta en escena es hacia un ser humano; ahora se

establece el fraude informático, se establece la falsificación informática, se establece el delito de distribución de virus, se establece el delito de acceso ilícito, ya no es acceso ilícito como se contemplaba en la ley de 1993, en que era acceder ilícitamente sin autorización con el objeto de poder acceder a la información, no es necesario, basta con que acceda sin autorización el sistema de tratamiento de información sin ningún interés, porque el sistema de tratamiento de información no es distinto a mi casa, no es distinto a la propiedad privada.

Ahora también trae al *hacker ético* y aquí yo soy super crítico de esta figura, pero lo trae bien regulado, se establece que es el ingreso con el objeto de detectar vulnerabilidades del sistema de tratamiento de información, pero con autorización del titular del sistema de tratamiento. Me cuesta entender, las iniciativas que buscan crear un hacker ético, en virtud del cual alguien, aunque tenga muy buenas intenciones, sea un académico o quien prometa no dar a conocer las vulnerabilidades al mercado, hasta que se las de al titular, pueda acceder al sistema de tratamiento de información. No entiendo la dinámica, no existe regulación en ninguna parte del planeta tierra, ¿por qué queremos innovar en Chile? Cuando tenemos los bancos con secreto bancario. Nosotros como abogados tenemos secretos profesionales, los distintos credos religiosos tienen sitios web y tienen fichas que guardan información de nuestra persona, y ni hablar de los centros asistenciales, los centros médicos, puedo poner 500 ejemplos. Si se declara que se va simplemente a ver la chapa y una vez que logre entrar, no se va a mirar, ¿quién me garantiza que no vas a mirar, ¿quién me garantiza que no se va a producir algún evento por el cual algo de información se va a filtrar?

Esta nueva ley de delitos informáticos que trae todas estas figuras penales además facilita el procedimiento de investigación tanto el Ministerio Público como las policías. Ahora, lo importante y lo elemental y aquí ya no estamos hablando futurología, sino que estamos hablando de la ley que entra en vigencia el 20 de diciembre de este año 2022, hace aplicable la responsabilidad penal de las personas jurídicas, en la comisión de los delitos informáticos, cuando se hace por colaboradores, empleados, por ejemplo, de una empresa. Y esto es muy interesante, porque esta ley partió con el delito de corrupción, lavado de dinero, y ha ido incorporando distintos tipos penales de delitos, por el cual el empleador responde por los actos de los colaboradores, cuando esos actos de los colaboradores le produzcan un

beneficio o utilidad. El ejemplo clásico que se pone acá de delito informático, una licitación por compra pública, y se ingresa sin autorización al sistema de tratamiento de información de la competencia, se ve cuáles eran sus precios y modifico los míos y me adjudique la licitación y después se descubre que se cometió el delito informático.

Si la institución no tenía un modelo de prevención de delitos incorporado, con una persona que estuviera a cargo de prevenir estos delitos, de disponer medidas, de hacer charlas, entonces a la persona jurídica inclusive se le puede declarar la clausura, la terminación e indemnización de perjuicios. Y este tema no es menor, porque esto lo resume y lo conecto con lo dicho por Carlos Bustos, cuando dice que lo mínimo es que haya una persona encargada. Bueno, aquí si tú quieres, efectivamente limitar, blindar tu responsabilidad, vas a tener que tener un modelo de prevención de delitos, que efectivamente se pueda comprobar lo relacionado con charlas, capacitaciones, cómo conversaste con tu equipo, quién es la persona a cargo, para disminuir tu responsabilidad penal, y este es el mayor cambio, que es brutal y va a ocurrir ahora.

Junto con eso, cuando uno hace el análisis de qué es lo que se viene en normativa, piensa que ya se viene la nueva ley de delito informático, modelo prevención del delito.

Después viene un proyecto de ley de delito económico, y responsabilidad de las personas jurídicas, que está avanzando muy rápido, que actualizaría la ley y consideraría los delitos informáticos como delito económico, cuando han sido cometido por un sujeto al interior de una empresa o en beneficio de ella, que sigue la misma dinámica.

Por otro lado, no podemos dejar de referirnos a la Ley de Datos Personales, está en segundo trámite constitucional, se crea una Agencia Nacional de Protección de Datos, que nos va a fiscalizar. Ahora, claramente uno tiene que entender que la dinámica del delito informático y datos personales son completamente distintas. En el delito informático lo que se sanciona, es acceder sin autorización, no tiene relevancia hacia el otro lado de la cerca o de la reja si los datos eran públicos, privados, personales o no; si se dispuso una medida de protección y alguien se las salta es delito. Pero gran parte de la data que circula y que nosotros protegemos, es data personal, los datos personales de una persona, que pueden ser datos personales propiamente tales, como pueden ser datos sensibles, respecto a la integridad física y psíquica de las personas.

Y aquí también se van a generar muchas obligaciones transversales, si es PYME, no es PYME, si es un trabajador, dos trabajadores, si es del sector público, va a haber un deber y principio de seguridad, una obligación de comunicar vulnerabilidades a la Agencia de Protección de Datos, filtrado de datos, y de disponer medidas de protección, además de tener también en la Ley de Datos Personales, un modelo de prevención de infracciones, con objeto de reducir las responsabilidades cuando se produzcan estas filtraciones.

Me imagino que han escuchado hablar del famoso RGPD, Reglamento General de Datos Profesionales, que se ha convertido en estándar de factor, podemos estar de acuerdo o no de acuerdo, pero es la realidad y las legislaciones, siguen copiando esta normativa. Hoy día en este proyecto de datos personales se están discutiendo multas de 2 al 4% de los ingresos anuales del ejercicio pasado, 2 al 4% o tratamiento de dato personal. Entonces estamos hablando que se viene una, no sé si sobre regulación, pero imagínense todos los cuerpos normativos y sé que puede sonar abrumador (Figura B2).



Figura B2

Por otro lado, tenemos el proyecto de ley marco sobre ciberseguridad, que crea una Agencia Nacional sobre Ciberseguridad, piensen que ya tenemos una agencia nacional, vamos a tener otra agencia nacional de dato personal, es un proyecto de ley que está en primer trámite constitucional en el Senado, con comisiones unidas de defensa y seguridad nacional. Es un gigante, porque el Gobierno actual cuando presentó las indicaciones, cambió el enfoque y en vez de hablar de aquellos proveedores que sean clasificados como proveedores de infraestructura crítica, paso a hablar de servicios esenciales, y de servicios importantes, con

relevantes obligaciones, por ejemplo, que se propone un plazo de 3 horas para reportar ciberincidentes de impacto significativo de Seguridad Nacional.

Todo eso supone definiciones. ¿Cómo venía el proyecto marco sobre ciberdelincuencia? Venía como: infraestructura crítica, regulado; infraestructura no crítica, no regulado. Pero con las indicaciones del Gobierno del Presidente Boric, lo que se busca ahora es una ampliación, porque en el fondo del análisis se piensa por ejemplo en Gmail. ¿Cuántas personas como nosotros ocupamos Gmail?, porque cuando uno hablaba de infraestructura crítica, uno lo hacía pensando en el agua, la electricidad, el software de control de tráfico aéreo del aeropuerto, el Metro, que cuando se frenaban, dejan de funcionar, etc., provocan un efecto, la mayor parte de las veces acotado, pero ahora están bastante más amplias las hipótesis de afectación de personas, bienes o servicios, por ello la regulación se va a empezar a revisar en este proyecto de ley de 80 páginas que genera obligaciones en general y también traen obligaciones de seguridad, obligaciones de comunicar vulnerabilidades, etc.

Como si esto fuera poco, tenemos además de la Agencia de Datos Personales que viene, además de la Agencia de Ciberseguridad y tenemos normativas sectoriales.

Tenemos a la CMF, con normativa sectorial para los bancos, en que se contempla una ventana de 30 minutos para comunicar filtraciones de datos o vulnerabilidades.

Tenemos la SUBTEL que viene a regular a las empresas de telecomunicaciones.

Y tenemos al SERNAC, porque el SERNAC, recordemos que, en el último proyecto de ley de modernización de las normas del consumidor, se le dieron facultades sobre datos personales.

El SERNAC ya aprobó las cláusulas tipo, en que clasifica como abusivas las cláusulas de protección de datos personales en los sitios web, entonces pensemos que hoy el SERNAC los puede regular a ustedes, a nosotros.

Entonces tenemos un farrago de ley actuales, de leyes que vienen de una CMF, de SUBTEL, de SERNAC, de una agencia de por acá, de una agencia por allá, con obligaciones de comunicar, obligaciones de no comunicar y la verdad es que soy bien escéptico en este sentido, porque la pregunta

es ¿cómo va a quedar esto? La regulación significa costos y tener una persona interna, hay dinámicas distintas que se analizan y se discuten porque muchas veces se dice, bueno no, que las grandes empresas queden reguladas. Pero uno cambia, va cambiando en la vida, y uno dice, es bueno que las grandes empresas que manejan grandes bases de datos, cuya vulneración en materia de ciberseguridad puede producir una afectación importante lo estén. Pero luego escuché a un gremio que dijo, cuidado Claudio, porque acá son eslabones en materia de ciberseguridad, y el eslabón suele romperse en la parte más débil, y por qué digo esto, porque normalmente se escuchan voces que dicen no a las pymes, hay que regularlas de una forma menos gravosa, pero claro si hacemos que una pyme tenga menos obligaciones, menos cuidado en los eslabones de la cadena de ciberseguridad nacional, ahí va a ser donde se va a cortar seguramente la cadena, si bajamos los estándares.

Por otro lado, quiero ejemplificar lo siguiente. Hay una serie documental muy interesante en el TV Cable respecto de una empresa que creó un test, en que se señalaba que con un solo pinchazo se podían saber todas las enfermedades que uno tenía, si tenías cáncer, etc. y todo resultó ser un fraude. Pero lo que más interesa es que si no fuera un fraude y efectivamente una PYME encuentra que con un pinchacito y una gota de sangre puede saber exactamente todas las potenciales enfermedades, sobre tus genes, etc., esa es una información muy sensible y si no está bien protegida y se vulnera, el daño puede ser gigante. Esto versus una empresa que está haciendo comercio electrónico y que lo que tiene es tu domicilio, tu nombre, tu edad, tu número de tarjeta de crédito. Entonces, a partir de estos ejemplos, hay que analizar qué es lo que se afecta y en virtud de ello establecer cuáles son las obligaciones en ciberseguridad (Figura B3).

En materia de ciberseguridad, todo tiempo pasado fue mejor, y el mensaje es que se vienen obligaciones y se vienen costos, y la pregunta es ¿qué hago?, ¿espero que estas leyes o regulaciones se aprueben? o ¿empiezo ahora e inicio una cultura interna en materia de ciberseguridad y protección de datos personales al interior de las instituciones?

Hoy puedo decir, que las grandes empresas, no están esperando que se apruebe la ley sobre datos personales para actualizarse, porque el Reglamento General de Datos Personales de la Unión Europea, exige que cualquier tratamiento de un miembro persona natural de la Unión Europea en cualquier parte del planeta tierra, requiere que

se respete el reglamento general de datos personales. Ahora, obviamente que de ahí a que la Unión Europea pueda venir a Chile a sancionar es otro tema, pero las empresas que están haciendo multinegocio, multipaíses, no se van a arriesgar y empezaron a actualizar su normativa actual, lo mismo sucede sobre la ciberdelincuencia (Figura B4).

trabajo mediante cláusulas tipo, entonces eso va a exigir que nosotros como PYME que estamos prestando servicios, vamos a tener que cumplir los mismos estándares, y tenemos que ir adecuándonos y con eso concluyo mi presentación (Figura B5).

Muchas gracias.



Figura B3



Figura B5



Figura B4

En materia ciberseguridad hay muchos proveedores externos que pueden dar la protección necesaria, no es necesario hacer un desarrollo interno y contratar personal internamente, por lo cual el llamado es no a esperar, les señalé millones de leyes, millones de obligaciones, la recomendación es no esperar; los grandes jugadores del mercado no están esperando y ojo con esto.

Concluyo que los grandes jugadores del mercado por decirlo así, las grandes empresas, el Rider, tienen obligaciones por el reglamento general de datos personales, de imponer los mismos estándares a sus proveedores del

Al término de la Conferencia, los Sres. Bustos y Magliona respondieron consultas y comentarios de los asistentes. Don Jorge Yutronic hace de moderador. A continuación, reproducimos lo más relevante de estas intervenciones.

Sr. Jorge Yutronic.

—Muchas gracias, Claudio, reitero el agradecimiento también a Carlos. En realidad, los he escuchado no solamente con atención, sino que, con mucho interés, porque han podido concretar en poco tiempo algo que era difícil, tanto desde el punto de vista legal, como desde la ingeniería y la transformación de las empresas.

Sr. Julio Ramain.

—De acuerdo con los últimos incidentes de ciberseguridad del país, y teniendo en cuenta que los framework de gestión de los sistemas de gestión en seguridad e información existen hace un tiempo considerable, ¿por qué creen que, en nuestro país, no hubo adherencia a estos marcos de referencia a tiempo, para estar preparados y responder a este tipo de incidentes?

Sr. Carlos Bustos.

—Todos queremos ir más rápido y diría que estos frameworks requieren ir madurando, los temas requieren ir madurando. Por ejemplo, 9 mujeres no tienen un bebé en un mes, se necesitan 9 meses para poder concebir, es similar aquí, se generan estos modelos y se van de a poco madurando dentro de la organización; es un proceso de madurez y eso parte desde arriba, tiene que haber un apoyo ejecutivo a este tipo de iniciativas, y tiene que haber un encargado que lidere un comité de ciberseguridad dentro de la organización, este es un proceso que demora.

Hace un par de meses atrás, se dio este ataque al Estado Mayor Conjunto y recuerdo que estábamos con Daniel Álvarez, que es el Coordinador Nacional de Ciberseguridad, que decía, bueno pero si al final el ataque fue muy sencillo, si era cosa de proteger una vulnerabilidad conocida hace años, uno dice, claro concuerdo con Julio, ¿por qué si están todos estos estándares, estos frameworks de gestión de la ciberseguridad, simplemente no se implementan?, bueno porque demoran, y son instituciones que tienen gente capaz y son vulnerados.

Sr. Claudio Magliona.

—Por mi lado quiero decir, yo soy súper patriota, pero somos chilenos y es sabido que nosotros dejamos todo para el último momento. En Estados Unidos, la primera Política Nacional sobre Ciberseguridad, si no me equivoco es del 2002, la primera Política Nacional sobre Ciberseguridad en Chile es del 2017, quince años después. Pero hoy en día hay que pensar que metemos un virus al software de tráfico aéreo del aeropuerto y se acabó, le metemos un virus al sistema de control del Metro y se acabó, lo mismo para la electricidad, los transmisores, los generadores, los distribuidores, todo es software, meto un virus y dejó a Chile apagado.

Pero eso de dejar para el último ya no es el camino, porque genera pérdidas, porque al final del día, si tu institución no está operativa por tres días porque tiene un virus, bueno ahí ya te disté cuenta que no fue muy razonable haberse ahorrado ese par de pesos o ese consultor, porque no valía la pena simplemente.

Sr. Sergio Bitar.

—¿Qué criterios debieran guiar la definición de una infraestructura crítica?

Sr. Claudio Magliona.

—El criterio de definición de infraestructura crítica, lo que voy a decir será en términos super vagos, eso está en un proyecto de ley, pero todos sabemos dónde nos aprieta el zapato. Yo trabajo en un Estudio Jurídico, no tengo infraestructura crítica, y si quieren que el día mañana tenga que comunicar una filtración de datos, creo que es un error, porque va a generar una cantidad de papeleo y notificaciones que van a llegar un repositorio y nadie lo va a ver, a nadie le va a interesar.

Ahora evidentemente si yo soy Metro, ENEL, o una empresa de telecomunicaciones, está claro que soy infraestructura y crítica, está claro que tengo que iniciar un proceso de comunicación, no tengo ninguna duda. Pero obviamente que empiezan a darse zonas grises, si estoy administrando una data center, una Data Center individualmente, ¿es infraestructura crítica o no es infraestructura crítica? Eso se lo dejo a Carlos para que conteste esa pregunta.

Sr. Carlos Bustos.

—Es complicado, porque en el momento que dice infraestructura crítica, entran a jugar una serie de regulaciones y surge el tema de dónde se pone el límite. Por ello, me basaría un poco más en los estándares internacionales, en qué es lo que se está definiendo como infraestructura crítica afuera y no iría más allá. Claudio mencionaba que de repente tratamos de ser un poco más papistas que el Papa. Claudio mencionaba algo sobre establecer la obligación de reportar en 3 horas, mientras que el standard europeo son 72 horas. Hay que ir viendo, porque todo esto al final significa costos, inversiones, tiempo y desenfoque, es complicado y, efectivamente es una zona gris.

Sr. Nicolás Betchel.

—Según la presentación de Carlos, se mencionó que el rubro de educación tenía el cuarto lugar que más debería gastar en seguridad, ¿por qué esto no se refleja en Chile? De hecho, el ámbito de la educación es uno de los más débiles, señalaba este indicador.

Sr. Carlos Bustos.

—Los estudios que mostré son para Estados Unidos y allá hay mucha preocupación por la privacidad de datos de los niños, hay mucha inversión en ciberseguridad en lo que llaman ellos el kick off, de kínder a cuarto medio. Acá no existe tanto esa cultura, está mucho más disperso, es un problema de cultura.

El otro sector que está subrepresentado en Latinoamérica, y en general, es el sector salud; en Estados Unidos hay castigos gigantes si se pierde información de salud de las personas, acá no es tanto.

Estaba almorzando con un amigo que era el Gerente de Administración y Finanzas de una Clínica acá en Santiago, y me dice: bueno Carlos y tú a qué te dedicas. Bueno, yo veo este tema de seguridad e información, y le expliqué, básicamente, qué pasa si mañana se publican todos los resultados de los exámenes de laboratorio que tú has hecho durante los últimos dos años, y que tan seguro estás de que esa información está protegida. Desde el punto de vista de salud, de la educación, que tenemos que proteger, hoy día está muy poco regulada en Latinoamérica en general, no solo en Chile.

Sr. Alejandro Mellado.

—Sin duda como señala Claudio una política de seguridad es importante, pero Carlos señaló 3 casos de ciberataques en que los sistemas operativos afectados son de Microsoft, por lo general los sistemas operativos Unix poseen significativamente menos fallas de seguridad. Me parece que son muy pocas las empresas o instituciones que han observado esto, y que han migrado todo el core del negocio a sistemas más seguros, generalmente del software libre Linux. Recuerdo que en el 2017 un ransomware provocó dos días de cierre de empresas a nivel mundial y Chile no fue la excepción, no obstante, en

Temuco, el grupo de empresas Electrómun que usa 90% de Linux que es su sistema, no se vio afectado, solo un ejecutivo que usaba Windows tuvo el problema en su computador, pero no afectó las ventas. Pregunta, ¿en el análisis de plataformas operativas seguras, hay un plan de migración a sistemas más seguros, y que por lo general pueden ser más económicos?

Sr. Carlos Bustos.

—Voy hacer ser un disclaimer, trabajé en Red Hat y trabajé en Microsoft, así que estaba en los dos lados de la balanza, ahora, por desgracia Alejandro, el problema ciberseguridad va un poquito más allá de eso. Microsoft y Red Hat también se han preocupado mucho de ir mejorando cada vez más su plataforma y haciéndolas más seguras, sin embargo, sabemos que todos los meses se reportan una serie de vulnerabilidades y día a día hay que ir parchando. Lo principal aquí es tener un buen proceso de parchado y corrección y, obviamente, como tú dices, tratar de ir a plataformas más seguras que están hardenizadas, pero las empresas en general tratan de hacer funcionar las cosas, tratan de operativizar los temas y después se preocupan de la ciberseguridad. Lo principal aquí es que, más que elegir ciertas plataformas, es estar monitoreando un poco las cosas que ellos señalaban, el monitoreo de seguridad, la gestión de eventos, tener claro cuáles son las plataformas que uno tiene y estar haciendo un monitoreo constante de ellas y luego ir generando procesos de parchado de esta plataforma, más que la elección de una plataforma u otra.

Sr. Claudio Magliona.

—Voy agregar un comentario ahí porque no sé cómo está el uso de Linux /vs Microsoft, no sé si de repente uno dice, que Microsoft tiene un montón más de incidentes, pero resulta que Microsoft tiene 1.800 millones más de usuarios, ojo con las comparaciones; ayer estuve con el director del SERNAC y se le criticaba que cierta industria salía como la que tenía más problemas en materia de derechos del consumidor, pero resulta que era la industria que tenía 3 millones de transacciones a la semana, y la industria que le seguía tenía 700.000, entonces era evidente que tenía que estar en el número 1, pero no había un análisis proporcional en número de usuarios. Hay tantos elementos que hay que considerar para llegar a una conclusión y decir, esta plataforma es más segura que la otra, en todas las situaciones

y para todas las instituciones y para todas las industrias, para la bancaria, para la de seguro, para la electricidad, no sé si es posible llegar a esa conclusión.

Sr. Juan Carlos Santa Cruz.

—En bastantes ocasiones me he encontrado con recortes en proyectos en el tópico de ciberseguridad, como por ejemplo en la implementación de IDMZ, ¿cómo piensan que se puede crear más conciencia sobre la importancia y la seguridad en la red?

Sr. Carlos Bustos.

—Se refiere, me imagino, a las zonas de industriales desmilitarizada, exactamente eso es de lo que está hablando Juan Carlos y ahí en general ese es el dolor de cabeza en los presupuestos, para todos los gerentes y de ciberseguridad. Pero aquí yo diría que lo más importante, es hablar en el lenguaje de los negocios, porque muchas veces se recorta el presupuesto, porque a nivel de directorio no se entiende cuál es la necesidad de hacer esto, y ahí hay que hablar en el lenguaje de riesgo, y el lenguaje del negocio, porque al final, el directorio lo que tiene que tener claro es qué riesgo está tomando, si no los tiene claro, va a recortar presupuesto, pero sí tiene claro es cuáles son los riesgos que se enfrentan, definitivamente se van a hacer las inversiones que se requieran, de acuerdo a las necesidades del negocio.

Me acuerdo de un amigo que trabajaba para una cadena de malls y él era el encargado de seguridad y me dijo: mira, quiero invertir 500.000 dólares para comprar un database farewell y proteger la data de nuestros clientes y la respuesta del gerente general le dijo, mira si alguien quiere conseguir la data de nuestro clientes, agarra un papel y un lápiz, se va, se instala en nuestros Mall, ve las tiendas que están ahí y consigue la data nuestros clientes, yo no voy a hacer una inversión de ese tipo. Lo que quiero decir, en el fondo, es que hay que asociar esta inversión en ciberseguridad con el negocio propiamente tal y no estar desconectado.

Sr. Miguel Vargas.

—Dos preguntas, ¿por qué el paquete de modificaciones, indicaciones que un ente público o privado afectado por

algún ataque o compromisos ciberseguridad debe informar a la agencia nacional de ciberseguridad, lo ve como una sobre-regulación? Esta aludiendo algo que tu planteaste Claudio, ¿si se produce una explotación de vulnerabilidad, no debería compartirse con las demás instituciones y personas de la nación entera, aún con las más críticas, que esta vulneración sea informada lo más rápido y transparentemente posible, no lo vemos como algo necesario y deseable en el presente? Los cambios son grandes, las exigencias y cortes serán también grandes, la necesidad de ciberseguridad está exigiendo estas grandes labores de acuerdos entre todos los actores involucrados.

Sr. Claudio Magliona.

—A nosotros nos parece que todas las empresas chilenas estén reportando vulneraciones cuando tengan “efectos significativos”, es un incentivo a comunicarlo todo, porque al final del día para que me voy a arriesgar, al no haber comunicado algo que después una entidad o una autoridad considere que tenía “efectos significativos”. Entonces, la gran mayoría de las instituciones públicas, privadas, sin fines de lucro, con fines de lucro, pase lo que pase ahí adentro no va a afectar la continuidad operativa de Chile. Si estamos hablando de política nacional de ciberseguridad, de continuidad operativa del país, van a ser recursos malgastados, energía puesta en lugares que no corresponden, no puedo estar de acuerdo con eso. En algún momento, claramente nosotros sabemos quiénes son los que sí, cuando sufran un ciberdelito, van a poner en jaque la continuidad de la ciudad. Entonces, no se trata de que salgamos todos a gestionar consultorías de ciberdelincuencia, creo que tiene que haber límite, tiene que haber proporcionalidad.

Sr. Carlos Bustos.

—Ahí Miguel tiene un punto y Claudio tiene otro, y creo que hay un punto de intermedio, porque en el fondo no podemos imponer grandes costos para estar informando todo a todos, pero si concuerdo con Miguel en que tiene que haber formas sistémicas y baratas de informar, cosa que, una vez que se produce un ataque, uno pueda identificar la firma de este ataque rápidamente y levantar las barreras de protección del resto y desde el punto de vista tecnológico sí lo hacemos, pero como dice Claudio no puede ser muy caro, tiene que ser una cosa sistémica y barata y hay formas de

hacer eso y dentro de la industria estamos implementando ese tipo de soluciones que cubren una parte, no cubre todo lo que hablaba Claudio.

Sr. Luís León Cárdenas.

—¿No aplica entonces el encadenamiento regulatorio hacia los proveedores, data center, el estudio de abogados etc.?

Sr. Claudio Magliona.

—No, esto va a ser que ser analizado caso a caso, porque si yo tengo el control del 80% de la data center de Chile, evidentemente que va a aplicar a la data center, por eso digo que distingamos, si yo tengo una data center chiquitito con cierta capacidad, no sé si tiene alguna lógica si la data center se cae va a haber una afectación nacional, aquí hay que analizar uno a uno, no es posible generalizar.

Sr. Juan Pablo Fuentes Pino.

—¿Qué pasa con la protección de datos personales en cuanto a imágenes de video, en espacios públicos administrados por las municipalidades, que dice la ley, cuánto tiempo se pueden resguardar eventos?

Sr. Claudio Magliona.

—El tema de imágenes no es solo un tema de las municipalidades, sino que también un tema de los malls, hay expectativas de privacidad. Yo siempre digo que tengo una expectativa de privacidad desde el baño de mi casa, desde el living de mi casa, desde la puerta de mi casa, desde el pasillo común con el edificio, desde la entrada a una oficina, o sea hay expectativas privacidad y claramente acá se aplican principios generales en materia de grabaciones. Hay fallos de la Corte Suprema respecto a los globos que

están grabando y cuándo el principio de seguridad efectivamente no afecta la privacidad. Los fallos de la Corte Suprema establecen que hay un plazo de eliminación, esto de nuevo es área por área, porque si yo voy a materia laboral en el asunto de las cámaras hay muchísimos dictámenes que te dicen, el tiempo que puedes, cómo puedes poner las cámaras, cuánto puedes, que no puedes editarlas, cuánto puedes almacenar, como las puedes usar. Pero es distinto a las imágenes que toma un dron por motivos de seguridad, pero está regulado y tiene que estar justificado y evidentemente cuando esté apuntando a la piscina de tu edificio, es una infracción a la privacidad.

Un amigo ingeniero, con todo respecto, me decía: sabes a ustedes no lo entiendo porque para nosotros uno más uno es dos, pero para ustedes uno más uno puede ser tres. Eso es porque en Derecho hay que ponderar y esa ponderación de bienes jurídicos es porque hay uno que se llama privacidad y hay otro bien jurídico que se llama seguridad, todo el tiempo nosotros vamos a hacer análisis caso a caso, porque dependiendo la situación, voy a tener que hacer un análisis. Hoy se está discutiendo a nivel nacional que para que tengamos seguridad, quizás vamos a tener que ceder un poquito más de nuestra privacidad a la cual estábamos acostumbrados, entonces aquí en el derecho no está presente el es blanco o negro, es porque hay que ponderar y esa ponderación, en un caso específico puede llegar a una conclusión y en otro caso específico puede ser que llegue a otra conclusión.

Sr. Jorge Yutronic.

—Muchas gracias a ambos, reiteró los agradecimientos por haber participado, por la claridad tanto de los planteamientos iniciales, como de las respuestas que han dado a las preguntas y cómo podemos ver este tema, que no solamente es relevante, sino que crítico.

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 al Ingeniero Germán Millán Pérez y al Ingeniero Ricardo Nanjarí Román. Estas entrevistas, como las que se hagan en el futuro, serán objeto de una publicación especial.

GERMÁN MILLÁN PÉREZ.*Un ingeniero ejemplo para futuras generaciones.*

Su educación secundaria la terminó en el Liceo Valentín Letelier, teniendo muy buenas notas en Matemáticas, Física y Química, donde recuerda con cariño a su profesor Eduardo Rodríguez. Esto lo impulsó a estudiar ingeniería en la Universidad de Chile, en Beauchef, donde se recibió con mención en Estructuras el año 1964. Los profesores que más lo influyeron en la Escuela de Ingeniería fueron Arturo Arias, Rodrigo Flores Álvarez y Elías Arze Loyer. Nos cuenta que en su familia fue el primero en estudiar una carrera universitaria. Tuvo serias dificultades económicas para poder estudiar Ingeniería, debido a la muerte de su padre, sostén de su familia, cuando cursaba el último año de la Educación Media. Con el apoyo de su hermano mayor Iván, quien no pudo estudiar en la universidad, y además con una beca que le otorgó la Universidad de Chile durante los seis años de sus estudios, pudo comprar libros, solventar los gastos de locomoción y tener una colación en el casino de la Escuela. Recuerda con orgullo haber sido Ayudante, Profesor Auxiliar y Profesor de los ramos de matemáticas que se impartían en los primeros años de la carrera, y del ramo de Hormigón Armado.

A comienzos de 1970, siendo Profesor Auxiliar del Curso Estructuras de Hormigón Armado, debió reemplazar al Profesor Titular Rodrigo Flores, debido a que había ido a Japón a dictar un curso de Ingeniería Sísmica. Durante ese reemplazo iniciaron en dicho curso la enseñanza del diseño de las estructuras de hormigón por el método de cálculo no elástico, de acuerdo a la Norma ACI, método que hasta ahora sigue aplicándose, todo un adelanto para la época.

Una vez recibido entró a trabajar a Endesa, y durante diez años estuvo en el área de diseño de estructuras. Se casó en 1968, constituyendo hasta hoy en día una hermosa familia con tres hijos y seis nietos. Los sucesos ocurridos en Chile en 1973, pre y post pronunciamiento militar, les afectaron fuertemente y les hicieron repensar como familia el futuro que deseaban, y tomaron con su esposa la decisión de ir a vivir a España. Se consiguió trabajo en una importante empresa española de generación eléctrica, ingeniería y construcción, que estaba construyendo una gran obra, la Central Nuclear ASCÒ de 2 unidades de 1000MW c/u, ubicada en la Provincia de Tarragona. Vivieron tanto en



Madrid, donde estaba la sede de la ingeniería, como en terreno cerca de la obra en construcción. Luego de cinco años en España, que recuerda como una etapa positiva en su vida tanto en lo personal como familiar y profesional, regresaron a Chile, y se reincorporó laboralmente a Endesa donde estuvo los siguientes 20 años.

En ese período tuvo la oportunidad de trabajar en la Inspección de la construcción de la Central Hidroeléctrica Antuco, de 300 MW, ubicada en la Octava Región, en la Inspección de la Construcción de las Centrales Hidroeléctricas Colbún y Machicura de 490 MW de ENDESA ubicada en la Séptima Región, y la Inspección de la construcción de la Central Pehuenche de 600 MW en la Séptima Región. Culminó esa trayectoria en Endesa siendo Gerente de Ingeniería en Ingendesa, la filial de ingeniería de Endesa.

Después ingresó al Ministerio de Obras Públicas donde fue Inspector Fiscal de la construcción de la Autopista Costanera Norte, dentro del plan de desarrollo de concesiones que llevaba adelante nuestro país. Culminó su paso por dicho Ministerio como Director General de Obras Públicas. Actualmente es socio de la Empresa Consultora

de Proyectos GESTER, y asesor en temas relacionados con la resolución de controversias entre Mandantes de Proyectos y Empresas Constructoras.

Como aporte a la ingeniería en nuestro país, considera sus 30 años en Endesa e Ingendesa, donde partió como ingeniero junior, participó en grandes obras para nuestro país y culminó como Gerente de Ingeniería. También ha hecho un importante aporte como Consultor en la resolución de controversias entre CODELCO y sus Contratistas, en las Divisiones El Teniente, Andina y Chuquicamata.

Germán Millán ha participado activamente en diversas instituciones, aportando con su experiencia y capacidad de trabajo a su desarrollo. En el Instituto de Ingenieros de Chile, donde ha sido Socio desde el año 1964 y ha ocupado distintos cargos del Directorio, llegando a ser su presidente los años 2006 y 2007. Participó en numerosas Comisiones, Comités y grupos de trabajo en materias de interés para la ingeniería de nuestro país. El año 2022 recibió el “Premio Julio Donoso Donoso” que se entrega a los ingenieros que han contribuido notablemente en el mejoramiento de las relaciones humanas en las actividades productivas. También ha participado activamente en el Colegio de Ingenieros de Chile, donde es miembro hace 60 años y ha sido presidente del Consejo de Ingeniería Civil, presidente de la Comisión de Infraestructura Pública, Consejero Nacional, y vicepresidente del Consejo Nacional. Ha sido miembro de la Sociedad Chilena de Derecho de la Construcción, institución que agrupa a Abogados e Ingenieros Civiles interesados en temas relacionados con la documentación necesaria para el diseño, bases de licitación, manejo de contratos durante la construcción y puesta en servicio de obras civiles y montaje de equipos, y resolución de controversias entre Mandantes y Contratistas.

Cree firmemente que el desarrollo de la civilización va de la mano con la interacción entre las distintas disciplinas de la ciencia y la tecnología, en un ambiente democrático. Está convencido de que la ingeniería debe ser cada vez más interdisciplinaria. Termina diciendo que siempre ha realzado la necesidad de ser muy aplicado en el trabajo, donde se debe coordinar adecuadamente a los actores de un proyecto con equipos multidisciplinarios.

Lo más importante en su vida es haber compartido con su esposa 55 años de casado y tener una hermosa familia. Cree firmemente en la vida en familia, nos cuenta que le ha ido muy bien y lo recomienda. Le gustaría que lo recordaran como un buen padre y un buen abuelo. Declara que ha sido feliz como ingeniero civil. Que puso todo su empeño en ponerse a disposición de las organizaciones e instituciones en las que ha participado, aportando conocimiento y experiencia para el cumplimiento de los objetivos propuestos. En las relaciones personales y laborales valora la honestidad y el necesario respeto a las opiniones de cada persona. Ha intentado siempre no repetir aquellas decisiones en que se pudo haber equivocado, o aquellas en que han afectado a alguna persona.

Mirando hacia el futuro, nos dice que en la ingeniería el cambio ha sido notable y cada vez será mayor debido a la incorporación de nuevas tecnologías, las variables ambientales y las necesidades de las nuevas generaciones, y que la ingeniería debe estar servicio de las necesidades de las personas. A las nuevas generaciones les aconsejaría que sean dueños de sus decisiones dentro de un ambiente de respeto a los demás y en forma democrática.



RICARDO NANJARI ROMÁN.*Ingeniero y poeta.*

Las pruebas vocacionales no determinaron claramente si debía seguir el camino científico o el humanista. Sin embargo, optó por la Ingeniería Electrónica. La mejor universidad era la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), pues reunía todos los requisitos importantes para un joven de su edad: tenía prestigio, era un lugar acogedor y quedaba cerca de su casa.

Entre los profesores que lo inspiraron destaca a Luis Da Silva, un académico e investigador en el área de Física. Después de titulado, se trasladó a Santiago para seguir la carrera de Ingeniería Civil Industrial en la Pontificia Universidad Católica (PUC) y allí recuerda a Bruno Philippi y a Nicolás Majluf, ambos académicos destacados que le hicieron apreciar aún más la ingeniería. Un personaje que tuvo influencia en su desarrollo profesional, y que conoció sólo a través de su libro: Luz, sombra de Dios, fue Arturo Aldunate Philips, un destacado ingeniero, investigador y poeta que le permitió establecer la conexión entre ciencia y humanismo que andaba buscando.

Cuando egresó de la PUC, fue contratado por Booz, Allen & Hamilton, una empresa considerada entre las mejores consultoras del mundo, para desarrollar proyectos en el Banco Sudamericano. Esa experiencia le permitió ser parte de un equipo multinacional, y conocer una organización en forma integral. Cuando finalizó ese proyecto, ingresó a Proquim una filial de Enaex S.A, empresa de servicios a la minería en la cual trabajó durante 25 años.

En Proquim empezó siendo ingeniero de proyectos, y como parte de su entrenamiento inicial, estuvo trabajando durante varios meses en Mejillones en la Planta Prillex de Nitrato de Amonio, actualmente una de las más grandes del mundo. Posteriormente, participó en algunos proyectos informáticos, que lo prepararon para formar el área de tecnologías de información (TI) y asumir como jefe del Departamento de Sistemas de Información de Enaex. En ese cargo, junto a un equipo de ingenieros y programadores, difundió la computación personal en la organización y diseñó sistemas de TI y redes de comunicaciones. El año 1992, asumió como gerente de Recursos Humanos en la misma empresa. Las razones de este cambio tan disruptivo, Nanjarí lo cuenta como una anécdota relevante en su vida profesional.



Ocurrió cuando lo invitaron a formar parte de la comisión para negociar colectivamente con un importante sindicato. Lo eligieron por sus conocimientos informáticos y porque conocía bien a los trabajadores de ese sindicato, desde los tiempos de su entrenamiento inicial. La negociación, aunque difícil, terminó bien, y su desempeño fue bien valorado. Inmediatamente después, venía otra negociación que sería más compleja aún. Cuando estaba por comenzar, el gerente del área presentó su renuncia. En la emergencia, el gerente general decidió designarlo como gerente del área. Ahí empezó una nueva etapa en su vida laboral. Dejaba la informática para ingresar al mundo de los recursos humanos.

Como Gerente, le correspondió liderar el diseño e implementación de políticas en materias de gestión de personas, participar en negociaciones colectivas periódicas y coordinar los procesos de gestión de calidad y excelencia en toda la Compañía. También siguió estudiando y obtuvo el grado académico de Magister en Dirección de Empresas otorgado por la Universidad Adolfo Ibáñez (UAI). En esos años, también viajaba continuamente a Estados Unidos para asistir a los congresos de la American Society for Training and Development (ASTD), en los cuales podía conocer los

avances e innovaciones en temas de gestión de personas, que en Chile aún tenían un desarrollo incipiente. Como resultado de su gestión, la empresa obtuvo numerosos reconocimientos en las áreas de gestión de calidad, recursos humanos y responsabilidad social.

El año 2004 el Instituto de Ingenieros le otorgó el premio Julio Donoso Donoso por considerar que realizaba una contribución a las relaciones humanas en la empresa y hacia la comunidad, y posteriormente en 2013, el Círculo de Ejecutivos de Recursos Humanos, CERH Chile, le otorgó el Premio Carlos Fuentes Bizama, por su contribución al desarrollo de las personas.

Sus aportes a la ingeniería han estado asociados a la gestión y la enseñanza, implementando cambios organizacionales, incorporando tecnologías de información, creando nuevas áreas y mejorando ambientes de trabajo. En docencia, lo ha hecho enseñando técnicas, procesos y sistemas de gestión. Los vínculos con otros ingenieros se dan principalmente en dos ámbitos, con algunos compañeros de Universidad, y a través del Instituto de Ingenieros, en donde ha sido director y ha participado en distintas comisiones que le han permitido establecer amistades y lazos profesionales.

El año 2008, fue contratado como gerente de Personas por la Empresa de los Ferrocarriles del Estado (Grupo EFE). Por su historia laboral, además del área de personas, se le asignó en un comienzo el área de TI. Allí condujo el proceso de cambio cultural para apoyar la nueva estrategia de la Compañía, trabajó en la optimización de los procesos de gestión de personas, y lideró las negociaciones colectivas en contextos de alta exigencia.

El año 2016, asumió como director de Personas en la Universidad Alberto Hurtado, donde su labor fue posicionar el área en el nivel estratégico, incorporar los procesos esenciales de recursos humanos y optimizar los sistemas. Ese mismo año, se certificó como Coach Ontológico Senior en Newfield Consulting.

En relación con sus aportes a otras disciplinas, comenta que ha publicado varios libros de poemas, crónicas, e incluso, una novela. Destaca entre ellos, El arte de la dirección (2014)

y Estudios de felicidad (2018). También ha ejercido la docencia desde hace años en distintas universidades, y en el último tiempo se ha dedicado a ésta con mayor intensidad.

Cuando se refiere a la influencia que la ingeniería ha tenido para desempeñarse en otras disciplinas, cita un poema de su autoría que dice en una de sus partes: “Suelo mezclar peras con manzanas, / es mi característica principal. / Me gusta hacer poemas que sean ecuaciones, / integrales que hablen del amor. / Me gusta hablar de poesía a los ingenieros / y hacer negocios con los poetas ...” La poesía, al igual que la ingeniería, es para él: abstracción, síntesis y acción.

Tiene tres hijos de su primer matrimonio, Ricardo, Carolina y Pablo; y Marcelo de su matrimonio actual con Ariadna. Cuando se le consulta por el legado personal que quiere dejar, recurre a otro poema, esta vez es Arena y espuma de Khalil Gibrán: “Siempre estoy vagando en esta playa / entre la arena y la espuma. / La marea borrará las huellas de mis pies / y el viento esparcirá la espuma. / Pero el mar y la playa continuarán por siempre.” Según Nanjari, todas las obras que se realizan finalmente pueden desaparecer, pero pasarán a formar parte de un universo que permanecerá por siempre. La primera vez que él alude a este poema, fue como cita al inicio de su proyecto para optar al título de ingeniero en la UTFSM. El proyecto, consistía en el desarrollo de una configuración hidráulica con fines de control, utilizando elementos electrónicos. El documento final quedó archivado en la biblioteca de la Universidad. Sin embargo, muchos años después, le obsequiaron un calendario, en el cual, en una de sus páginas, había una gran foto con el circuito diseñado por él, que una generación posterior había hecho realidad. Ahora formaba parte de un laboratorio real de la Universidad. La marea había borrado las huellas de sus pies, pero el mar y la playa, mostraban el legado.

Al preguntarle por su mirada de futuro, vincula la ingeniería con los recursos humanos, y señala algunas tendencias que serán relevantes en este ámbito, como: la automatización de procesos, que cambiará la forma de trabajar; las habilidades digitales, que se necesitarán para llevar a cabo esos trabajos; la diversidad e inclusión, que también deberá abordar la ingeniería, y el trabajo remoto, con uso de plataformas colaborativas.

Al finalizar la entrevista, envía un mensaje a las nuevas generaciones: “¡Tengan un propósito, pero sean flexibles! Aprendan continuamente y desarrollen habilidades conversacionales. Y tal vez lo más importante: sean éticos”.

Este es Ricardo Nanjari, un ingeniero y poeta, a quien le gusta mezclar peras con manzanas.



RECONOCIMIENTO A NUESTROS SOCIOS



El Instituto de Ingenieros de Chile, más de un siglo de constante presencia en el progreso de la Ingeniería chilena y en el análisis y debate de diferentes problemas públicos, en que los ingenieros chilenos colaboran desde su perspectiva en sus posibles soluciones. Esta colaboración se materializa en el seno de las Comisiones de Estudio y de las Sociedades Académicas miembros, en charlas y conferencias periódicas o en los foros y seminarios que se convocan para discutir desde distintos ángulos algún asunto de relevancia nacional. Los frutos de esta actividad se difunden por medio de sus publicaciones periódicas, como son la Revista Chilena de Ingeniería y los Anales del Instituto de Ingenieros, y en libros e informes que dan cuenta de la labor efectuada por los miembros del Instituto y otros participantes en las actividades señaladas.

Para sustentar este quehacer, el Instituto mantiene una sede social y una infraestructura que le proporciona el apoyo técnico-administrativo y de servicios, lo que es financiado por sus miembros, ya sea mediante las cuotas sociales o aportes extraordinarios. El trabajo realizado durante estos largos años ha sido posible gracias al compromiso de sus asociados y a la contribución económica de sus socios activos y cooperadores. Por este motivo, se ha estimado necesario dejar constancia de quienes, en el período anterior, realizaron aportes pecuniarios, permitiendo así que el Instituto mantenga el respaldo necesario para el cumplimiento de sus objetivos.

A nuestros socios este especial reconocimiento.

Patricio Ábalos Labbé
Patricio Aceituno Gutiérrez
Hugo Acuña Sfrasani
Luis Alarcón Cárdenas
Hernán Alcayaga Saldías
José A. Aldunate Rivera
Raquel Alfaro Fernandois
Iván Álvarez Valdés
Jorge Andaur Rodríguez
Carlos Andreani Luco
Rudolf Araneda Kauert
Jaime Arredondo Castillo
Elías Arze Cyr
Katherine Ascencio Letelier
Dante Bacigalupo Marió
Marcial Baeza Setz
Daniel Barría Iroumé
Carlos Barría Quezada
Cristián Barrientos Gutiérrez
Juan Carlos Barros Monge

Raúl Becerra Valladares
Bruno Behn Theune
Sally Bendersky Schachner
Eddy Bermúdez Vivas
Sebastián Bernstein Letelier
Sergio Bitar Chacra
Leonardo Bitrán Bitrán
Patricio Bonelli Canales
Jorge Bravo Espinosa
Fernando Bravo Fuenzalida
Simón Bruna Gutiérrez
Mateo Budinich Diez
Juan Enrique Cannobbio Salas
Carlos Canto Ilabaca
Manuel Carracedo Contador
Carlos Castro Castro
J. Manuel Casanueva Préndez
Juan E. Castro Cannobbio
Jorge Cauas Lama
José Ceroni Díaz

Aldo Cipriano Zamorano
Luciano Claude Yávar
Silvana Cominetti Cotti-Cometti
Ronald Contreras Córdova
Joaquín Cordua Sommer
Fernando Crespo Romero
Juan H. Cruz Rodríguez
Pablo Daud Miranda
Jeffrey Dawes
Cristian Dawson García
Alejandra Decinti Weiss
José de Gregorio Rebeco
Fernando de Mayo Israel
Juan P.de la Carrera Paulsen
Joaquín Díaz Quiroga
Esteban Domic Mihovilovic
Fernando Echeverría Acuña
Gustavo Estay Caballero
Javier Etcheberry Celhay
Hans Feddersen Jungjohann

Víctor Figueroa de la Fuente	Luis Madrid Morales	Francisco Rayo Calderón
Sebastián Fingerhuth Massmann	Julio Magri Rabaglio	Juan Rayo Prieto
Álvaro Fischer Abeliuk	Juan Maiz Gurruchaga	Osvaldo Richards Abans
Guillermo Flores Gálmez	Nicolás Majluf Sapag	Lucio Ricke Gebauer
Martín Fuenzalida Domínguez	Jorge Mardones Acevedo	Miguel Ropert Dokmanovic
Roberto Fuenzalida González	Carlos Medel Vera	Eduardo Rubio Álvarez
Javier García Monge	Sergio Melo San Juan	Guillermo Ruiz Troncoso
Ziomara Gerdtzen Hakim	Fernando Mendoza Pons	Felipe Sabando del Castillo
Alex Gildemeister Burgos	Carlos Mercado Herreros	Marta Salazar Becerra
Arturo Goldsack Jarpa	Manuel Merino Santis	Hernán Salazar Zencovich
Rodrigo Gómez Álvarez	Viviana Meruane Naranjo	Armando Sánchez Araya
Ricardo González Cortés	Germán Millán Pérez	Rodrigo San Martín Muñoz
Héctor González Garrido	Germán Millán Valdés	Jaime Sánchez Haverbeck
Edgardo González Lizama	Oscar Molinos Oyanedel	Gustavo Sandoval Sepúlveda
Guillermo González Rees	Ricardo Mohr Rioseco	Mario Santander García
Sergio González Venti	Marcela Munizaga Muñoz	Eduardo Santos Muñoz
Mauro Grossi Pasche	Eduardo Muñoz Castro	Rodolfo Saragoni Huerta
Tomás Guendelman Bedrack	Juan Music Tomicic	Mauricio Sarrazin Arellano
Mario Guendelman Bedrak	Ricardo Nanjarí Román	Alfredo Schmidt Montes
Hernán Guerrero Guerrero	Luis Nario Matus	Paulo Sepúlveda Amestoy
Sergio Gutiérrez Cid	Ricardo Nicolau del Roure G.	Natalia Silva Bustos
José Antonio Guzmán Matta	Christian Nicolai Orellana	Fernando Silva Calonge
Cristian Hermansen Rebolledo	Guillermo Noguera Larraín	Jaime Solari Saavedra
Diego Hernández Cabrera	José Orlandini Robert	Alejandro Steiner Tichauer
Gonzalo Hernández de la Fuente	Ricardo Ortega Klose	Jorge Sturms Forestier
Erwin Hoehmann Frerk	Verónica Patiño Sánchez	Aldo Tamburrino Tavantzis
Jaime Illanes Piedrabuena	Mario Pavón Robinson	Pedro Toledo Correa
Pedro Inojosa Bañados	Jorge Pedrals Guerrero	Alberto Trigueros Baratta
Juan Izquierdo Besa	José Peña Méndez	Raúl Uribe Sawada
Álvaro Izquierdo Wachholtz	Humberto Peña Torrealba	Mario Urrutia Yáñez
Sergio Jiménez Moraga	Andrés Pérez Magalhães	Luis Valenzuela Palomo
Jerko Juretic Díaz	Augusto Pérez Maturana	Cristián Vargas Araya
Carlos Kubik Castro	Rodrigo Pérez Tobar	Ximena Vargas Mesa
Mario Kuflik Derman	Víctor Pérez Vera	Scarlett Vásquez Paulus
Karen Landeros Vera	Kenneth W. Pickering	José Veiga Martínez
Alfonso Larraín Vial	Luis Pinilla Bañados	Solano Vega Vischi
Pedro Lasota Muñoz	Ernesto Piwonka Carrasco	Gladys Vidal Sáez
Jaime Lea-Plaza Sáenz	Alonso Pizarro Valdebenito	Ian Watt Arnaud
Agustín León Tapia	Mariano Pola Matte	Hans Weber Münnich
José Miguel Leonvendagar Hurtado	Alejandro Polanco Carrasco	Andrés Weintraub Pohorille
Mario Letelier Sotomayor	Olvido Polanco González	Francisco Wittwer Opiz
Julio Lira Ramírez	Daniela Pollak Aguiló	Jorge Yutronic Fernández
Alejandro López Alvarado	Eric Prenzel Leupolt	Luis Zaviezo Schwartzman

ISSN 0716 - 2340



**ANALES
DEL INSTITUTO
DE INGENIEROS DE CHILE**

Vol. 135, N° 1 - ABRIL 2023

“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 elaboran 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 ilustradas i de buena voluntad que nos honren con el precioso contingente de ideas útiles”.

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

Anales del Instituto de Ingenieros **Vol. 135, N° 1, abril de 2023**

Contenido

ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE CARPETAS DE RODADO GRANULAR CON ESTABILIZADOR QUÍMICO EN LA CIUDAD DE PUNTA ARENAS.

Pág. 1

Yasna Segura, Rubén Figueroa, Berta Vivar y Claudio Villarreal.

ESTUDIO DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN ANTE LA VULNERABILIDAD HÍDRICA EN SISTEMAS SANITARIOS RURALES EN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO. CASO DE ESTUDIO: REGIÓN DE LA ARAUCANÍA.

Pág. 11

Luciano Pavesi, Franco Ricchetti y Eduardo Muñoz Castro.

POTENCIAL DE LAS FRACCIONES SÓLIDA Y LÍQUIDA EN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE HÍBRIDOS DE ÁLAMOS.

Pág. 25

Alberto Vergara-Fernández, Jessica San Martín-Davison y Ximena Petit-Breuilh Sepúlveda.

Editor

Raúl Uribe Sawada, Instituto de Ingenieros de Chile.

Comité Editorial

Jorge Carvalho W., Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica (ACHISINA)

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

Hernán Alcayaga S., Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica (SOCHID)

Roberto Gesche S., Sociedad Chilena de Geotecnia (SOCHIGE)

Marisol Castro A., Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte (SOCHITRAN)

Raúl Benavente G., 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.

ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE CARPETAS DE RODADO GRANULAR CON ESTABILIZADOR QUIMICO EN LA CIUDAD DE PUNTA ARENAS

Yasna Segura¹, Rubén Figueroa², Berta Vivar³, Claudio Villarreal⁴

RESUMEN

La gran extensión de caminos no pavimentados en la ciudad de Punta Arenas, lleva a las autoridades locales a realizar reparaciones de los caminos. La necesidad de reducir la periodicidad del mantenimiento, llevó a estudiar los estabilizadores químicos, en base a biopolímeros de origen natural, que son usados en minería y están compuesto por polímeros que aglomeran el material fino del suelo. Para evaluar si el estabilizador puede ser ocupado en los suelos de la zona es necesario caracterizar el tipo de material, verificar su trabajabilidad, capacidad de soporte, estabilidad bajo el agua y comportamiento ante ciclos de hielo-deshielo. Los suelos ensayados fueron extraídos de dos puntos, M2 Ex-c/e y M3 Los Pinos; para este último se aplicó el producto estabilizador en proporciones 3,3 - 6,6 y 9,9%, obteniéndose uniformidad en los resultados y mejoramiento de las propiedades estudiadas.

¹ Doctora en Ingeniería de la Construcción, Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería en Construcción, Universidad de Magallanes, Chile. E-mail: yasna.segura@umag.cl

² Ingeniero Constructor, Universidad de Magallanes. Departamento de Ingeniería en Construcción, Universidad de Magallanes, Chile. E-mail: rufiguer@umag.cl

³ Ingeniera Civil, Universidad Austral de Chile. Departamento de Ingeniería en Construcción, Universidad de Magallanes, Chile. E-mail: berta.vivar@umag.cl

⁴ Ingeniero Constructor, Universidad Austral de Chile. Departamento de Ingeniería en Construcción, Universidad de Magallanes, Chile. E-mail: claudio.villarreal@umag.cl

1. INTRODUCCIÓN

Debido la expansión de la ciudad hacia los sectores de extensión urbana, el tránsito por caminos con una carpeta de rodado granular ha aumentado. A consecuencia de esto el deterioro y la necesidad de una mantención anticipada mayor a la estimada, supera la capacidad de la Municipalidad de Punta Arenas para llevar a cabo las reparaciones necesarias de estos caminos.

Como estos caminos no conectan polos urbanos, para la Dirección de Vialidad* no son de interés y la opción de que cambien de categoría es poco probable. Es por esto que se debe encontrar una solución a corto plazo para que el camino se mantenga en buenas condiciones durante la época de invierno, debido a que la acción de la nieve y el hielo producen una superficie resbaladiza, que posteriormente en el proceso de deshielo deteriora la carpeta de rodado por la erosión de la escorrentía superficial; además que, en la época de primavera-verano se reduzcan las emisiones de polvo debido a los fuertes vientos imperantes en la región.

Es por esto que la estabilización de suelos de carreteras tiene como objetivo principal la mejora de las propiedades mecánicas de los suelos y el mantenimiento de sus características a lo largo del tiempo. Cabe destacar que la construcción de vías públicas es la que somete a los suelos a condiciones más duras, ya que están sometidos a cargas variables que conducen a la fatiga, así como a variaciones en el contenido de humedad, que van desde la sequedad casi total hasta la saturación [1].

Por lo tanto, la caracterización de los suelos es importante, en especial en la ciudad de Punta Arenas, cuyos materiales constituyentes son sedimentos marinos y fluvio-glaciales; compuestos principalmente por arcillas, gravas y arenas de variada granulometría; parcialmente mezclados con cenizas volcánicas [2].

La principal característica de los suelos que contienen niveles significativos de limo o arcilla tienen es que propiedades geotécnicas cambiantes: se hinchan y se vuelven plásticos en presencia de agua, se encogen cuando están secos y se expanden cuando se exponen a las heladas. El tránsito de obras es siempre una cuestión delicada y difícil cuando se realizan proyectos en este tipo de suelos [3]. Por lo tanto, la

opción más utilizada como estabilizador a la carpeta de rodado es agregar material arcilloso y en menor proporción la estabilización con Cloruro de Sodio - que en época de lluvias y deshielo genera una superficie barrosa y blanda-, que dificulta el acceso de los usuarios; es por esto que se toma en cuenta la opción de probar un compuesto en base a biopolímeros que funciona como aglomerante, es decir, el estabilizador une las partículas individuales de los áridos, para aumentar la resistencia y/o hacer que el material sea más resistente al agua [4].

El objetivo de este estudio ha sido determinar los efectos del contenido de estabilizador químico y evaluar su efectividad mediante análisis de laboratorio a suelos granulares de diversas calcificaciones presentes en la zona, con un suelo patrón y otros con estabilizador en proporciones de 3,3 - 6,6 y 9,9%, y determinar su comportamiento ante los ciclos de hielo - deshielo.

2. MATERIALES

2.1. SUELOS

En la Figura 1 se observa la ubicación geográfica de las dos muestras de suelo correspondientes a la carpeta de rodado de tipo granular. En el punto N° 1 Explanada, corresponde a la muestra de suelo con estabilizado, ubicada a 8,5 km en la ruta 9 Norte y en N° 2 Los Pinos, a 6 km de la Plaza de Armas, sector Pampa Redonda. La muestra de suelo se encuentra sin estabilizado y fue tratada en el laboratorio.

2.2. ESTABILIZADOR QUÍMICO.

Se utilizó un producto químico a base a polímeros de origen natural, específicamente ácido metanóico con una densidad de $1,17 \pm 0,02$ kg/L. Para estabilización de suelos, se recomienda aplicar 1,0 a 2,0 L/m² para la primera aplicación. Su principal característica es la de funcionar como aglomerante del material granular, además es supresor de polvo y estabilizador de suelo. Los caminos tratados con el producto pueden ser usados inmediatamente después su aplicación, permitiendo una mínima alteración del tráfico. Para esta investigación se usó diferentes proporciones de estabilizador 3,3 - 6,6 y 9,9%.

* Entidad pública cuya visión es Entregar al país una infraestructura vial segura con enfoque social, a través de la mejora continua de estándares

de calidad y sostenibilidad, proveyendo una red vial integrada y resiliente.

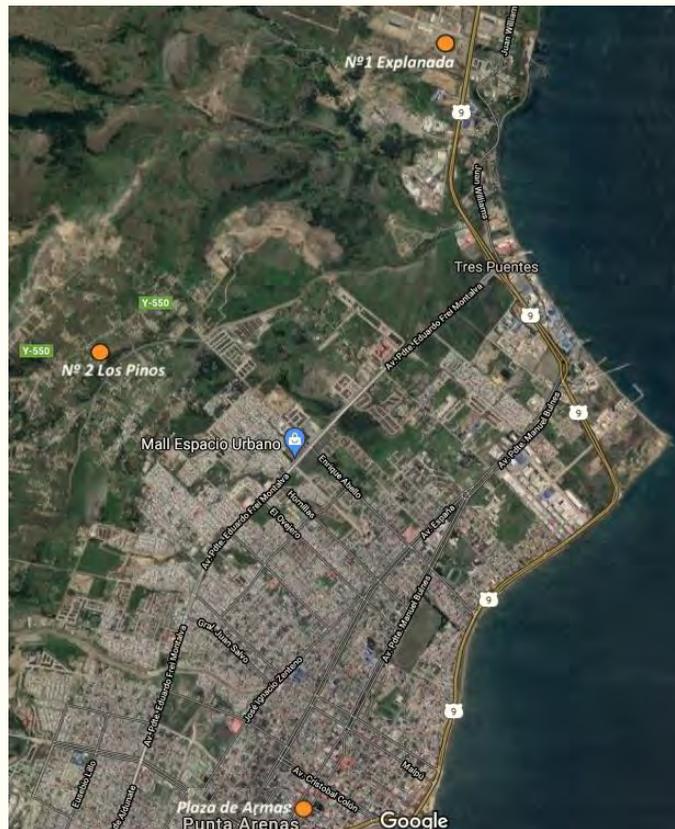


Figura 1 - Ubicación extracción de M1Ex s/e y M3 Los Pinos.

3. METODOLOGÍA

En Chile, para evaluar el efecto de un estabilizador en un suelo, se deben realizar ensayos de laboratorio, analizando el desempeño del producto según diversos parámetros establecidos por la norma NCh 2505:2001 - Estabilización química de suelos -Caracterización producto y evaluación de propiedades de desempeño del suelo [5]. En la Figura 2 se observan los parámetros a estudiar los cuales son: Características del suelo, trabajabilidad, capacidad de soporte, estabilidad bajo el agua y comportamiento ante ciclos hielo-deshielo.

Se determina el tamaño de las partículas mediante la granulometría de las partículas mayores que 0.08 mm según el método 8.102.1 del Manual de Carreteras (MC)[6].

Los límites de consistencia se determinan según NCh1517/3:1979. El límite líquido corresponde la humedad necesaria para que la muestra de suelo remoldeada, depositada en la taza de bronce de la máquina de Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2 mm entre sí, fluyan y entren en contacto en una longitud de 10 mm, aplicando 25

golpes [7]. El límite plástico es la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y semisólido. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 3 mm de diámetro se disgreguen en trozos de 0,5 a 1 cm de largo y no puedan ser reamados ni reconstituidos [8].

La clasificación de los suelos corresponde al método Unified Soil Classification System (USCS), que utiliza como prefijo la inicial en inglés de los tipos de suelo y como sufijo sus características, según los resultados de la granulometría y los límites de consistencia.

La trabajabilidad se entenderá como la relación entre la masa de material compactado y el volumen que ocupa en un molde normalizado, en función de la cantidad de agua que contiene el suelo (humedad), para determinarla se realiza el ensayo proctor modificado método D, que consiste en compactar la muestra en un molde normalizado aplicando la

energía de 56 golpes con un pisón de 4,5 kg a una altura de 460 mm[9].

La capacidad de soporte se determina mediante el ensayo denominado Razón de Soporte de California (CBR), que establece el procedimiento para determinar un índice de resistencia en los suelos compactados en laboratorio, con la densidad humedad óptima y niveles de energía variable, según el método 8.102.11 (M.C). También este ensayo sirve para evaluar la estabilidad bajo el agua del suelo. El ensayo consiste en compactar el suelo en un molde normalizado en 5 capas de 10, 25 y 56 golpes cada capa, con la humedad óptima obtenida del ensayo proctor, para luego sumergir en agua por 96 horas y

posteriormente con el equipo adecuado penetrar la probeta midiendo la deformación y la tensión aplicada en un determinado tiempo[6].

Para evaluar el comportamiento de la mezcla entre el estabilizador y el suelo, ante cambios de humedad y los cambios en el volumen que se producen por efecto de la congelación y descongelación repetida de las muestras, se debe seguir los procedimientos indicados en la normativa ASTM D 560. Este indica que se deben confeccionar probetas en un molde normalizado compactando, el material en 3 capas de 25 golpes cada una con un pisón de 2,5 kg a una altura de 305 mm [10].



Fuente: Elaboración propia

Figura 2 - Ensayos realizados a) Granulometría, b) Límite Líquido, c) Límite Plástico, d) Proctor modificado, e) Razón de soporte y f) Ciclo hielo-deshielo.

4. ANÁLISIS DE RESULTADO

4.1. CARACTERIZACION SUELO

En la Tabla 1 se muestra los resultados de los ensayos de límites de Atterberg se tiene para la muestra "Explanada s/estabilizador" (M1 Ex-s/e) es un suelo de tipo arena bien graduada con grava, es un suelo de partículas gruesas y limpio, para la muestra "Explanada c/estabilizador" (M2 Ex-c/e), se identifica un suelo compuesto por arena bien graduada con limo y grava. Para la muestra "Los

Pinos" (M3 Los Pinos) se identifica un suelo de una grava limosa con arena, corresponde a partículas gruesa con finos (suelo sucio).

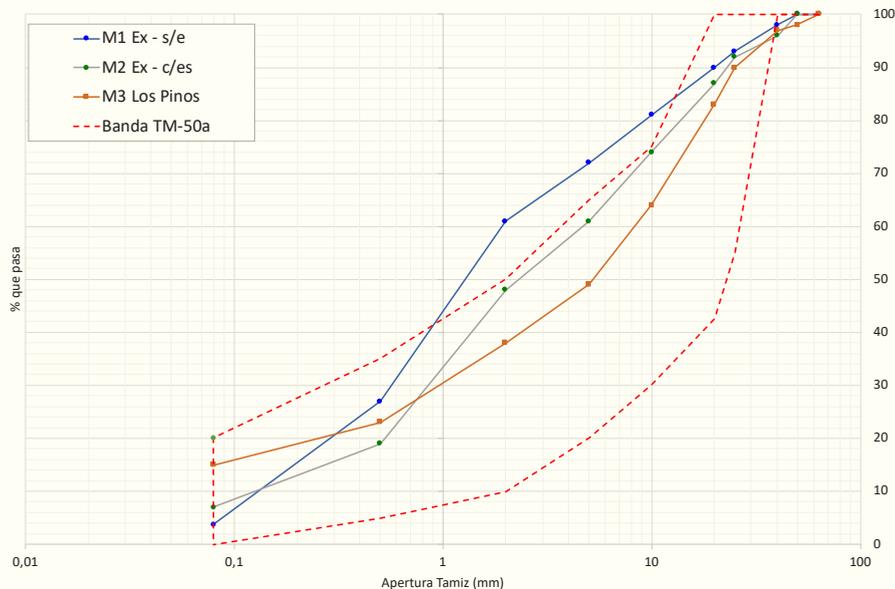
Tabla 1 - Clasificación de suelos

Muestra	Clasificación	
	USCS	AAHSTO
M1 Ex-s/e	SW	A-1-b
M2 Ex-c/e	SW - SM	A-1-a
M3 Los Pinos	GM	A-1-a

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la clasificación AASHTO, la muestra es aceptable para su uso en el ámbito de las obras viales, para este caso las muestras que se clasifican A-1-b y A-1-a corresponden a materiales con características excelentes, alta permeabilidad, baja elasticidad, cambio de volumen y capilaridad, usualmente ocupados como base, subbase y terraplén.

En la Figura 3 se observan los límites de la banda granulométrica TM-50a, extraída del Manual de Carretera (MC) vol. 8, utilizada para sub-base, bases y carpetas de rodadura. Para este estudio la muestra M2 Ex-c/e y M3 Los Pinos quedan insertas dentro de la banda granulométrica.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3 - Curvas granulométricas muestras M1 Ex-s/e, M2 Ex-c/e, M3 Los Pinos y banda granulométrica TM-50a.

4.2. PROCTOR MODIFICADO MÉTODO D

El suelo de la M2 Ex-c/e presenta una densidad menor que en suelo sin estabilizador, y la humedad óptima es mayor. En tanto, el suelo M3 Los Pinos y con

estabilizados 3,3% - 6,6% y 9,9% no presenta variaciones en la densidad máxima compactada seca ni en la humedad óptima.

Tabla 2 - Ensayo proctor modificado método D

Muestra	Densidad Máxima Compactada Seca (kg/m ³)	Humedad Óptima (%)
M1 Ex-s/e	2.170	7,80
M2 Ex-c/e	2.010	8,00
M3 Los Pinos s/e	2.300	6,50
M3 Los Pinos (3,3%)	2.290	6,50
M3 Los Pinos (6,6%)	2.300	6,50
M3 Los Pinos (9,9%)	2.300	6,50

Fuente: Elaboración propia

4.3. CAPACIDAD DE SOPORTE

La razón de soporte para la M1 Ex-s/e presenta un caso similar al del ensayo proctor, llegando a un valor de 69,2% y un 66,4% en la muestra M2 Ex-c/e. En el caso de la muestra M3 Los Pinos s/e se observa que

la probeta sin estabilizador alcanza un valor de 64,9% y en función del aumento en la cantidad de aditivo estabilizador, mayor es su CBR, variando de un 69,8% a un 76,8%.

Tabla 3 - Razón de soporte de California (CBR)

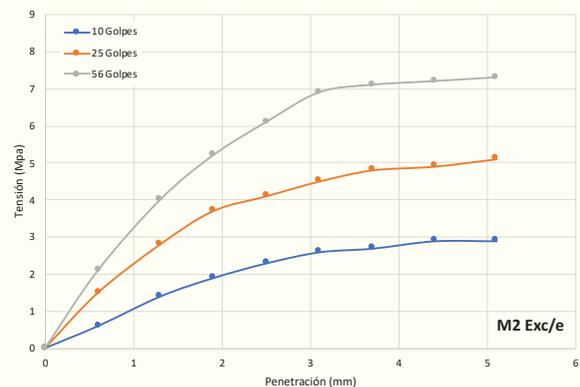
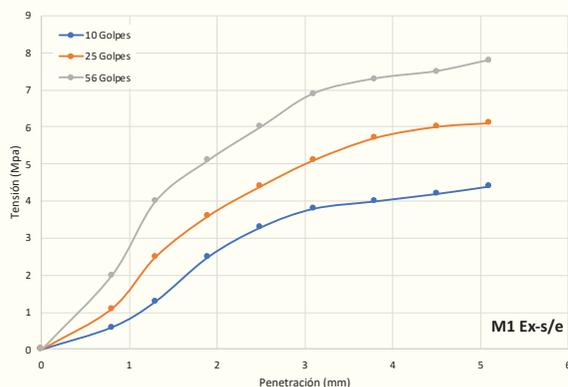
Muestra	% CBR
M1 Ex-s/e	69,2
M2 Ex-c/e	66,4
M3 Los Pinos s/e	64,9
M3 Los Pinos (3,3%)	69,8
M3 Los Pinos (6,6%)	76,0
M3 Los Pinos (9,9%)	76,8

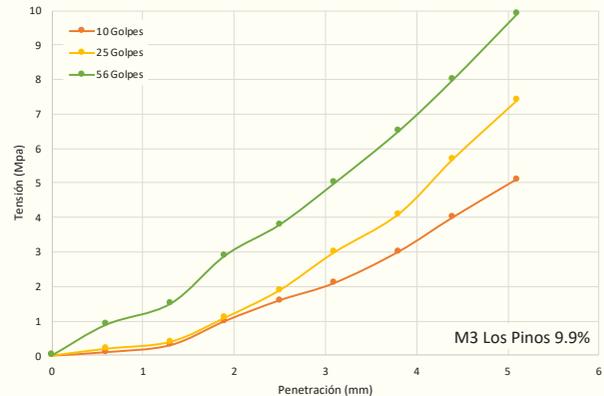
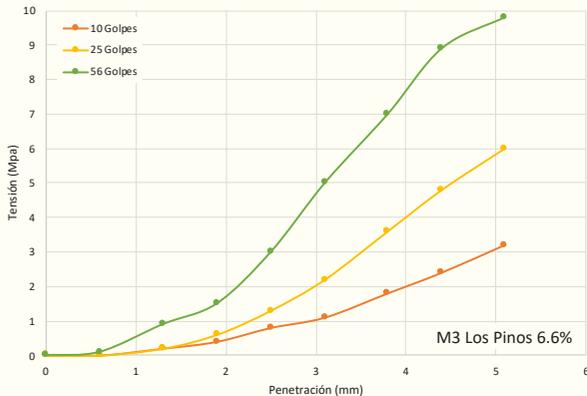
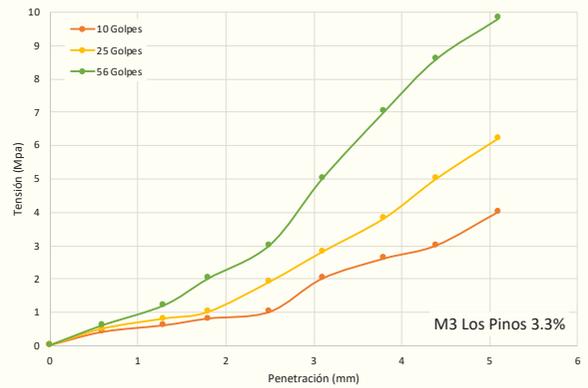
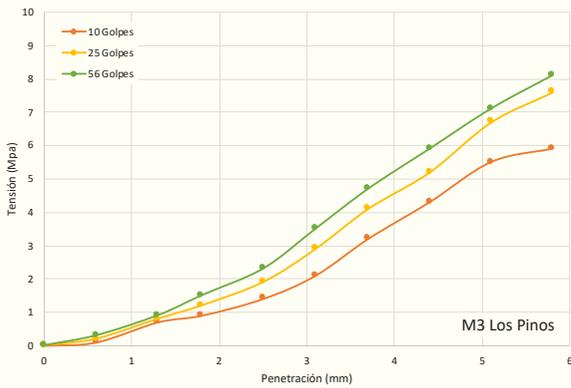
Fuente: Elaboración propia

4.4. CURVA TENSIÓN - PENETRACIÓN

La relación tensión - penetración es un parámetro utilizado para el diseño vial. Las curvas de tensión-penetración fueron trazadas y corregidas de acuerdo al método MC 8.102.11 para los distintos suelos M1 Ex-s/e, M2 Ex-s/e, M3 Los Pinos, M3 Los Pinos

3,3%, M3 Los Pinos 6,6% y M3 Los Pinos 9,9% y en la Figura 4 se observan los distintos tipos de suelos analizados y en las condiciones con un número de golpe 56, 25 y 10.





Fuente: Propia

Figura 4 - Curvas de tensión-penetración para los diferentes suelos M1 Ex-s/e, M2 Ex-s/e, M3 Los Pinos, M3 Los Pinos 3.3%, M3 Los Pinos 6.6% y M3 Los Pinos 9.9%.

A partir de la curva carga-penetración de la Figura 4, se observa que entre la M1 Ex-s/e y M2 Ex-c/e que la resistencia a la penetración muy similar. En cambio, en la muestra de suelo M3 Los Pinos y los suelos con estabilizador, se destaca el comportamiento con aumento de la resistencia a la penetración, es la M3 Los Pinos 6,6%.

4.5. COMPORTAMIENTO ANTE CICLOS DE HIELO-DESHIELO

De acuerdo a la norma ASTM D560-03, el material seco se corta a masa constante en las mallas 3/4", 3/8" y N°4, y se distribuyen según los porcentajes obtenidos de la granulometría para conformar una

muestra de 3 kg. Se incorpora agua y estabilizador en diferentes porcentajes acercándose a la humedad óptima. Se deja curar según la plasticidad del suelo. En moldes de 100 mm de diámetro se compactan las muestras en 3 capas de 25 golpes cada una, con la energía de un pisón de 2,5 kg a una altura de caída de 305 mm. Estas probetas se sumergen en agua por un total de 7 d, pasado este tiempo se extraen del agua y se dejan escurrir por 60 minutos, para determinar su masa. Luego se colocan en un congelador a una temperatura de -19°C por 24 h, determinando nuevamente su masa, e inmediatamente se sumergen en agua por 24 h, completándose un ciclo, el ensayo tiene duración de 12 ciclos.

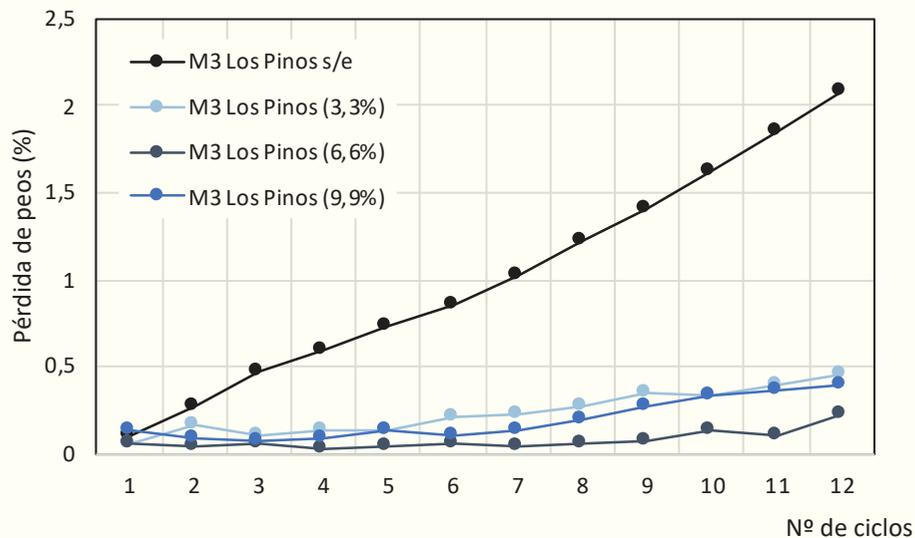


Fuente: Propia

Figura 5 - Ensayo comportamiento ante ciclos de hielo-deshielo; a) Probeta compactada y enrasada, b) Moldes sumergidos, c) Probetas sometidas a temperatura de -19°C , d) Determinación de masa y volumen de probeta.

En Figura 6 se aprecia como la probeta M3 Los Pinos sin estabilizar presenta una pérdida de peso lineal de 2,1% a término del ciclo 12 y en el caso de las probetas tratadas con estabilizador la pérdida se

reduce drásticamente y alcanzan como máximo un 0,5% en el caso de la probeta tratada con un 3,3% de estabilizador.



Fuente: Propia

Figura 6 - Curvas de pérdida de material en ensayo de ciclo deshielo, muestra M3 Los Pinos sin con estabilizador 3,3%, 6,6% y 9,9%.

5. CONCLUSIONES

Este artículo presentó la comparación entre dos tipos de suelos diferentes, estabilizados en terreno y en laboratorio, sometidos a los mismos ensayos para finalmente lograr evaluar el efecto del estabilizador químico. Basado en los resultados experimentales se puede concluir lo siguiente:

- Los resultados obtenidos para la muestra M1 Ex-s/e indica una diferencia desde la granulometría hasta su comportamiento ante los ciclos de hielo-deshielo, se puede afirmar que la presencia de una mayor cantidad de limos en las muestras tomadas donde fue aplicado el estabilizador genera esta variabilidad de resultados respecto a las muestras tomadas en la zona que no fue tratada.
- La muestra M3 Los Pinos, en la que todos los especímenes ensayados fueron confeccionados en laboratorio, bajo condiciones óptimas de homogeneización y curado da como resultado una mantención de las densidades y la humedad óptima independiente de la cantidad de estabilizador ocupado. La capacidad de soporte se ve incrementada de forma lineal hasta un porcentaje de estabilizador de 6,6%, luego en un porcentaje de 9,9% la curva de aumento de CBR tiende a estabilizarse. Para el ensayo de comportamiento ante ciclos de hielo-deshielo la curva tiende a disminuir la pérdida de material según el porcentaje de estabilizador ocupado, un 3,3% pierde un 0,5% y cuando aumenta el estabilizador a 9,9%, se pierde un 0,4% de peso.
- A modo general se puede observar en los resultados en los suelos con estabilizador químico mejora las propiedades estudiadas. Para el caso de la aplicación en terreno las variaciones se deben a la diferencia del tipo de suelo, lo que genera una variación de las propiedades. Para el caso específico de las muestras confeccionadas en laboratorio, el mejor resultado en la totalidad de ensayos fue con 3,3% de aditivo, que corresponde a una dosificación de 2 l/m² de carpeta de rodado de 15 cm de espesor.

REFERENCIAS

- [1] M. Cruz y S. Jalali, «Improvement of the performance of soil-cement mixtures using low cost activators», *IJP-Int. J. Pavements*, 2011.
- [2] E. Troncoso, «Análisis de los aspectos técnicos y costos generales del mejoramiento de suelos, denominado columnas de grava, ejecutado en condominio Edificios Manuel Bulnes I, en la comuna de Punta Arenas.», Trabajo de Título, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, 2021.
- [3] A. S. Negi, M. Faizan, D. P. Siddharth, y R. Singh, «Soil stabilization using lime», *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, n.º 2, pp. 448-453, 2013.
- [4] P. McKendry, «Use of Road Stabilizers in Sensitive Environments», *Int. J. Manag. Humanit.*, vol. 4, n.º 10, pp. 168-189, jun. 2020.
- [5] Instituto Nacional de Normalización (INN), «NCh2505:2001 - Estabilización química de suelos - Caracterización del producto y evaluación de propiedades de desempeño del suelo». INN, 2001.
- [6] Dirección de Vialidad, *Manual de Carreteras. Volumen N° 8. Especificaciones y métodos de muestreo, ensaye y control*, vol. 8. 2019.
- [7] Instituto Nacional de Normalización (INN), «NCh1517/1:1979 - Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 1: Determinación del límite líquido.» INN, 1979.
- [8] Instituto Nacional de Normalización (INN), «NCh1517/2:1979 - Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 2: Determinación del límite plástico.» INN, 1979.
- [9] Instituto Nacional de Normalización (INN), «NCh1534/2:2008 - Mecánica de suelos - Relaciones humedad/densidad - Parte 2: Métodos de compactación con pisón de 4,5 kg y 457 mm de caída». INN, 2008.
- [10] ASTM International, «ASTM C560 - Standard Test Methods for Freezing and Thawing Compacted Soil-Cement Mixtures». 2016.

ESTUDIO DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN ANTE LA VULNERABILIDAD HÍDRICA EN SISTEMAS SANITARIOS RURALES EN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO. CASO DE ESTUDIO: REGIÓN DE LA ARAUCANÍA.

Luciano Pavesi¹, Franco Ricchetti², Eduardo Muñoz-Castro³

Resumen

El abastecimiento de agua potable en zonas rurales se realiza a partir de Sistemas Sanitarios Rurales, que se componen de un conjunto de obras de captación, conducción y desinfección del recurso hídrico, para asegurar el saneamiento de las comunidades beneficiadas. Este estudio analiza la vulnerabilidad de dichos sistemas frente al cambio climático, en 5 comunidades ubicadas en la Región de la Araucanía. Para cuantificar dicha vulnerabilidad, se utilizan las proyecciones de cambio climático del proyecto. Actualización del Balance Hídrico Nacional, que son ajustadas estadísticamente para replicar los regímenes hidrológicos observados en las cuencas estudiadas. Las proyecciones al periodo 2030-2060 sugieren una disminución promedio de 19% en los caudales medios anuales respecto al periodo histórico de referencia 1985-2015. A partir de la demanda hídrica por cuenca y el balance oferta-demanda, se prevé un déficit hídrico futuro de los Sistemas APR en varios meses para 3 de las 5 localidades. En dichos casos de déficit se proponen y evalúan diferentes medidas de adaptación, asociadas al desarrollo de infraestructura, las que, si bien requieren de una inversión inicial significativa, representan una mejor alternativa en comparación con suplir los déficits por camiones de aljibe, que presentan un Valor Actual Neto y Costo Anual Equivalente promedio del orden de +615% respecto al caso de desarrollar obras.

¹Ingeniero Civil, Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Av. Blanco Encalada 2002, Santiago, Chile. Email: luciano.pavesi@ug.uchile.cl

²Ingeniero Civil, M. Sc., Universidad de Chile. Geolambda Ingeniería Ltda., Av. Los Leones 220, Oficina 603, Santiago, Chile.

³Ingeniero Civil, M. Sc., Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Av. Blanco Encalada 2002, Santiago, Chile.

Introducción

Los Sistemas Sanitarios Rurales (SSR) corresponden a un conjunto de infraestructura, sanitaria e hidráulica, cuyo objetivo principal es abastecer de agua potable a comunidades ubicadas en zonas rurales del país y, con ello, satisfacer las necesidades de consumo humano, mejorando así las condiciones sanitarias de sus habitantes. Estos SSR's son administrados, operados y mantenidos por las comunidades que se ven beneficiadas por el sistema, las cuales se organizan en un Comité de Agua Potable Rural (APR), que corresponde a una cooperativa sin fines de lucro, que vela por su funcionamiento óptimo.

Dentro de este contexto, se vuelve interesante estudiar los SSR's en torno a la disponibilidad de recursos hídricos futuros, mermada considerablemente por las proyecciones de Cambio Climático y las sequías hidrológicas proyectadas en los siguientes años (ARClím 2021). Lo anterior toma una importancia mayor considerando que los SSR's abastecen de agua potable a un 11,4 % de la población nacional (INE, ine.cl, 2021), por lo que asegurar la disponibilidad hídrica en un contexto de clima cambiante, además de ser un derecho fundamental permite dar equidad. En ese sentido, las estrategias de diseño y operación y las necesidades de estos sistemas son completamente diferentes a aquellas de los sistemas de agua potable de los sectores urbanos, abarcando cantidades de población menores como también una menor densidad poblacional.

En los últimos años se ha promovido series de inversiones “de sequía” o de “emergencia” que han sido necesarias para suplir un déficit en el balance hídrico. En algunos casos, como una alternativa para abordar la contingencia y resolver temporalmente el problema de abastecimiento de agua de manera ágil, las municipalidades han recurrido a realizar “abastos”, los cuales guardan relación con la operación de flotas de camiones aljibe. Sin embargo, dicha solución guarda relación con elevados costos de transporte dependiendo del sector. En particular, según Garreaud y Boisier (2017), la Región de la Araucanía es una de los sectores

a nivel país con el mayor gasto asociado a suplir el déficit hídrico mediante camiones aljibe.

Esta investigación se desarrolla en un contexto de cambio climático a partir de la base de datos generada en el proyecto Actualización del Balance Hídrico (DGA 2017). De acuerdo con lo anterior, se recomiendan 4 modelos de cambio climático (GCM) pertenecientes al CMIP5 (Taylor et al., 2012), asociados al escenario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) más severo, es decir, RCP 8.5. (IPCC 2014). Asimismo, a partir de un escalamiento espacial estadístico de los GCM seleccionados en el proyecto y la corrección de sesgo de estos, dichos modelos fueron utilizados como forzantes climáticas del modelo Variable Capacity Infiltration (VIC, Liang 2018) para obtener series hidrometeorológica proyectadas hacia el año 2060. Así, la base de datos desarrollada en el contexto del BHN entrega proyecciones futuras asociadas a diferentes variables hidrometeorológicas como, por ejemplo, precipitación, caudal, evapotranspiración, humedad de suelo, entre otros, espacialmente distribuidas en Chile continental a una resolución de 0,05° latitud-longitud y a escala temporal mensual.

Lo anterior ha servido para caracterizar los caudales futuros asociados a captaciones superficiales de 5 SSR's ubicados en la Región de la Araucanía, permitiendo cuantificar el cambio en la oferta natural de recursos hídrico (i.e., sin considerar usos antrópicos). Considerando el crecimiento poblacional propio de los SSR's, se realiza un nuevo balance oferta-demanda para determinar si en el futuro los sistemas presentarán o no un déficit hídrico. Así, para aquellos casos en que se presente déficit, se calcularán indicadores económicos asociados tanto a CAPEX como OPEX para determinar la solución óptima que permita suplir el déficit hídrico proyectado. En particular, a fin de determinar el valor agregado de adoptar alguna medida de desarrollo de infraestructura para suplir el déficit hídrico en los sistemas en contexto de cambio climático, la opción base (i.e., referencia) corresponderá al abastecimiento mediante camiones aljibe.

Dominio de Estudio y SSR's Seleccionados

El dominio de estudio corresponde a la Región de la Araucanía, la cual se ubica entre las latitudes 39,7° S y 40,6 ° S en la Zona Sur del país y se caracteriza por tener un clima templado oceánico lluvioso (BCN B. N., 2021). Las precipitaciones varían entre 1.500 [mm] y 2.500 [mm] anuales y se tiene una temperatura mínima promedio de 2 °C y máxima de 23 °C (BCN, 2021). La región contiene grandes ríos que la recorren de cordillera a mar, formándose un total de 4 hoyas hidrográficas las cuales corresponden a los Ríos Imperial, Budi, Toltén y Queule (Niemeyer, 1980).

Los SSR's seleccionados para efectos del estudio corresponden a sistemas cuya principal fuente de agua

cruda proviene de pequeños cauces superficiales. La selección de dichos sistemas obedece a la idea evaluar sistemas de cordillera, valle central y sector de la cordillera de la costa. En consecuencia, como se muestra en la Figura N°1, los SSR's seleccionados se listan a continuación:

- APR de Curarrehue, comuna de Curarrehue.
- APR de Santa María de Llaima, comuna de Melipeuco.
- APR de Putabla, comuna de Villarrica.
- APR de Oñoico, comuna de Carahue.
- APR El Coihue, comuna de Carahue.

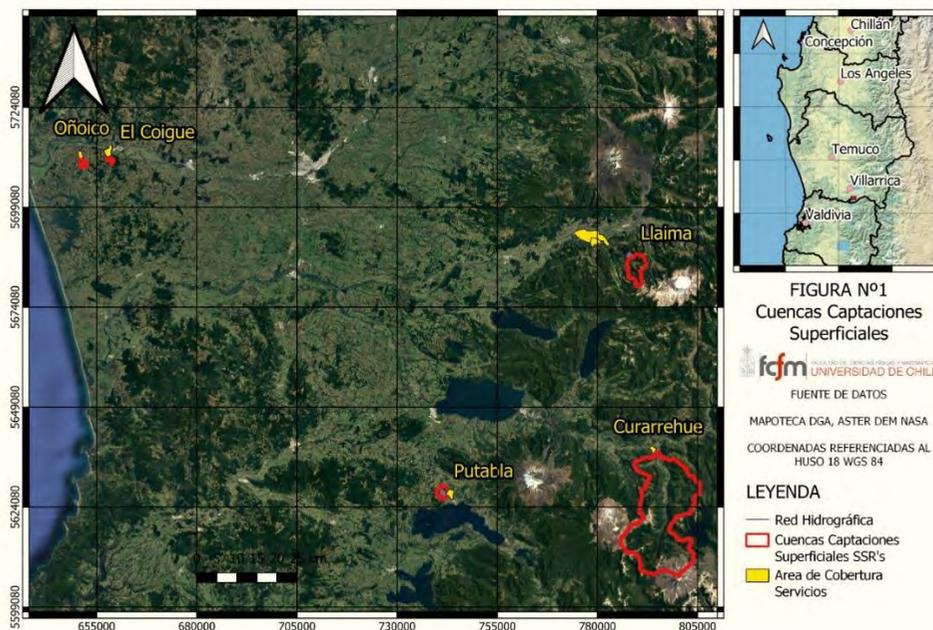


Figura N°1: Ubicación de los SSR's seleccionados dentro del contexto regional.

Por otro lado, la Figura N°2 muestra la carta hidrogeológica a la escala regional, desarrollada por ARCADIS (2016). En dicha carta, se observa una muy baja a nula importancia hidrogeológica en las zonas costera y de cordillera de Los Andes, con formaciones

de rocas volcánicas y metamórficas, mientras que en la zona central se presenta una importancia hidrogeológica alta a media, con una productividad alta a media en los pozos.

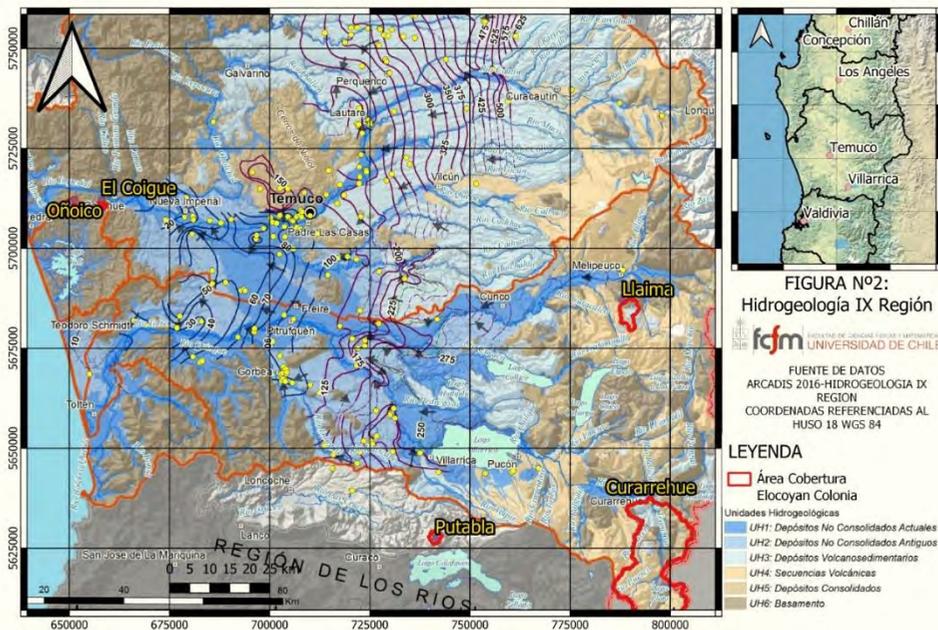


Figura N°2: Carta hidrogeológica de la Región de la Araucanía
Fuente: Adaptado de Arcadis (2016).

Metodología y bases de datos utilizadas

Para cada uno de los sistemas seleccionados anteriormente, se limita la cuenca de estudio asociada al punto de captación superficial que abastece a los SSR's, la cual representa la fuente de agua cruda de cada uno de los sistemas. Para ello, se utilizan los modelos de elevación digital ASTER-DEM, de resolución 1 arcsec, los cuales son geoprocesados a través del programa de libre acceso GRASS.

Considerando el objetivo principal del presente estudio, resulta necesario definir tanto una oferta natural de recursos hídricos como también una demanda de consumo, donde se integre explícitamente el agua requerida para alimentar los sistemas de agua potable rural (APR). Con respecto a la *oferta hídrica natural*, a fin de comparar la modelación de regionalización de la Actualización del Balance Hídrico Nacional, se seleccionan 4 cuencas controladas, similares en términos hidrológicos, las cuales se utilizan como representativas de los sistemas SSR's seleccionados anteriormente. Los caudales observados, como también la delimitación de las cuencas controladas y sus

parámetros geomorfológicos, se extraen del explorador de cuencas CAMELS-CL (<https://camels.cr2.cl/>).

A partir de la delimitación de cuencas, se promedian espacialmente los datos para recuperar una única serie representativa del periodo histórico considerado en el BHN (i.e., 1985-2015 a partir de simulaciones VIC realizadas con CR2MET v1.4.3) y las series de caudales asociadas a los GCMs en escenario RCP 8.5 (periodo histórico y proyección futura). Cabe mencionar que los modelos GCM considerados corresponden a: (i) CSIRO (ii) MIROC (iii) IPSL y (iv) CSSM4. Con respecto a los 4 modelos de cambio climático enunciados anteriormente, se extraen dos periodos de tiempo: la línea base (1979-2015) y la del periodo futuro (2016-2060). Finalmente, se tiene una octava serie de tiempo, la cual corresponde a los caudales estimados en base a una trasposición de caudales con las cuencas controladas, representativas de cada una de las zonas de estudio. Naturalmente, al ser una serie observada, y para evitar el sesgo por tamaño de muestra, dicha serie se considera desde 1979 hasta 2015 (i.e., periodo histórico base).

Siguiendo los lineamientos del Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de los Recursos Hídricos (DGA 2008), la oferta hídrica natural viene dada por las Curvas de Variación Estacional (CVE), que grafican la disponibilidad de caudales en los distintos meses del año. Para obtener estos resultados, se realiza un análisis de frecuencia de las series de caudales mensuales extraídas. Para efectos de este desarrollo, siguiendo los lineamientos de la NCh 777/1, sólo se considera la probabilidad de excedencia de un 90% para las proyecciones y estimaciones de caudales. Cabe destacar que, a partir de los indicadores de bondad de ajuste estimados en el análisis de frecuencia, se realiza la elección del mismo modelo de probabilidad tanto para las series presentes y futura a modo de evitar agregar fuentes de incertidumbre adicionales a los resultados atribuidos al cambio en las funciones densidad de probabilidad adoptadas.

Para asegurar la coherencia entre los modelos GCM, el modelo regionalización y la serie de datos observada en la estación fluviométrica en las cuencas controladas, se propone la estimación de coeficientes de ajuste para el periodo histórico, con el objetivo de forzar la coherencia. Lo anterior, a modo de disminuir el sesgo asociado a las proyecciones de caudales y, asimismo, preservar en cierto grado una señal hidrológica coherente en el periodo histórico que permita corregir sesgos sistemáticos en las proyecciones de cambio hidrológico. Así, para el ajuste de las series se utilizan 3 factores:

- El Factor N°1 (f_1) corresponde al cociente del caudal medio anual modelado en la corrida de regionalización (BHN) y el caudal medio anual observado en la estación fluviométrica. En otras palabras, ajusta el caudal del balance hídrico modelado con VIC al caudal observado en el periodo histórico.
- El Factor N°2 (f_2) está definido como el coeficiente de Pardé de la serie de caudales observados en las cuencas controladas. Este coeficiente es calculado para todos los meses del año hidrológico y se transfiere a las cuencas no controladas correspondientes.
- El Factor N°3 (f_3) corresponde al cociente entre los caudales modelados del periodo proyectado y el periodo histórico y representa, en términos generales, la proyección futura de cambio hidrológico. Este factor es calculado mensualmente y varía según los diferentes modelos GCM evaluados. Cabe destacar que dicho factor corresponde a la estimación mediante método delta del cambio en la hidrología observada bajo escenario de cambio climático.

En términos prácticos, se debe notar que la aplicación de este ajuste supone un comportamiento estacional similar en el periodo histórico y proyectado en torno a las diferencias entre los caudales modelados y observados, pudiendo extrapolarse los factores estacionales del periodo histórico para corregir los caudales futuros puesto que se preserva la señal de cambio futuro.

En consecuencia, la fórmula de ajuste utilizada para los modelos GCM para un mes i se define según la siguiente expresión:

$$GCM_{i\text{corregido}} = \overline{BH}_{APR} \cdot f_{2\text{Anual heredado}} \cdot Pardé_i \cdot f_3$$

$$Pardé_i = \frac{Caudal_{Obs_{i\text{heredado}}}}{Caudal_{Obs_{i\text{heredados}}}}$$

$$f_3 = \begin{cases} 1; & \text{si es período línea base} \\ \frac{GCM_{i\text{futuro}}}{GCM_{i\text{histórico}}}; & \sim \end{cases}$$

Donde:

- \overline{BH}_{APR} : Caudal promedio anual del balance hídrico en el APR [m^3/s].
- $Caudal_{Obs_{i\text{heredado}}}$: Caudal observado en la cuenca controlada similar para el mes i [m^3/s].
- $GCM_{i\text{futuro}}$: Caudal modelado con el GCM respectivo en el periodo proyectado [m^3/s].
- $GCM_{i\text{histórico}}$: Caudal modelado con el GCM respectivo en el periodo línea base [m^3/s].

Con respecto a la **demanda hídrica**, se utiliza el Catastro Público de Aguas (CPA), donde se incluyen todos los Derechos de Aprovechamiento de Agua (DD.AA.) otorgados en las zonas de estudio. Así, se extraen aquellos DAA asociados a las cuencas estudiadas considerando tanto los derechos consuntivos como no consuntivos, y aquellos permanentes y eventuales que son continuos en el año o bien discontinuos en los diferentes meses. Esto permite determinar una demanda total a nivel mensual.

En esta evaluación, se adopta como supuesto que todos los DD.AA. tipo No Consuntivo captan y restituyen las aguas antes del punto de captación de agua cruda de los SSR's, por lo que no constituyen una demanda real de agua en las cuencas de estudio. También se define el caudal ecológico (Q_{eco}) de los ríos presentes en las cuencas estudiadas, para así considerarlo dentro de la demanda total. Según el Decreto N°14 de 2013, el caudal ecológico se calcula como:

$$Q_{eco_i} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.2 \cdot Q_{Obs} \text{ calculado}_i \\ 0.2 \cdot Q_{medio\ anual} \end{array} \right.$$

Donde:

- Q_{eco_i} : Caudal ecológico para el mes i [m^3/s].
- $Q_{Obs} \text{ calculado}$: Caudal calculado con la corrección planteada con 50% de probabilidad de excedencia [m^3/s].

Para estimar el consumo de agua potable considera el Caudal Máximo Diario, se considera una dotación de 120 lt/hab/día y un Factor de Máximo Consumo Diario (F.M.C.D.) de 1,5. A su vez, acorde a lo expuesto en el Manual de Proyectos de Agua Potable Rural, se considera una tasa de crecimiento del 4% anual.

A partir de la oferta hídrica natural y la demanda asociada a las cuencas estudiadas, se realiza el balance oferta-demanda a nivel mensual para cada una de ellas. Dicho balance se estima en base a la información histórica y la información futura proyectada, para así ver las diferencias entre ambas situaciones. De este modo, el balance oferta-demanda hídrica queda determinado por la expresión:

$$B_h = \text{Oferta} - \text{Demanda} = Q_{proy90\%} - Q_{eco} - \text{Demanda}_{\text{Agua Potable}} - DDAA^*$$

Donde:

- $Q_{proy90\%}$: Caudal disponible con un 90% de probabilidad de excedencia [m^3/s].
- Q_{eco} : Caudal ecológico [m^3/s].
- $DDAA$: Derechos de aprovechamiento de aguas de la cuenca estudiada [m^3/s].

*: No se consideran los derechos de aprovechamiento de aguas correspondientes al sistema APR en estudio para no considerarlo nuevamente en la demanda de agua potable.

Con el resultado de los balances hídricos se puede cuantificar el déficit futuro en la disponibilidad de agua, el cual se estima de manera mensual debido a la necesidad que se presenta en ciertos meses del año, principalmente en el periodo de estiaje y al fin del año

hidrológico. Así, una vez identificado los potenciales déficits hídricos, se proponen diferentes medidas de adaptación para abordar las problemáticas presentadas en cada sistema APR.

Se proponen a priori distintas alternativas de obras hidráulicas como pozos o captaciones superficiales desde otros cauces (trasvasije), o bien soluciones alternativas como camiones de aljibe, para lograr satisfacer el déficit proyectado. Como se mencionó anteriormente, en cada caso se define la factibilidad de las alternativas posibles en base a las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas del sector de estudio. De esta forma, se determinan características de diseño asociadas a cada medida propuesta (e.g., la profundidad de un pozo o el trazado de la tubería desde la captación de agua) necesarias para llevar a cabo la medida de mitigación evaluada, considerando en todos los casos

una seguridad del 100% de abastecimiento del déficit hídrico presentado en cada caso.

Para cada medida propuesta se realiza una evaluación económica, la cual comienza con el cálculo de los costos asociados distribuidos en CAPEX (gasto capital fijo) y OPEX (gasto operacional). Así, se desglosan el CAPEX y el OPEX según el plan de adaptación a analizar. Además, con el fin de analizar la factibilidad de cada propuesta, para cada alternativa propuesta se calculan el VAN (Valor Actual Neto) y el CAE (Costo Anual Equivalente) asociado, los cuales se definen según:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

$$CAE = VAN \cdot FRC = VAN \cdot \frac{tasa_{int} \cdot (1 + tasa_{int})^n}{(1 + tasa_{int})^{n-1}}$$

Donde:

- I_0 : Inversión inicial necesaria [CLP].
- n : Horizonte temporal de evaluación [años].
- F_t : Flujo anual [CLP].
- k : Tasa de interés [-].

Resultados

En base a la metodología propuesta, se realizan las correcciones pertinentes a las series obtenidas de la base de datos del BHN. La Figura N°3 muestra un ejemplo para la CVE de excedencia 90% para el desarrollo del SSR Oñico. En el panel superior, se muestran las 6 curvas para el periodo histórico, mientras en el panel de abajo se muestra la CVE

histórica y las proyecciones de cambio climático en un futuro, posterior al ajuste realizado. En este ejemplo, se observa que existen disminuciones considerables, las que resultan transversales a todos los subperiodos del año hidrológico. En dichas curvas, se observa que los meses más desfavorables de marzo/abril correspondiente al fin/inicio del año hidrológico.

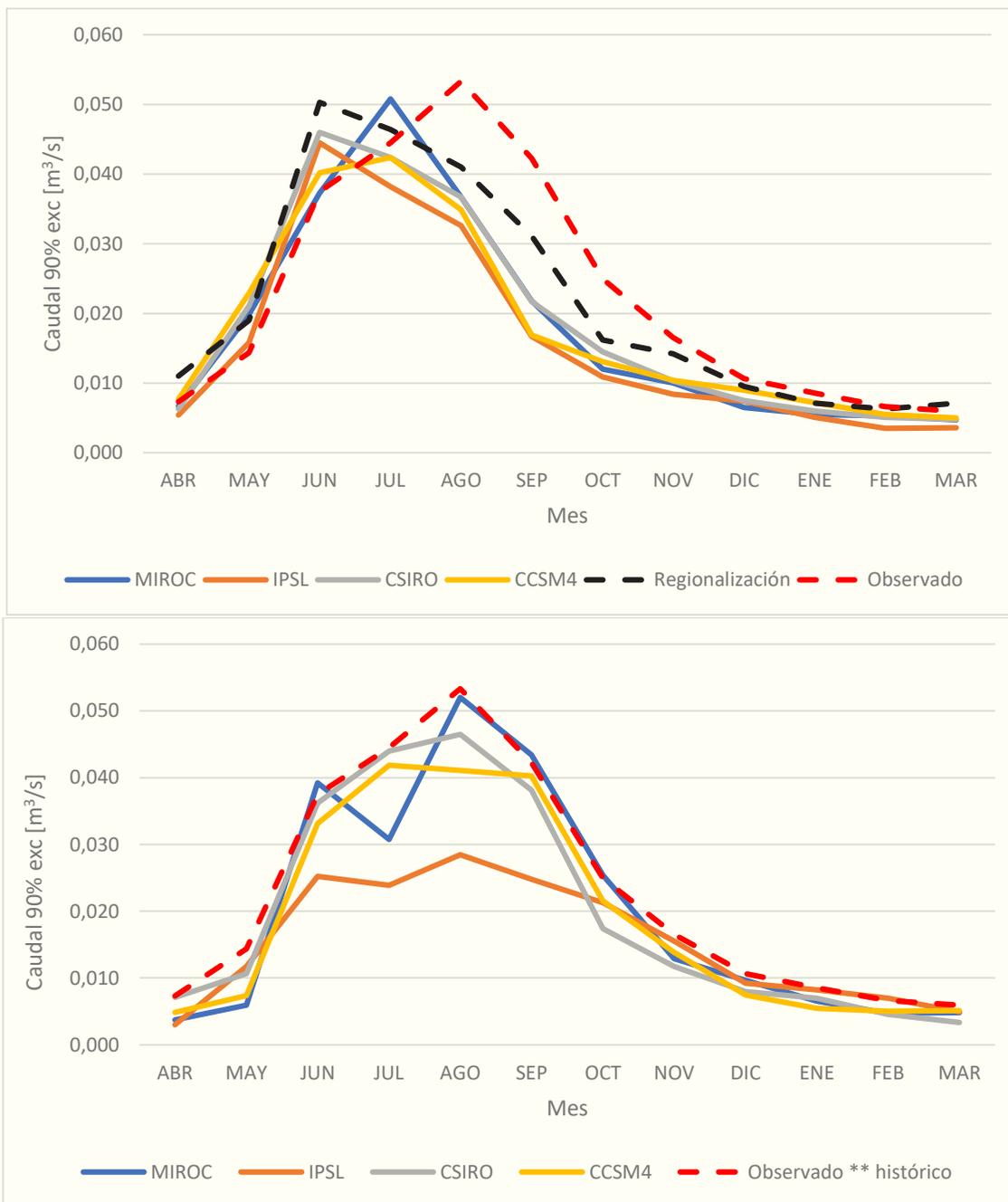


Figura N°3: Resultados derivados del ajuste de los modelos para sistema SSR Oñico asociados a la ex: (arriba) datos extraídos desde el balance hídrico nacional. (abajo) Curva histórica y proyecciones de cambio climático corregidas.

Adoptando un promedio de disminución entre las proyecciones de disponibilidad hídrica natural (i.e., promedio entre los cuatro casos futuros), la Figura N°4 muestra, a modo de ejemplo, el cambio en el balance hídrico de oferta-demanda para SST Oñico, donde se observa que i) la magnitud en los meses de superávit

disminuye en la condición futura, lo cual resulta coherente con la disminución en la oferta hídrica natural y el aumento en la demanda y, asimismo, ii) existen meses que reportan un déficit considerable que, si bien ya se reporta con el caso histórico o presente, en el periodo futuro proyectado se acentúa e intensifica.

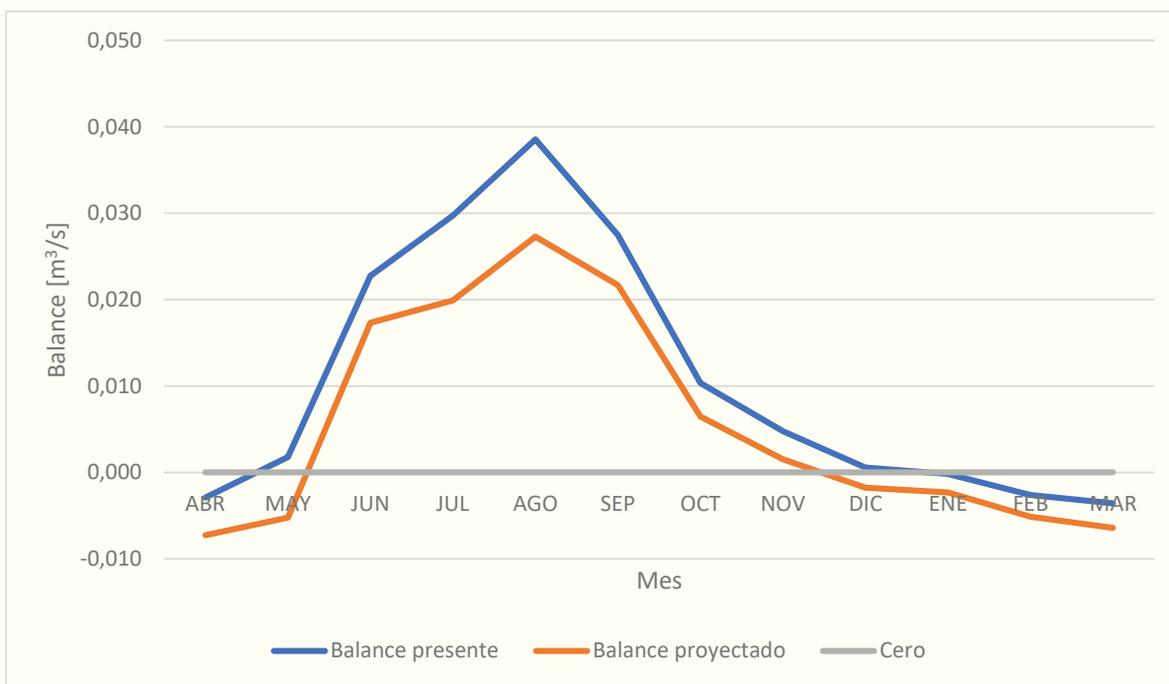


Figura N°4: Balance hídrico presente y futuro, incorporando las proyecciones de cambio climático y proyecciones en población para SST Oñico

En base a lo anterior, se repite el ejercicio para cada uno de los SSR considerados, según lo cual se obtienen los resultados reportados en el Cuadro N°1, donde se muestra el balance hídrico presente mientras que el

cuadro N°2 muestra el balance hídrico futuro. Finalmente, a modo de resumir los resultados, el Cuadro N°3 muestra los cambios porcentuales en el balance hídrico por localidad.

Cuadro N°1: Balance considerando oferta y demanda presente.

SSR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Curarrehue	2,132	1,786	19,04	17,96	17,62	19,17	16,29	10,21	5,112	3,786	2,982	2,009
Llaima	0,396	0,386	0,676	0,601	0,659	0,736	0,753	0,649	0,466	0,502	0,499	0,456
Putabla	-0,040	-0,043	0,171	0,253	0,291	0,199	0,037	-0,001	-0,030	-0,039	-0,041	-0,042
Oñico	-0,003	0,002	0,023	0,030	0,039	0,027	0,010	0,005	0,001	0,000	-0,003	-0,004
El Coihue	-0,005	-0,009	0,011	0,018	0,026	0,016	-0,001	-0,004	-0,003	0,000	-0,001	-0,002

Cuadro N°2: Balance considerando oferta y demanda futura.

SSR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Curarrehue	0,881	0,070	19,77	22,61	22,56	25,50	13,20	7,027	1,533	1,378	1,841	1,284
Llaima	0,171	0,166	0,761	0,799	0,860	0,579	0,134	0,191	0,150	0,322	0,284	0,274
Putabla	-0,054	-0,072	0,186	0,393	0,309	0,081	-0,063	-0,032	-0,059	-0,068	-0,084	-0,062
Oñico	-0,007	-0,005	0,017	0,020	0,027	0,022	0,006	0,002	-0,002	-0,002	-0,005	-0,006
El Coihue	-0,008	-0,015	0,010	0,009	0,019	0,012	-0,003	-0,003	-0,003	0,000	-0,002	-0,003

Cuadro N°3: Porcentaje de cambio asociado al balance hídrico.

SSR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Curarrehue	-59%	-96%	4%	26%	28%	33%	-19%	-31%	-70%	-64%	-38%	-36%
Llaima	-57%	-57%	13%	33%	31%	-21%	-82%	-70%	-68%	-36%	-43%	-40%
Putabla	-35%	-68%	9%	55%	6%	-59%	-99%	-99%	-99%	-73%	-99%	-49%
Oñoico	-99%	-99%	-24%	-33%	-29%	-21%	-37%	-68%	-99%	-99%	-95%	-79%
El Coihue	-58%	-76%	-9%	-49%	-27%	-23%	-99%	24%	6%	68%	-73%	-63%

En base a los resultados anteriores, se identifica que los sistemas de Putabla, Oñoico y El Coigue aumentan la magnitud de déficit a futuro, razón por la cual se deben plantear medidas de adaptación a dicha condición futura. La alternativa base corresponde a suplir el déficit mediante camión aljibe, donde se evalúa un déficit mes a mes, calculando un volumen anual. El valor del costo del litro de agua se fija en 2,3 CLP/lit, valor que considera los costos de transporte a la localidad de estudio.

Por otro lado, se plantean soluciones a largo plazo, las cuales constan en sondajes profundo con línea de impulsión de 15 kilómetros en el caso del SSR de Putabla, mientras que para los casos de los SSR's Oñoico y El Coihue se evalúan captaciones superficiales en el Rio Imperial aguas arriba del puente Frei Montalva para evitar el fenómeno de cuña salina. El Cuadro N°4 muestra la evaluación económica adoptando la metodología vigente del Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSF).

Cuadro N°4: Evaluación económica de las alternativas y SRR's

APR	Alternativa	Costo Inversión [CLP]	Costo Operación (2060) [CLP]	Costo total [CLP]	Valor Actual Neto (VAN) [CLP]	Costo Anual Equivalente (CAE) [CLP]
Putabla	Sondaje profundo	\$1.493.929	\$3.599.639	\$5.093.568	\$2.196.336	\$191.487
	Camión de aljibe	-	\$73.261.279	\$73.261.279	\$22.156.723	\$1.931.724
Oñoico	Captación superficial	\$10.554.488	\$5.514.576	\$16.069.064	\$9.523.475	\$830.300
	Camión de aljibe	-	\$56.844.960	\$56.844.960	\$17.158.085	\$1.495.920
El Coihue	Captación superficial	\$2.868.768	\$3.374.568	\$6.243.337	\$3.135.767	\$273.390
	Camión de aljibe	-	\$68.130.112	\$68.130.112	\$20.564.395	\$1.792.898

Discusión

En relación a la señal de cambio hidrológico proyectado en la zona de estudio, es posible afirmar que en todas las cuencas controladas estudiadas se obtuvieron variaciones promedio negativas entre los periodos futuro e histórico. Así, se presentan disminuciones de entre 9% y 22% en la oferta natural de recursos hídricos en los caudales medios mensuales con probabilidad de excedencia 90%, siendo los casos de mayor disminución las cuencas de la zona costera (Río Mahuidanche en Santa Ana) y de la zona central (Río Cruces en Rucaco). En línea con lo anterior, es posible notar que 3 de las 5 localidades estudiadas presentan un déficit hídrico para el periodo proyectado hacia el año 2060, siendo estas los sistemas APR de Putabla, Oñico y El Coihue. De manera coherente con lo indicado anteriormente, se tiene que dichas localidades se ubican en la parte costera y central de la región, mientras que aquellas cuencas ubicadas en la zona cordillerana no reportan un déficit hídrico en este periodo.

En relación a las medidas de adaptación propuestas en este trabajo, es posible afirmar que los costos totales de la implementación de camiones de aljibe para satisfacer la demanda faltante son de un orden de magnitud mayor en comparación a las propuestas de sistemas de impulsión y sondaje. Sin perjuicio de lo anterior, se debe tener en consideración que la inversión inicial requerida para el desarrollo de infraestructura es importante.

Luego, en relación a los costos operacionales OPEX de las alternativas propuestas, es común en todas las medidas de impulsión de agua que la mayor parte de este costo se concentre en consumo eléctrico necesario para esta. Como promedio de los 3 casos, se tiene que el 81% del costo operacional de las alternativas de impulsión corresponde a consumo eléctrico. Esta afirmación puede considerarse para una proyección en torno a la reducción de costos para este tipo de proyectos, con la utilización de energías renovables para abastecer la necesidad de muchas personas, al menor costo posible. Por otro lado, el gasto en entregar un litro de agua con un camión de aljibe es de 2,3 [CLP/L], sin embargo, sólo un 21% de este costo corresponde efectivamente al recurso hídrico, mientras que la diferencia se reparte entre personal, camiones y arriendo, entre otros.

Es interesante analizar el cuadro temporal en el cual se realizan las proyecciones de este trabajo ya que, al ser un periodo de bastante lejanía, puede tener involucrado un sesgo temporal en los costos, por lo que vale la pena estudiar los casos en el corto plazo. Así, es posible determinar que se requiere de un promedio de 4 años de operación de camiones de aljibe para pagar el costo de inversión de una medida de impulsión de agua en las zonas costeras, mientras que en la zona central del APR de Putabla este tiempo de pago es de tan solo 1 año. Además, entre las 2 comunidades costeras estudiadas existe una diferencia notoria en los costos de inversión de la alternativa de impulsión, debido principalmente a la distancia que debe tener el trazado de dicha impulsión hasta llegar al SSR. En términos de costos de inversión del sondaje y de la captación superficial, es posible afirmar que tienen órdenes de magnitud similares para los casos estudiados.

Finalmente, es posible observar los valores de los indicadores económicos calculados para los 3 sistemas APR evaluados, teniéndose diferencias consistentes a los costos según lo mencionado anteriormente. Tanto el VAN como el CAE en las medidas de adaptación que requieren una inversión inicial son un 27% del VAN y CAE de la alternativa de abastecimiento con camión de aljibe, lo que indica directamente una conveniencia en la determinación de optar por las alternativas de impulsión de agua en los 3 casos, significando un ahorro de más de 48 mil millones de pesos en comparación a las alternativas de abastecimiento con camiones.

Adicionalmente, se debe tener en consideración que el cambio climático supone que existirá un aumento de tarifa por concepto de una revalorización de recurso hídrico que sería más escaso, la cual en el caso más desfavorable será de un 50% en el periodo proyectado en este trabajo. Así, este aumento en la tarifa puede llevar a una disminución en el promedio de dotación de agua potable por habitante que se tiene en la actualidad, reduciendo el consumo a menores niveles y generando una mayor consciencia sobre la utilización del recurso hídrico, lo cual potencialmente podría reducir los costos de inversión por una disminución en la capacidad operacional de las APR o bien extender el horizonte de operación de esta.

Conclusiones

Aplicada la metodología propuesta para evaluar el impacto en los Recursos Hídricos en SSR's, es posible afirmar que la disminución de recursos hídricos en la época de estiaje es notoria en la zona, siendo los sectores más afectados aquellos de la costa y de la zona central de la región.

A su vez, es importante destacar que existen múltiples localidades que presentan hoy en día desabastecimiento de agua potable en algunos meses del año, viéndose directamente afectado el saneamiento básico y, por ende, su calidad de vida. En particular, para la probabilidad de excedencia de 90%, se espera un descenso entre un 11% y 24% para los caudales medios anuales de las cuencas estudiadas, donde los meses de menor disponibilidad presentan un déficit de entre un 37% y un 57%.

Las medidas de adaptación dependerán de la capacidad que se tenga de realizar trasvasijos de agua como

también de la hidrogeología del sector, condicionando por estos factores los costos de mitigación asociados al cambio climático.

Para abordar los problemas de déficit se cuenta con diferentes alternativas, que se diferencian principalmente en la forma en la cual se aplican. Así, medidas de contingencia como la utilización de camiones de aljibe no solamente resuelven momentáneamente una escasez, sino que también implican un costo promedio 75% mayor con respecto a una solución de largo plazo, razón por la cual es necesario implementar planes de inversión en infraestructura hídrica resiliente y de largo plazo que permitan optimizar los recursos fiscales asociados al saneamiento básico de la población rural y, asimismo, posibiliten la gestión estratégica de los recursos hídricos.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen al profesor Miguel Lagos Zúñiga, quien formó parte de la Comisión del trabajo de título del autor principal de

este trabajo, realizando comentarios relevantes para la mejora del trabajo.

Referencias

- [1] ARCADIS (2016) Estudio Hidrogeológico, Región de la Araucanía, elaborado para el Gobierno Regional de la Araucanía.
- [2] DGA (2002) “Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos”
- [3] DGA (2017) “Actualización del Balance Hídrico Nacional, SIT N° 417, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile, Realizado por: Universidad de Chile & Pontificia Universidad Católica de Chile”.
- [4] Garreaud & Boisier (2017) “The 2010–2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation”
- [5] INE (2021) Datos Censo 2021
- [6] IPCC (2014) “Climate Change 2014, Synthesis Report”
- [7] Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485–498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
- [8] Vargas, X.; Ricchetti, F.; Jerez, C. & Mendoza, P., (2020). Informe Proyecto ARClím: Hidrología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Santiago.

POTENCIAL DE LAS FRACCIONES SÓLIDA Y LÍQUIDA EN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE HÍBRIDOS DE ÁLAMOS

Alberto Vergara-Fernández^{1*}, Jessica San Martín-Davison², Ximena Petit-Breuilh Sepúlveda³

Resumen

*El presente trabajo estudió las cantidades y composición de las fracciones sólida (FS) y líquida (FL) generadas en el proceso de producción de bioetanol a partir de híbridos de álamo. En este estudio fue investigado el efecto de la utilización de dos pre-tratamientos (explosión por vapor y ácido peracético) en la producción de bioetanol y formación de FS y FL. Posteriormente al pre-tratamiento de la materia prima se realizó una sacarificación y fermentación simultánea para la producción de bioetanol, con enzimas comerciales y la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.*

Los principales resultados muestran que el pre-tratamiento con ácido peracético ($7140 \text{ mL}_{FL} / 100 \text{ mL}_{E_{10H}}$) genera seis veces más FL que al utilizar explosión por vapor ($1426 \text{ mL}_{FL} / 100 \text{ mL}_{E_{10H}}$), mientras que la cantidad de FS fue similar para ambos pretratamientos ($390 \text{ g}_{FS} / 100 \text{ mL}_{E_{10H}}$).

Por otro lado, el mayor rendimiento (69.7%) y concentración de etanol (21 g L^{-1}) fue obtenido al utilizar explosión por vapor como pre-tratamiento.

¹ Ingeniero Civil Bioquímico, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad de los Andes Chile.

² Ingeniero Ambiental, Universidad Católica de Temuco. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad de los Andes Chile.

³ Ingeniero en Alimentos, Universidad de la Frontera. Escuela de Ingeniería y Negocios, Universidad Viña del Mar Chile.

* Corresponding author. aovergara@miuandes.cl

1 Introducción

En los últimos años ha habido un creciente interés en la búsqueda de nuevas fuentes de materia prima para la producción de combustibles líquidos, entre ellos, el bioetanol lignocelulósico. La producción actual de este combustible se basa principalmente en almidón y azúcares, sin embargo, ha existido un debate considerable acerca de su sostenibilidad, razón por la cual recientes investigaciones se han centrado en la producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica (bioetanol de segunda generación) (Lin y Tanaka, 2006; Velmurugan y Muthukumar, 2011; Chiaramonti *et al.* 2011). En este contexto la biomasa lignocelulósica es una alternativa prometedora, principalmente por su gran disponibilidad.

La producción de bioetanol, como todo proceso productivo además de la elaboración del producto, debe considerar la generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Aquí los residuos sólidos generados son considerados como un coproducto ya que gran parte de ellos son utilizados en la alimentación para ganado y/o biofertilizante, dado su alto contenido nutricional, o generación de otro tipo de combustibles, entre ellos el biogás (Cheng *et al.* 2012). Sin embargo, la atención está dada principalmente en los residuos líquidos, dado su gran volumen e impacto que pueden ocasionar. Se estima que por cada litro de etanol producido se generan entre 10 a 13 L de aguas residuales (Pimentel, 2003). Debido a este impacto Palmqvist y Hägerdal (2000) proponen disminuir el consumo de agua mediante la recirculación de ésta en el proceso.

Por otro lado, Cherubini (2010) en su estudio del ciclo de vida del bioetanol, plantea que, a pesar de los reconocidos beneficios ambientales del bioetanol, la viabilidad económica es dudosa a menos que se incorporen tecnologías innovadoras en el proceso. Por esto, en los últimos años, asociado a la producción de biocombustibles, aparece el concepto de biorrefinería, con la idea de producir biocombustibles de manera económica, eficiente y ambientalmente sostenible, análogas a las refinerías de petróleo, donde el crudo es convertido en combustibles y productos secundarios como fertilizantes y plásticos. Siendo en el caso de las biorrefinerías, la producción a partir de biomasa una diversidad de productos como alimento para animales, combustibles, químicos, polímeros, lubricantes, pegamentos, fertilizantes y energía, entre otros (Alvarado-Morales *et al.* 2009; Sacramento-Rivero *et al.* 2010).

La producción de bioetanol de segunda generación, utilizando la sacarificación y fermentación simultánea (SFS) o en serie (SFSe) comprende a lo menos las siguientes etapas (Fig. 1): pre-tratamiento, hidrólisis enzimática (sacarificación), fermentación de azúcares y finalmente una destilación para lograr la purificación del etanol y así cumplir con las especificaciones de los combustibles. Entre estas etapas, el pre-tratamiento es una de las etapas críticas, ya que tiene el objetivo de romper la estructura de la lignina y la estructura cristalina de la celulosa y de esta forma mejorar la accesibilidad de las enzimas a la celulosa durante la etapa de hidrólisis (Mosier *et al.* 2005).

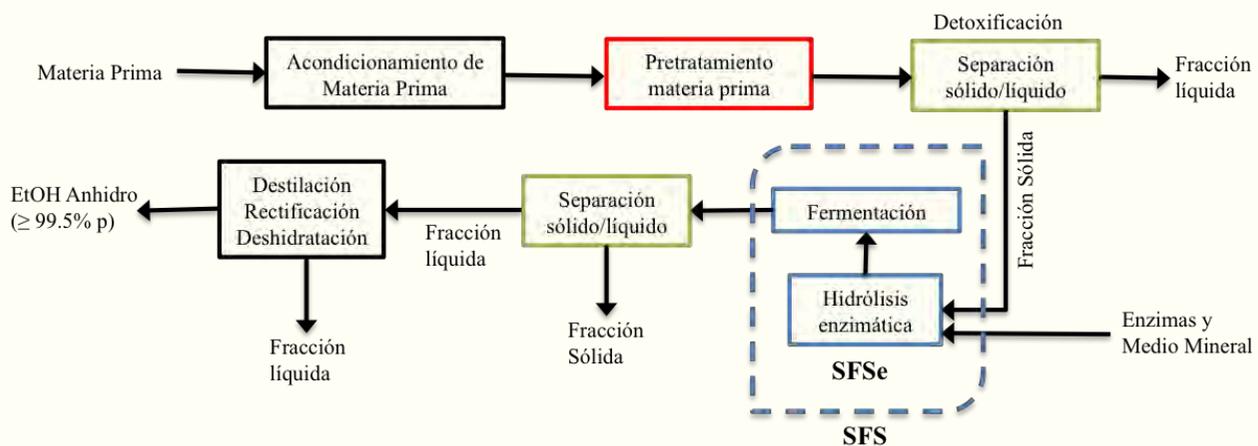


Figura 1 Esquema simplificado de la producción de etanol lignocelulósico. SFS: Sacarificación y fermentación simultánea, SFSe: Sacarificación y fermentación en serie.

El objetivo de este estudio fue identificar y caracterizar las fracciones sólidas y líquidas para su potencial en la producción de bioetanol a partir de híbridos de álamos, cuando son utilizadas dos diferentes tecnologías de pre-tratamiento de la materia prima (explosión por vapor y ácido peracético).

2 Materiales y métodos

2.1 Microorganismos y condiciones de crecimiento

El microorganismo utilizado en los experimentos de sacarificación y fermentación simultánea (SFS) fue *Saccharomyces cerevisiae* Ethanol Red (Fermentis, France). La propagación del microorganismo fue realizada en un agitador a 32°C durante 24 h y 150 rpm, utilizando el siguiente medio mineral: 5 g L⁻¹ extracto de levadura (Difco), 2 g L⁻¹ NH₄Cl, 1 g L⁻¹ KH₂PO₄, 0.3 g L⁻¹ MgSO₄·7H₂O, y 30 g L⁻¹ glucosa.

2.2 Materia prima

La materia prima (biomasa lignocelulósica) utilizada en todos los experimentos corresponde a híbridos de álamos (denominado H-29) facilitado por Green Wood Resources Chile, con un tamaño promedio de partícula de 10(±2) mm. Todas las muestras poseen un contenido de humedad de aproximadamente 10%.

2.3 Pretratamientos de la materia prima

2.3.1 Explosión con vapor

El pretratamiento de la materia prima fue realizado en una unidad piloto en lote basada en tecnología Masonite y equipado con un tanque de reacción de 2L diseñado para alcanzar una presión máxima de operación de 4.12 MPa (Ruiz *et al.* 2008). El reactor fue cargado con 300 g de materia prima seca por cada lote. Entonces el vapor saturado de una caldera fue ingresado al reactor y la materia prima fue llevada a la temperatura deseada (220°C) (Ballesteros *et al.* 2004). La temperatura fue mantenida por 5 min, y el reactor fue entonces súbitamente despresurizado. El material explosionado fue recuperado en un ciclón, y luego enfriado aproximadamente a 40°C y entonces filtrado para recuperar el líquido y el sólido. La fracción sólida fue lavada con agua destilada (para eliminar potenciales compuestos inhibidores de la SFS) y entonces utilizado en la SFS. El extraíble soluble en agua (hidrolizado) fue analizado para determinar azúcares, ácido acético y degradación de azúcares. El contenido de azúcar del hidrolizado (xilosa, glucosa,

arabinosa, manosa y galactosa) fue establecido por un proceso de post-hidrólisis con ácido sulfúrico (3% v/v) a 121°C por 30 min.

2.3.2 Pretratamiento con ácido peracético

Esta etapa tiene por objetivo degradar la lignina de la materia prima sin degradar la celulosa. El pretratamiento fue realizado en un reactor de acero inoxidable de 4 L equipado con control de temperatura y presión. El reactor fue cargado con 150 g de materia prima seca por cada lote. Los experimentos fueron realizados a 90°C durante 40 min de operación, utilizando una consistencia de 5% (peso materia prima/peso mezcla). La carga de ácido peracético (Pa) alimentada al reactor fue de 50% en peso (g de Pa/g de materia prima seca).

El material pretratado fue recuperado, y entonces filtrado para recuperar el líquido y el sólido. La fracción sólida fue lavada con agua destilada (para eliminar potenciales compuestos inhibidores de la SFS) y entonces utilizada en la SFS.

2.4 Sacarificación y fermentación simultánea (SFS)

Los experimentos de SFS fueron realizados en matraces Erlenmeyer de 200 mL, conteniendo cada uno 90 mL de medio mineral y agitados a 150 rpm, utilizando la materia prima previamente pre-tratada con explosión con vapor y ácido peracético. La glucosa presente en el medio mineral para propagación fue sustituida por materia prima pre-tratada seca (híbrido H-29) a una concentración de 10% (p/v). También fueron adicionados en una misma proporción un complejo enzimático (NS50013) y una enzima fúngica β-glucosidasa (NS50010) (dosis enzimática de 15 FPU g⁻¹ sólido insoluble en agua). En los experimentos de SFS, los matraces fueron inoculados con pequeñas cantidades de inóculo [1% (v/v), cultivo de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* (correspondiente a 2.73 mg L⁻¹)], y entonces los experimentos fueron realizados a 32°C por 72 h. Las muestras para análisis de etanol fueron obtenidas a las 72 h. El rendimiento teórico de la SFS fue calculado asumiendo que todo el potencial de glucosa inicial de la materia prima pre-tratada estuvo disponible para fermentación. El pH no fue controlado en las fermentaciones.

2.5 Métodos analíticos

Los carbohidratos estructurales y lignina, ácido acético, cenizas y extraíbles fueron determinados de acuerdo con el procedimiento formulado por la

National Renewable Energy Laboratory (NREL, 2008).

Los azúcares y carbohidratos estructurales fueron analizados con un HPLC Waters, modelo 2695, equipado con un detector de índice de refracción Waters 2414. Las siguientes condiciones de operación fueron utilizadas en el HPLC: Columna Aminex HPX-87P (300 Å~ 7.6 mm) (Bio-Rad, Hercules, CA), temperatura 85°C, y agua como eluyente a 0.6 mL min⁻¹. Los extraíbles fueron determinados como materia solubilizada después de una extracción Soxhlet con etanol durante 24 h. El contenido de cenizas de la materia prima fue obtenido por calcinación a 550°C.

El contenido de lignina ácido soluble (LAS) fue determinada por espectrofotometría UV a 205 nm. El contenido de los grupos acetilos fueron determinados por HPLC Waters 2695, con una columna Bio-Rad HPX-87H a 50 °C. La fase móvil fue 5 mM H₂SO₄, con una velocidad de flujo de 0.6 mL min⁻¹.

Los contenidos de furfural e hidroximetilfurfural fueron analizados con un HPLC modelo 1.100HP, equipado con un detector de diodo UV-1040A. La separación fue realizada en una columna Bio-Rad HPX-87H operada a 55°C con H₂SO₄ a una concentración de 5 mM (82%) y 18% acetonitrilo como eluyente a una velocidad de flujo de 0.3 mL min⁻¹.

El etanol fue analizado en un GC-FID Hewlett Packard 5890 series II equipado con un autosampler Agilent 6890 series y una columna Carbowax 20M (2 m × 1/8 in.) a 85°C. Las temperaturas del inyector y detector fueron 150°C.

Para el análisis de poder calorífico la materia prima fue previamente molida con tamaño 0.25 mm (para asegurar reproducibilidad) y luego estabilizada al aire en un recipiente durante 24 h. La muestra fue sometida a una combustión con exceso de oxígeno en una bomba calorimétrica, modelo 6100 PARR de acuerdo con el procedimiento descrito en CEN/TS 14918 (2006).

3 Resultados y discusiones

3.1 Composición química de la materia prima

La Tabla 1 muestra los resultados de composición de la materia prima lignocelulósica utilizada, *Populus* sp. (híbrido). Los resultados de azúcares fueron expresados como monómeros. Aunque la glucosa puede provenir de la despolimerización del hidrolizado de xiloglucanos, se asumió para los cálculos de balance de masa que toda la glucosa se deriva de la despolimerización de la celulosa. El contenido de

glucosa obtenido en este trabajo para el híbrido de álamo (39.1%) fue menor al 47.4% reportado Luo *et al.* (2002) utilizando también híbridos de álamo, mientras que el contenido de lignina fue similar al 30.4% obtenido por este autor. Por otro lado, Wyman *et al.* (2009) y Bura *et al.* (2009) también utilizando híbridos de álamos reportaron valores de glucosa levemente superiores (43.8%) y valores similares de lignina (29.1%) a los obtenidos con la materia prima utilizada en este trabajo.

El híbrido de álamo utilizado (H-29) posee un alto contenido de lignina 28.5% y bajo contenido de celulosa (35.5%), resultados similares a los 35.4(±1.5)% de celulosa y 25.6(±0.5)% de lignina reportados por Ballesteros *et al.* (2004) utilizando *Populus nigra*.

Tabla 1 Composición del híbrido de álamo utilizado H-29 (como porcentaje basado en peso de la materia prima)^a.

Composición	H-29 (% p/p)
Celulosa	35.5(±0.8)
Glucosa	39.1(±0.9)
Hemicelulosa	18.1(±0.8)
Xilosa	15.9(±0.2)
Manosa	2.3(±0.0)
Galactosa	1.9(±0.1)
Arabinosa	1.0(±0.0)
LAI	28.5(±0.2)
LAS	6.4(±0.4)
Grupos acetilos	2.5(±0.0)
Extraíble	7.1(±0.3)
Cenizas	2.1(±0.1)

^a Datos son valores medidos análisis por triplicado ± desviación estándar.

LAI: Lignina ácido- insoluble

LAS: Lignina ácido-soluble

H: Híbrido de álamo

3.2 Composición fracción sólida recuperada

La Tabla 2 muestra la fracción sólida recuperada de la materia prima lignocelulósica utilizada luego del pretratamiento (calculado como sólidos remanentes después de pretratamiento dividido del peso seco original). El porcentaje de sólido recuperado corresponde a 63% y 92.1% para la materia prima

pretratada con explosión con vapor y ácido peracético, respectivamente. Los valores de recuperación de sólidos obtenidos con explosión con vapor son similares a los reportados por Ballesteros *et al.* (2004) y Ruiz *et al.* (2008) utilizando el mismo pretratamiento, y a los reportados por Pan *et al.* (2006) utilizando organosolv. Sin embargo, los resultados de recuperación de sólidos utilizando ácido peracético como pretratamiento, fueron aproximadamente un 45% superiores a los reportados por los trabajos previamente citados. Estos resultados indican una mejor recuperación de sólidos al utilizar ácido peracético como pretratamiento, obteniendo por lo tanto una mayor cantidad de azúcares fermentables para la obtención de bioetanol.

La Tabla 2 muestra que el contenido de glucosa en los sólidos insolubles en agua disponible para la SSF fue incrementado en forma similar luego de ambos pretratamientos. El contenido de glucosa obtenido para ambos pretratamientos (~59% glucosa) fueron levemente superiores a los obtenidos por Ballesteros *et al.* (2004) (52% glucosa) utilizando *Populus nigra* pretrado con explosión con vapor a 210°C por 8 min. Con respecto al LIA para los sólidos pretratados, es posible observar la mitad del contenido de lignina

cuando la materia prima fue pretratada con ácido peracético que con explosión con vapor.

Una alta solubilización de hemicelulosa fue también observada luego del pretratamiento con explosión con vapor y ácido peracético, la cual disminuyó aproximadamente cinco veces.

3.3 Producción y rendimiento de bioetanol

La Tabla 3 muestra los resultados de producción de etanol utilizando la SFS con materia prima pre-tratada con explosión con vapor y ácido peracético. La Tabla 3 muestra una mayor concentración final y rendimiento de etanol cuando fue utilizado explosión con vapor como pretratamiento que la utilización de ácido peracético. Como se puede observar, aunque el pretratamiento con ácido peracético es más deslignificante que la explosión por vapor (Tabla 2) no se observa un mayor rendimiento de etanol, lo cual puede estar relacionado a que la cantidad de lignina presente en el medio no genera un efecto inhibitorio y de barrera física importante al ataque enzimático.

Los resultados de concentración y rendimiento de etanol utilizando explosión con vapor, son similares a los obtenidos por Ballesteros *et al.* (2004) utilizando álamos.

Tabla 2 Composición del residuo fibroso^a (como un porcentaje basado en peso seco) de la materia prima después de los pretratamientos a las condiciones seleccionadas.

Pre-tratamiento	Sólidos recuperados (g/100 g peso seco) (%)	Xilosa (% p/p)	Glucosa (% p/p)	Lignina Ácido-insoluble (% p/p)
Explosión por vapor	62.8	4.1±0.04	59.2±1.0	39.7±1.1
Ácido Peracético	92.1	3.9±0.1	58.9±1.2	20.9±0.9

^a Los datos son valores medios de los análisis por triplicado ± desviación estándar de la media.

Tabla 3 Concentración y rendimiento de etanol utilizando sacarificación y fermentación simultánea (72 h) de híbridos de álamo utilizando explosión por vapor y ácido peracético como pretatamiento.

Pre-tratamiento	EtOH (g L ⁻¹)	Y EtOH %
Explosión por vapor	21.05(±0.35)	69.69(±1.16)
Ácido peracético	16.03(±0.16)	57.01(±0.54)

EtOH: Etanol

3.4 Caracterización y generación de residuos

Al igual que en todo proceso productivo la generación de productos, subproductos y residuos generados depende de la materia prima y la configuración de proceso seleccionada.

El sólido (astillas de madera) sometido a pre-tratamiento, genera una fase sólida y líquida, las cuales son separadas y analizadas para identificar los compuestos de degradación originados durante el pre-tratamiento. La fase sólida que contiene el mayor contenido de azúcares es la que fue utilizada en la siguiente etapa de hidrólisis y fermentación. La fracción líquida no se utiliza, la cual representa el residuo en esta etapa. La composición química de fracción líquida para cada pre-tratamiento se muestra en la Tabla 4. En la Tabla 4 se puede observar que es posible obtener pequeñas cantidades de azúcares fermentables y azúcares en forma de oligosacáridos, ácido acético, fórmico, furfural, hidroximetilfurfural, lignina, entre otros componentes. Se puede observar una mayor concentración de xilosa que glucosa en la fracción líquida, para ambos pre-tratamientos, indicando esto la mayor solubilidad de la hemicelulosa luego del pre-tratamiento.

Las concentraciones de azúcares y características químicas de la fracción líquida hacen que esta no sea aprovechable para producción de etanol y pasa a ser un residuo.

En los procesos de SFS la principal ventaja, es la reducción de la inhibición por producto final en

comparación con la que se genera cuando se opera en dos etapas. Es por esto último que se consiguen mayores tasas de hidrólisis que en el proceso de hidrólisis y fermentación por separado, necesiéndose una menor cantidad de enzimas y obteniéndose como resultado un aumento de los rendimientos de etanol (Ballesteros *et al*, 2000). Otra ventaja es que se realiza en un mismo reactor con lo cual se reducen los costos de inversión. Sin embargo, la principal desventaja de este proceso son las diferentes condiciones óptimas de pH y temperatura de la etapa de hidrólisis y fermentación que deben ser utilizadas.

En esta etapa el sólido pre-tratado se somete a la acción de las enzimas y levaduras, para producir el etanol. Como resultado de esta etapa se obtiene una fracción líquida y sólida, la primera contiene etanol más agua y pasa a la siguiente etapa de "purificación" en donde se separa el etanol del agua. La caracterización de la fracción sólida resultante se muestra en la Tabla 5. Esta fracción sólida está compuesta principalmente por una mezcla de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*), enzimas y residuos de astillas no biodegradados. La caracterización de esta fracción (Tabla 5) indica que posee buenas características para ser utilizado como alimento para animales, fertilizantes y/o fabricación de pellets. Este último uso se justifica por el resultado de poder calorífico promedio obtenido, de 4001 cal g⁻¹, similar a pellets y briquetas.

Tabla 4 Composición (g/100 g materia prima) del filtrado resultado del pre-tratamiento por explosión con vapor y ácido peracético.

Composición	Ácido Peracético	Explosión por vapor
Glucosa	0.5	1.9
Xilosa	2.0	8.0
Galactosa	N.D	1.3
Arabinosa	N.D	0.7
Manosa	N.D	1.0
Ácido acético	N.D	2.9
Ácido fórmico	N.D	1.3
Furfural	0.25	0.5
HMF	0.18	0.1
pH	1.1	4.36

HMF: hidroximetilfurfural

N.D.: No determinado

Tabla 5 Parámetros químicos para analizar el potencial del residuo como alimento para rumiantes. Valores expresados en base 100% materia seca.

Pre-tratamiento	%M.S 105°C	Proteína (%)	FDA (%)	pH	N (%)	E.E (%)	F.C (%)	Ceniza (%)	E.M.
Ácido peracético	92.25	3.93	68.45	7.10	0.3	2.11	51.15	4.96	1.28
Explosión por vapor	91.8	4.13	68.3	7.32	N.D	N.D	N.D	N.D	1.01

N.D: No determinado

E.M.: (mega cal/kg mat. seca) valor referencial calculado en base a fibra cruda considerando la muestra como heno.

F.C.: Fibra cruda valor corregido respecto al extracto etéreo.

M.S.: Materia seca

N: Nitrógeno

FDA: Fibra total digerible

E.E.: Extracto etéreo

Tabla 6 Fracciones sólidas y líquidas generadas por 100 mL de etanol para el híbrido H-29 pre-tratado con explosión por vapor y ácido peracético.

Etapa	Fracción Líquida (FL)		Fracción Sólida (FS)	
	mL _{FL} g ⁻¹ _{MP}	mL _{FL} / 100 mL _{EtOH}	g _{FS} g ⁻¹ _{MP}	g _{FS} / 100 mL _{EtOH}
<i>Explosión por vapor</i>				
Pre-tratamiento	3.3	1093	0.37	124
SSF	1.0	333	0.81	270
Total		1426		394
<i>Ácido peracético</i>				
Pre-tratamiento	17.8	6260	0.2	70
SFS	2.5	880	0.9	321
Total		7140		391

FS: Fracción sólida

FL: Fracción líquida

MP: Materia prima

3.5 Balance de materias para la cuantificación de residuos

La Tabla 6 muestra los resultados del balance de materia realizados al pre-tratamiento y a la SSF para la producción de bioetanol de híbridos de álamo. Los balances de materia fueron realizados considerando un 10% de humedad de la materia prima. De la Tabla 6 se puede observar que la menor cantidad de FL por cada 100 mL de bioetanol producido fue obtenida cuando se utilizó explosión con vapor, obteniendo seis veces menos volumen de FL que con el pretratamiento con ácido peracético. Por otro lado, es posible observar que la cantidad de FS obtenida fue similar cuando fue utilizado explosión con vapor y ácido peracético como pre-tratamientos. Estos resultados tienen relación con

los principios de operación de ambos pre-tratamientos utilizados, ya que la SFS fue similar para ambas experiencias.

4 Conclusión

Los principales residuos generados en el proceso de producción de bioetanol son residuos sólidos y líquidos, teniendo los residuos sólidos una composición (alto contenido de proteína y fibra cruda digerible) y propiedades energéticas (poder calorífico) que permite su utilización como alimentación para ganado, fertilizante, o combustible.

Es posible observar una baja concentración de glucosa y xilosa en la fracción líquida residual del pre-

tratamiento, además de bajos pH en el medio, lo que hace poco factible su utilización para recuperar azúcares y producir etanol.

La mayor cantidad de residuos líquidos fueron obtenidos cuando la materia prima fue pre-tratada con ácido peracético, mientras que los residuos sólidos fueron similares para ambos pre-tratamientos.

Fue posible obtener un mayor rendimiento y concentración de etanol cuando se utilizó explosión por vapor como pre-tratamiento.

References

Alvarado-Morales, M., Terra, J., Gernaey, K., Woodley, J. y Gani, R. (2009). Biorefining: Computer aided tools for sustainable design and analysis of bioethanol production. *Chemical Engineering Research and Design* 87, 1171–1183.

Ballesteros, I., Oliva, J.M., Navarro, A.A., González, A., Carrasco, J. y Ballesteros, M. (2000). Effect of chip size on steam explosion pretreatment of softwood. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 84-86, 97-110.

Ballesteros, M., Oliva, J.M., Negro, M.J., Manzanares, P. y Ballesteros, I. (2004). Ethanol from lignocellulosic materials by a simultaneous saccharification and fermentation process (SFS) with *Kluyveromyces marxianus* CECT 10875. *Process Biochemistry* 39, 1843-1848.

Bura, R., Chandra, R. y Saddler, J. (2009). Influence of xylan on the enzymatic hydrolysis of steam-pretreated corn stover and hybrid poplar. *Biotechnology Progress* 25, 315-322.

Cheng, H.-H., Whang, L.-M., Wua, C.-W. y Chung, M.-C. (2012). A two-stage bioprocess for hydrogen and methane production from rice straw bioethanol residues. *Bioresource Technology* 113, 23–29.

Cherubini, F. (2012). The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management* 51, 1412–1421.

Chiaramonti, D., Rizzo, A.M., Prussi, M., Tedeschi, S., Zimbardi, F., Braccio, G., Viola, E. y Taddei, P. (2011). 2nd generation lignocellulosic bioethanol: is torrefaction a possible approach to biomass

pretreatment?. *Biomass Conversion and Biorefinery* 1, 9–15.

Lin, Y. y Tanaka, S. (2006). Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology* 69, 627–642.

Luo, C., Brink, D. y Blanch, H. (2002). Identification of potential fermentation inhibitors in conversion of hybrid poplar hydrolysate to ethanol. *Biomass and Bioenergy* 22, 125–138.

Mosier, N., Wyman, C.E., Dale, B.D., Elander, R.T., Lee, Y.Y., Holtzapple, M. y Ladisch, C.M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* 96, 673–686.

National Renewable Energy Laboratory (NREL) (2008) Chemical Analysis and Testing Laboratory Analytical Procedures: LAP-002 (1996), LAP-003 (1995), LAP-004 (1996), LAP-005 (1994), LAP-010 (1994) and LAP 017 (1998). NREL, Golden, CO, USA.

http://www.nrel.gov/biomass/analytical_procedures.html

Palmqvist, E. y Hahn-Hägerdal, B. (2000). Fermentation of lignocellulosic hydrolysates II: inhibitors and mechanism of inhibition. *Bioresource Technology* 74, 25–33.

Pan, X., Gilkes, N., Kadla, J., Pye, K., Saka, S., Gregg, D., Ehara, K., Xie, D., Lam, D. y Saddler, J. (2006). Bioconversion of hybrid poplar to ethanol and co-products using an organosolv fractionation process: optimization of process yields. *Biotechnology and Bioengineering* 94(5), 851-861.

Pimentel, D. (2003). Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics, and Environmental Impacts are Negative. *Natural Resources Research* 12(2).

Ruiz, E., Cara, C., Manzanares, P., Ballesteros, M. y Castro, E. (2008). Evaluation of steam explosion pretreatment for enzymatic hydrolysis of sunflower stalks. *Enzyme and Microbial Technology* 42, 160–166.

Sacramento-Rivero, J.C., Romero, G., Cortés-Rodríguez, E., Pech, E. y Blanco-Rosete, S. (2010). A diagnostic study on the development of biorefineries in

Mexico. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 9(3), 261-283.

Velmurugan, R. y Muthukumar, K. (2011). Utilization of sugarcane bagasse for bioethanol production: Sono-assisted acid hydrolysis approach. *Bioresource Technology* 102, 7119–7123.

Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Holtzapple, M., Ladisch, M., Mitchinson, C. y Saddler, J. (2009). Comparative sugar recovery and fermentation data following pre-treatment of poplar wood by leading technologies. *Biotechnology Progress* 25, 333-339.

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Empresas Socias

AGUAS ANDINAS S.A.

ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.

ANTOFAGASTA MINERALS S.A.

ASOCIACIÓN DE CANALISTAS SOCIEDAD DEL CANAL DE MAIPO

BESALCO S.A.

CIA. DE PETRÓLEOS DE CHILE COPEC S.A.

COLBÚN S.A.

CyD INGENIERÍA LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

GUZMÁN Y LARRAÍN VIVIENDAS ECONÓMICAS SpA

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.

SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A.

EMPRESAS DE INGENIERÍA COLABORADORAS

ACTIC CONSULTORES LTDA.

ARCADIS CHILE S.A.

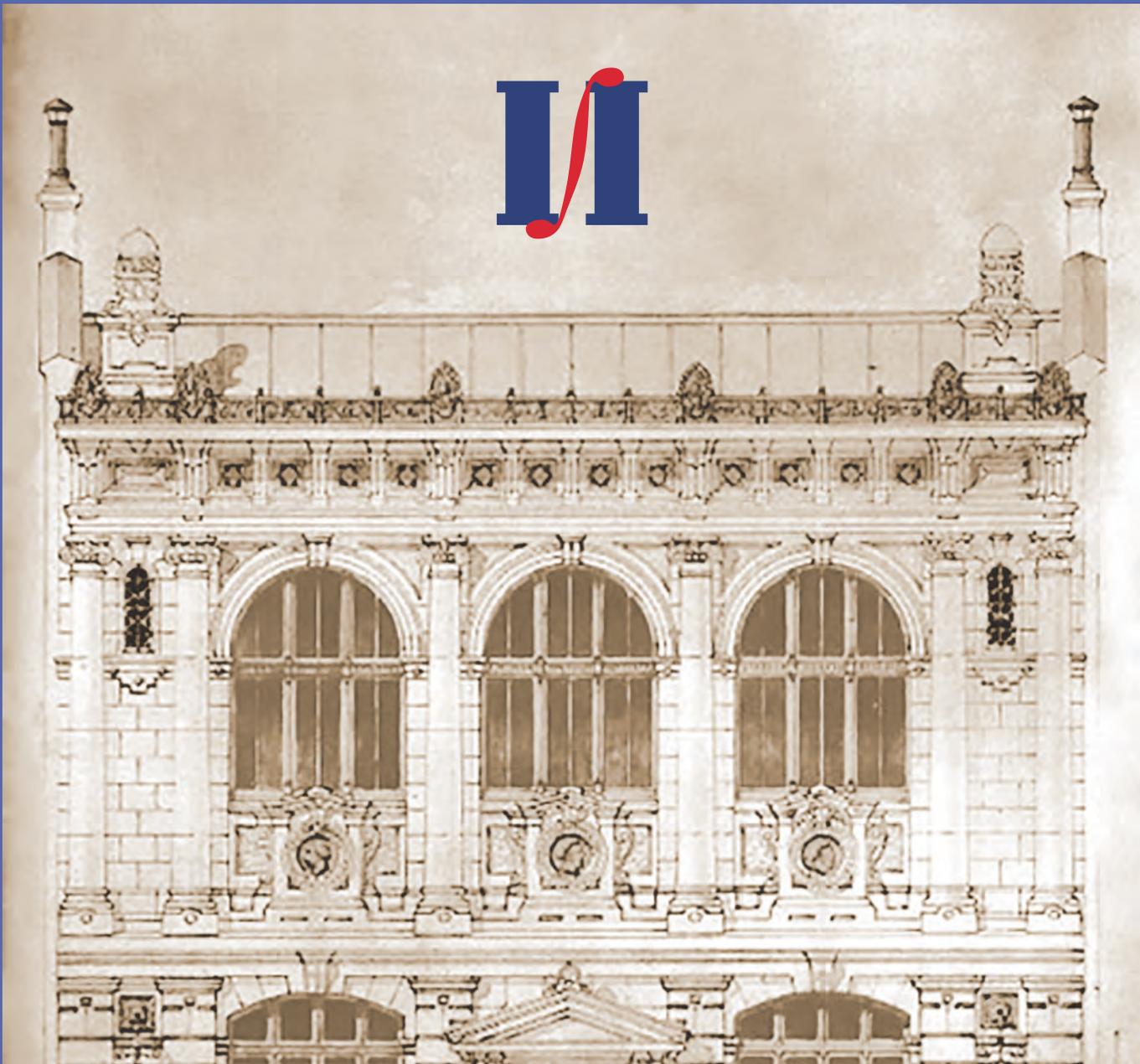
IEC INGENIERÍA S.A.

JRI INGENIERÍA S.A.

LEN Y ASOCIADOS INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

SYNEX INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

ZAÑARTU INGENIEROS CONSULTORES LTDA.



Nuestros canales digitales:

Sitio web: www.iing.cl

Linkedin: <https://www.linkedin.com/company/64274333/admin/>

E-mail: iing@iing.cl · institutodeingenieros@gmail.com

Nuestros teléfonos:

(+56) 22696 8647 · (+56) 93736 0656