

Revista Chilena de INGENIERIA

ISSN 0370 - 4009 - N° 497 - Diciembre 2022



Anales del Instituto de Ingenieros

Vol. 134, N° 3 - 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

Protesorera

Marcela Munizaga Muñoz

Secretario

Germán Millán Valdés

Prosecretaria

Ximena Vargas Mesa

DIRECTORIO 2022

Hernán Alcayaga S.

Elías Arze Cyr

Dante Bacigalupo Marió

Marcial Baeza Setz

Fernando Bravo Fuenzalida

Juan E. Castro Cannobbio

Alex Chechilnitzky Zwicky

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Alejandra Decinti Weiss

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Rodrigo Gómez Álvarez

Mauro Grossi Pasche

Cristian Hermansen Rebolledo

Carlos Mercado Herreros

Viviana Meruane Naranjo

Germán Millán Valdés

Marcela Munizaga Muñoz

Juan Music Tomicic

Ricardo Nanjarí Román

Ricardo Nicolau del Roure G.

José Orlandini Robert

Jorge Pedrals Guerrero

Luis Pinilla Bañados

Daniela Pollak Aguiló

Miguel Ropert Dokmanovic

Alejandro Steiner Tichauer

Luis Valenzuela Palomo

Ximena Vargas Mesa

René Vásquez Canales

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.

PMI SANTIAGO CHILE CHAPTER.

Presidente: Jonathan Polgatz A.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN
EN INGENIERÍA, SOCHEDI.

Presidente: Raúl Benavente G.

COMISIONES DEL INSTITUTO

APRENDIZAJES EN INGENIERÍA,
MODALIDAD VIRTUAL.

Presidenta: Silvana Cominetti C.

INGENIEROS EN LA HISTORIA PRESENTE.

Presidente: Ricardo Nanjarí R.

LA MUJER EN EL ESTUDIO Y EJERCICIO
DE LA INGENIERÍA.

Presidenta: Viviana Meruane N.

CALIDAD DE LA INGENIERÍA
EN PROYECTOS DE INVERSIÓN.

Presidente: Ricardo Nicolau del Roure G.

EL HIDRÓGENO VERDE
Y LAS ENERGÍAS RENOVABLES.

Presidente: Cristian Hermansen R.

EL ESTADO, SU EFICIENCIA,
SU ROL Y LOS DESAFÍOS FUTUROS.

Presidente: Jorge Pedrals G.

CAMBIO CLIMÁTICO Y EL AGUA.

Presidente: Luis Nario M.

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



Hoy puede ser diferente



Junto a nuestros clientes hemos **co-creado** la plataforma digital para empresas, casi perfecta.

¿Y por qué casi perfecta?

Porque **evoluciona** en base a las necesidades y experiencias de nuestros clientes y usuarios.

360 | Connect

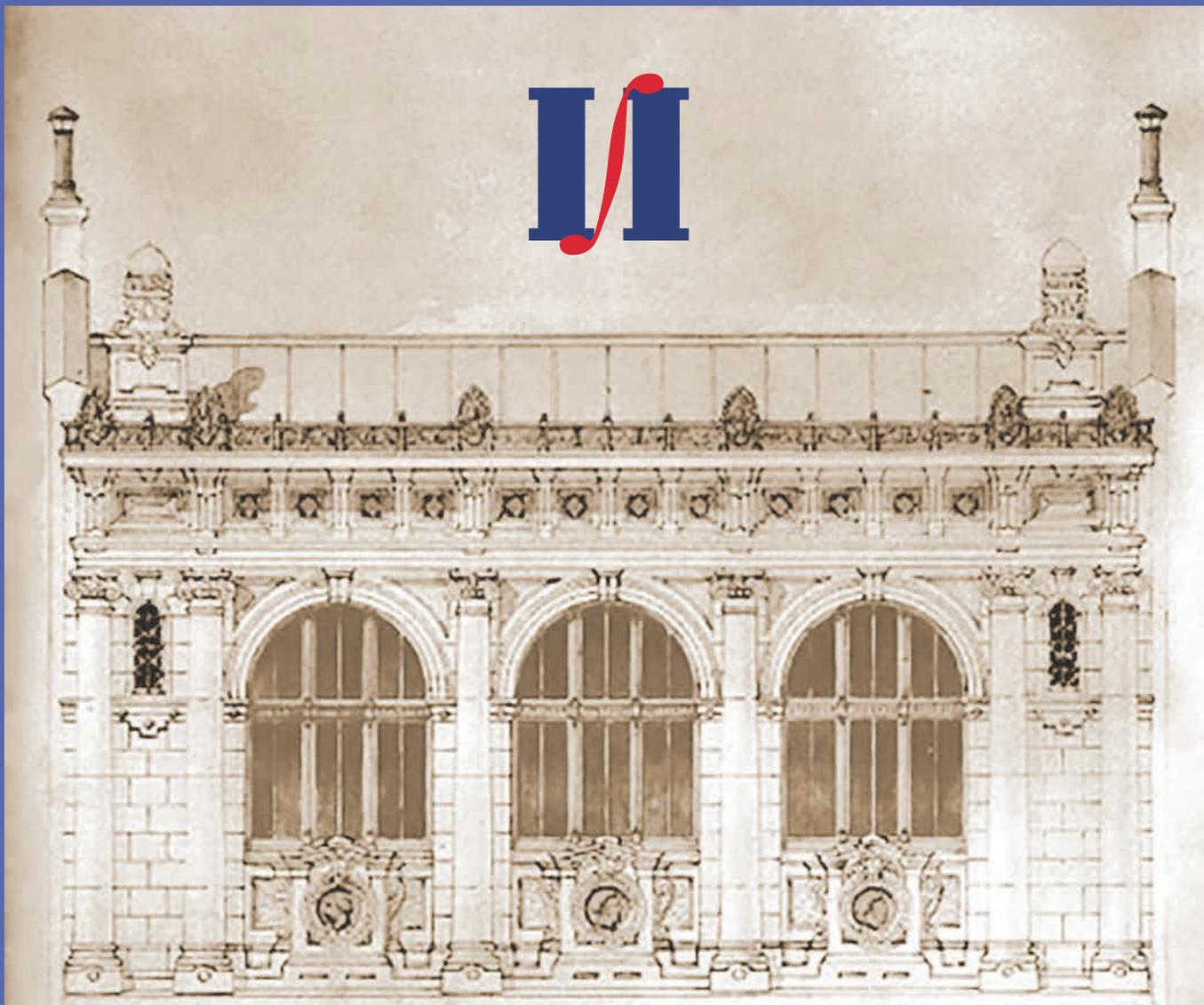
Plataforma 100% digital que entrega una experiencia simple, ágil e intuitiva permitiendo ahorrar tiempo al realizar las operaciones financieras de tu empresa.



Conócenos



Infórmese sobre la garantía estatal de sus depósitos en su banco o en www.cmfchile.cl



Estimados Señores/as:

Informamos a usted, que nuestra página web www.iing.cl ya está disponible.

También puede acceder al enlace de LinkedIn:

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

Teléfonos (+56) 22696 8647 y (+56) 93736 0656

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

Le saluda atentamente.

Carlos Gauthier T.

Secretario General Instituto de Ingenieros de Chile



Nuestra portada

Los Premios que el Instituto confiere, anual o periódicamente, son una acción a la que nuestra Corporación otorga suma importancia y dedicación. Premios que honran a quienes los reciben y, al mismo tiempo, honran al propio Instituto. Nuestra portada muestra un collage con fotografías de los premiados en 2022, donde se destaca el Ingeniero Medalla de Oro. Felicitaciones a todos.

REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA N° 497, diciembre de 2022

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
Dirección: San Martín N° 352, Santiago

SECRETARIO GENERAL

Carlos Gauthier T.

SECRETARÍA

Patricia Núñez G.

DIAGRAMACIÓN

versión productora gráfica SpA

EDITORIAL. Pág. 2

PLAN DE PUENTES: 2020-2030. Pág. 3

Conferencia del Sr. Jaime Retamal,
Director Nacional de Vialidad del Ministerio
de Obras Públicas.

**LA REVOLUCIÓN DIGITAL
Y EL IMPACTO EN LA LOGÍSTICA.** Pág. 22

Conferencia del Sr. Rafael Epstein,
Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería
Industrial de la FCFM de la Universidad de
Chile.

**PREMIO
“MEDALLA DE ORO – AÑO 2022”** Pág. 35
Al Ingeniero Sr. José Rodríguez Pérez.

**PREMIO
“AL INGENIERO POR ACCIONES
DISTINGUIDAS – AÑO 2022”** Pág. 43
Al Ingeniero Sr. Juan Pablo Covarrubias Torres.

**PREMIO
“JULIO DONOSO DONOSO – AÑO 2022”** Pág. 44
Al Ingeniero Sr. Germán Millán Pérez.

**PREMIO
“JUSTICIA ACUÑA MENA – AÑO 2022”** Pág. 49
A la Ingeniera Sra. Nélida Heresi Milad.

**PREMIO
“RAMÓN SALAS EDWARDS – AÑO 2022”** Pág. 55
Al trabajo: “NotCo®, inteligencia artificial chilena que ayuda al mundo a combatir el cambio climático”.

**PREMIO A LOS ALUMNOS DESTACADOS
DE INGENIERÍA CIVIL – AÑO 2022** Pág. 57
– Premio “Marcos Orrego Puelma”.
– Premio “Ismael Valdés Valdés”.
– Premio “Roberto Ovalle Aguirre”.

**ENTREVISTA
A INGENIEROS DESTACADOS** Pág. 64
– Sr. Carlos Mercado Herreros
– Sr. José Rodríguez Pérez
Comisión de Ingenieros en la Historia Presente
Presidente: Ricardo Nanjarí R.

RECONOCIMIENTO A NUESTROS SOCIOS Pág. 68

El 26 de julio de 2022, se realizó la conferencia del señor Jaime Retamal, Director Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, quién expuso el tema “**Plan de Puentes: 2020-2030**”. El señor Retamal es ingeniero civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile, con Diploma en Ingeniería de Transportes y Magister en Ciencias de la Ingeniería de la misma Universidad, en Gestión de Infraestructura. Al dar inicio a su disertación, presentó un esquema para situar el universo de las estructuras que son parte de la responsabilidad de esta Dirección Nacional, donde se identifican 6.781 puentes, distribuidos por todo el territorio nacional, 5.148 de los cuales son de menos de 30 metros de longitud, con baja concentración en Arica y Parinacota y en Tarapacá, y elevada en La Araucanía: la red vial de caminos públicos más grande del país con un total aproximado de 86.000 kilómetros. Esta información permitió definir un objetivo estratégico: optimizar el ciclo de vida; lograr la conformación de una red vial resiliente; permitir que todos los actores operen de manera coordinada, con visibilidad tanto de puentes individuales como de toda la red. A partir de esta Red Oficial Única, se tiene una Red Vial Estructurante, que permite conectar a gran parte del territorio y también, a la mayor cantidad de la población del país, generando así una Red Vial Crítica. Para ello, es de gran importancia contar con mecanismos de monitoreo, iniciándose su implementación en 2018. Ya se cuenta con un indicador que permite identificar y gatillar acciones de mantenimientos, focos de atención, precauciones e inversiones. Por otro lado, saber qué puentes pueden esperar con respecto de otros, en función de su condición estructural y funcional. Señala que cuentan con un plan de renovación de todos los puentes menores de 30 metros, que tienen algún elemento de madera; por lo tanto, puede ser por diseño o por condición de alguna restricción de carga. Otro desafío son los puentes de la Ruta 7, la que ya tiene muchos años y que, en sus inicios en los años 80, era una senda de penetración. Desafío importante que es un trabajo que ya se está llevando adelante. Esto se suma a la creciente exigencia de conectividad del país. A continuación, abordó la situación de diversos puentes icónicos del país, como el Yelcho, en Palena, Región de Los Lagos; el puente sobre el Canal de Chacao, con estructura de puente colgante multivano de 2,7 kilómetros, que unirá el continente con la isla Grande de Chiloé en la región de Los Lagos. Especial énfasis marcó en la implementación de soluciones para conectividad de zonas que están en potencial de riesgo, empleando puentes transitorios, y eventualmente puentes definitivos, de estructuras que sean “más livianas” desde el punto de vista administrativo. En relación a la vinculación con el medio nacional e internacional, se refirió a los vínculos con el mundo académico, a los convenios internacionales con JICA, Japón, y con la Federal Highway de Estados Unidos, entre otras organizaciones nacionales e internacionales.

El 26 de agosto de 2022, el Ing. Rafael Epstein, expuso el tema “**La Revolución Digital y el Impacto en la Logística**”. El señor Epstein es Ingeniero Civil Industrial de la Universidad de Chile, Master in Industrial Engineering, Ph.D. in Operations Research. Es Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile. Inició su disertación mostrando las variaciones del índice Nasdaq, que estaba cerca de 1.000 puntos más o menos, el año 1998, que subió a 5.000 puntos el 99, para luego bajar, llegando en 2001 al mismo nivel anterior. Se mantuvo bajo cero hasta 2012 y permaneció más de 10 años bajo el máximo de 2000. A continuación, se refirió a los desarrollos tecnológicos históricos, comenzando con la máquina universal de Turing, en 1936, luego con el modelo informático de redes neuronales creado por Warren McCulloch, y los desarrollos siguientes, que convergen y dan lugar al justo reconocimiento a Kantorovich, que recibió el premio Nobel de Economía. Presentó luego una detallada síntesis de lo ocurrido en los siguientes 20 años, con el desarrollo de varios lenguajes de programación orientados a la inteligencia artificial, como LISP, PROLOG, PARC y otros más. Dijo, entre otras cosas, que en la década de los 90 se instala la sensación que todo iba a ser tecnológico, hasta que ocurre el crash del mercado de las empresas tecnológicas en el año 2000, con los efectos ya comentados en el índice Nasdaq. Después del año 2000 aparecen con fuerza los conceptos de Big Data, Data Mining y “tiempo real”. La revolución digital se concreta en la industria, y la disertación se enfoca, en especial, en la minería, principal industria exportadora de Chile. Surge la planificación optimizada, los procesos industriales “inteligentes”, la inteligencia automática y máquinas autónomas. Se van a desafiar los paradigmas antiguos y complejos, incapaces de ser abordados por el ser humano. Pronostica que tendremos mejoras importantes de productividad en logística y que esta tendencia va a continuar o acentuarse por el nuevo impulso en innovación que estamos viviendo.

Cerrando el año 2022, el Instituto de Ingenieros entregó los Premios Anuales que forman parte de su tradición centenaria. Un completo reportaje de las diversas ceremonias de premiación se encuentra en la presente edición de esta Revista.

PLAN DE PUENTES: 2020-2030

*Conferencia del Sr. Jaime Retamal Pinto,
Director Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas.*



Sr. Jaime Retamal.

El día martes 26 de julio 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. Jaime Retamal, Director Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, quien expuso el tema “Plan de Puentes 2020 – 2030”.

Jaime Retamal es Ingeniero Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile, con Diploma en Ingeniería de Transportes y Magister en Ciencias de la Ingeniería de la misma Universidad, en Gestión de Infraestructura.

Posee una amplia trayectoria en el ámbito de gestión de infraestructura pública, desempeñándose por 10 años como Gerente General del Dictuc y apoyando durante 2010 el proceso de reconstrucción tras el sismo del 27F. El 2011 fue nombrado coordinador de Concesiones del MOP y desde octubre de 2018 ejercía como Asesor en la Dirección de Vialidad.

Tras el respectivo concurso de Alta Dirección Pública, en agosto de 2019 fue nombrado Director Nacional de Vialidad, cargo que ejerce hasta la actualidad.

En forma paralela, desarrolla actividades académico-docentes en la Escuela de Ingeniería de la UC, en materias de gestión de contratos y desarrollo de personas.

Sr. Jaime Retamal.

—Mucho gusto Presidenta, saludarla a usted y todas las autoridades del Instituto de Ingenieros de Chile y, por supuesto, a todas las personas que están en la plataforma zoom conectadas, para conocer en qué estamos en el país, en materia de puentes y el trabajo que estamos impulsando en y desde la Dirección Nacional de Vialidad (Figura 1).



Figura 1

Un primer elemento: situar el universo de las estructuras que son parte hoy día de la responsabilidad de esta Dirección Nacional, que depende del Ministerio de Obras Públicas. El catastro más reciente que tenemos en el inventario, nos permite identificar 6.781 estructuras tipo puentes, y vamos a entender por puentes a viaductos, pasos superiores y puentes distribuidos por todo el territorio nacional. Podemos decir que, en los puentes de carácter menor por su longitud de 30 metros están la gran mayoría de estas estructuras con un total de 5.148, por lo que las estructuras superiores a 30 metros son 1.633. De estos 6.781, más de 3.200 puentes tienen algún componente o elemento de madera, y algunos de ellos son muy antiguos, con datas de construcción de hace más de un siglo, operando actualmente en el país (Figura 2).

Podemos apreciar, que hay regiones como Arica y Parinacota donde encontramos muy pocas estructuras, lo mismo pasa en Tarapacá. Sin embargo, en regiones como Los Lagos y, particularmente, en la Araucanía, es donde tenemos una enorme concentración de este tipo de estructuras,

1.917 estructuras identificamos en La Araucanía; también cabe mencionar, que es la red vial de caminos públicos la más grande del país con un total de 86.000 kilómetros aproximadamente, que forman parte de nuestro catastro vial. De nuestro patrimonio vial de camino público, del orden de 12.000 kilómetros se encuentran en la región de La Araucanía y esa mayor proporción se ve reflejada en este número de estructuras tipo puentes (Figura 3).



Figura 2



Figura 3

Ahora, para que nos hagamos una idea también de responsabilidades entregadas a otras organizaciones, o puentes que están dispuestos también en otro tipo de redes de infraestructuras, a esos 6.781 puentes bajo responsabilidad Dirección de Vialidad, se suman otros 564

que están en vías concesionadas y, por lo tanto, dependen de la Dirección General de Concesiones del Ministerio de Obras Públicas. Ustedes pueden apreciar la relación que se produce en materia de cantidad y de despliegue en el territorio, la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, en su infraestructura ferroviaria identifica 330 estructuras tipo puentes (Figura 4).

ORGANISMO	CANTIDAD DE PUENTES
DIRECCIÓN DE VIALIDAD (MOP)	6.781
DIRECCIÓN GENERAL DE CONCESIONES (MOP)	564
EMPRESA DE FERROCARRILES DEL ESTADO	330



Figura 4

En los últimos años, un poco antes del año 2010 incluso antes del terremoto del 27/F, el país se planteó un desafío mirando una década para adelante al 2020, una mirada sobre el tema de los puentes, cómo abordarlo y que desafíos tenemos.

Lo que hicimos los últimos tiempos fue una especie de recuento de lo que fue la década anterior y también planteamos desafíos para el futuro, y es lo que está plasmado en una publicación que acabamos de terminar de editar, que lo pueden apreciar en la lámina de la presentación que es el Plan de Puentes 2020-2030 que hace un recuento del pasado, de la última década en cuanto a los desafíos en torno a la especialidad de puentes y lo que nos parece que es la mirada del futuro hacia el año 2030 (Figura 5).

Bueno, para hacernos una idea del trabajo que estamos haciendo, en el año 2016, comenzamos un trabajo destinado a conocer un poquito más en profundidad, la realidad de nuestras estructuras. Se inicia un estudio de diagnóstico de puentes con la implementación de un sistema de gestión para la conservación y ya comenzamos a tener claridad de que los puentes deben ser abordados no solamente como

elementos solitarios, también es importante tener una mirada de red. Por esto el estudio incorporó una metodología de inspección de puentes que fuera estandarizada y que permitiera, por un lado, conocer los niveles de deterioros de las estructuras, para también clasificarla en función de su condición.

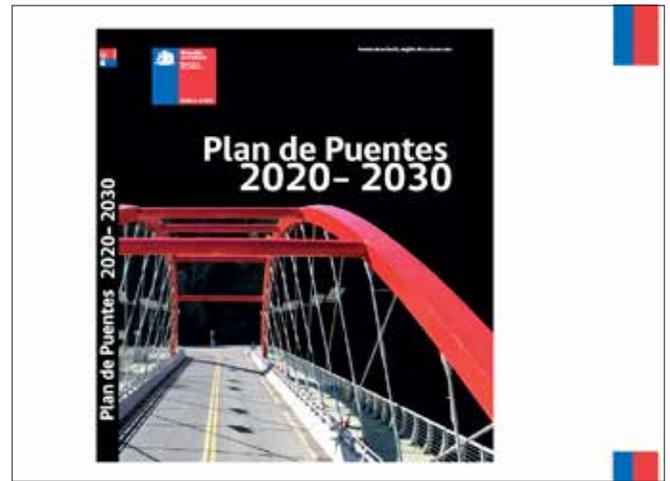


Figura 5

También persigue ese trabajo, generar programas de mantenimiento facilitando por cierto las decisiones de inversión, no son más que una expresión de una decisión de carácter técnico previa a la definición de los recursos para destinar a uno a otro tipo de rehabilitación, en uno u otros puentes. Además, buscó este estudio permitir una evaluación de los puentes más riesgosos.

El primer trabajo que se hizo, se concentró en puentes de longitudes mayores a 30 metros, y que además tuvieran una data de construcción superior de los 10 años, y eso nos llevó a que, de estas 6.781 estructuras abordáramos 1.034 puentes. Estos 1.034 puentes, se analizaron con mucho detalle, y permitió generar información al punto de poder clasificar desde su deterioro, a estas distintas infraestructuras (Figura 6).

Esto fue a la par con un trabajo de auditoría que hizo la Contraloría General de la República, respecto a todos los procesos de puentes; como toda auditoría, siempre permite identificar hallazgos, necesidades, oportunidades de mejoras, que hemos estado tratando de llevar adelante, algunas de ellas orientadas a temas de registro y diseños en la revisión de puentes o en la elaboración de proyectos

de puentes, funciones asociadas a los visitadores que son los que están revisando los registros de construcción, información de inventario, subsanación de puentes críticos, sistema de gestión y conservación de puentes y también, poder abordar permisos de sobre dimensionamiento en el sobre peso, que en último tiempo también han crecido una enormidad, porque también la actividad del país ha crecido en distintos territorios. Antiguamente se ha concentrado exclusivamente en la zona norte del país por la actividad minera que sigue siendo una realidad, sin embargo, en la zona más del centro sur productivo, por ejemplo, de la aparición y el aumento importante de su presencia en territorios de los parques eólicos también ha significado un mayor requerimiento de nuestra infraestructura vial, para poder hacer un traslado de los elementos necesarios para instalar esto que nos permite como país avanzar a una energía mucho más limpia, pero que también se sustenta para su desarrollo y su instalación en nuestra infraestructura vial que también considera a esta estructura tan importante, tan noble como son los puentes (Figura 7).

Hoy en día, tenemos un objetivo como estrategia de puentes, que hemos tratado de frasear de la siguiente forma.

Primero queremos optimizar el ciclo de vida, porque entendemos que los puentes al igual que cualquier elemento de infraestructura, tiene un ciclo de vida, que tiene etapa de planificación; etapa de diseño y construcción; y etapa de operación y mantenimiento. Ese ciclo de vida, lo queremos optimizar desde el punto de vista, no solamente de los recursos, sino que en general, de lo que puede ser la lógica de los costos sociales asociados a la existencia de estructuras tan importantes de conectividad, pero en un contexto también de un salto cualitativo en materia de lo que es la gestión de infraestructura del país, y que es entender, que los puentes son primero un activo, son generadores de riqueza.

Segundo, forman parte de una red vial que hemos calificado de resiliente, que hoy en día el país se desafía a tener una red vial resiliente, que sea capaz ante de amenazas, y ante la ocurrencia de eventos que pongan en dificultad nuestra conectividad, que tenga la capacidad de recuperarse rápidamente, y poder seguir ofreciendo en materia de conectividad su funcionalidad básica, pero también de manera segura y confiable. Por lo tanto, los puentes entran en esta lógica y hoy hablamos de una estrategia que persigue los puentes como un activo de una red vial resiliente (Figura 8).

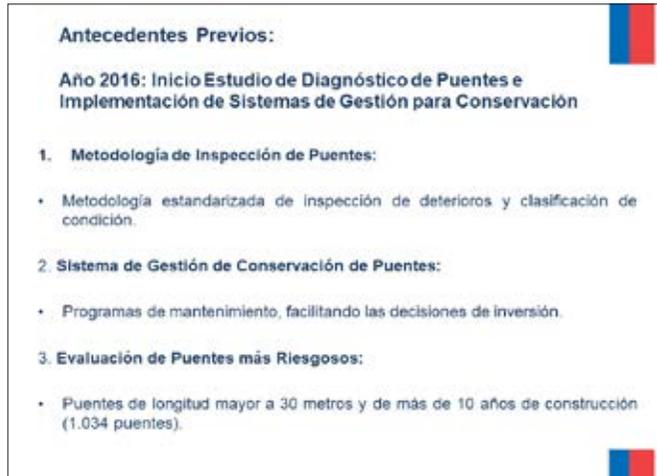


Figura 6

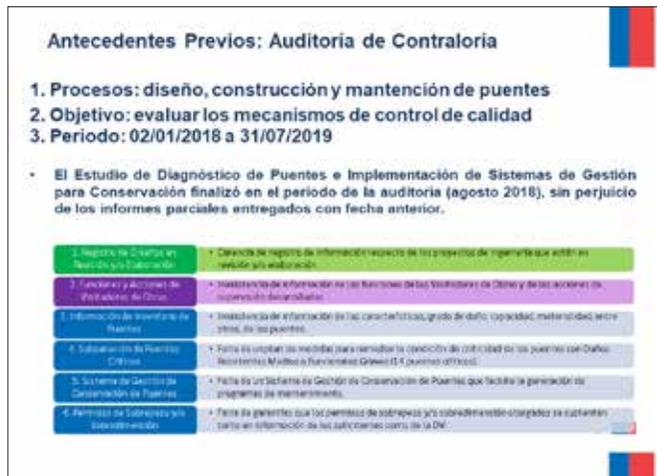


Figura 7

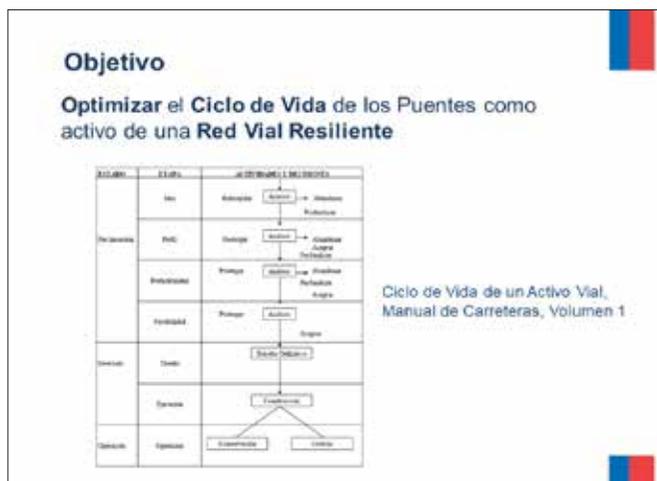


Figura 8

El organigrama de la Dirección de Vialidad, en cada uno de estos elementos que tenemos identificado con rojo, hay alguna actividad vinculada a la gestión de los puentes; por lo tanto, requiere que este trabajo, no sea solamente un trabajo de voluntad, o procedimientos solamente, desde el punto de vista de cada una de las cajitas que se observan. También requiere un trabajo de articulación que es muy importante y en lo que está hoy día nuestra Jefatura de Proyectos del Plan de Puentes, que es permitir que todos los actores que tienen vinculación con la correcta, sana, confiable y segura provisión de estas estructuras, estén operando debidamente, de manera coordinada y que al mismo tiempo nos permitan más que ver un puente en particular, administrar esta red de puentes para el funcionamiento de esta red vial resiliente (Figura 9).



Figura 9

Ahora estamos haciendo un trabajo muy importante para identificar dónde están los puntos más críticos. Si bien nos importan las 6.781 estructuras por una razón de seguridad, también debemos tener una cierta lógica de resiliencia. La resiliencia tiene básicamente tres elementos importantes, son: la robustez, o sea, ante cierta amenaza, la infraestructura sea capaz de “aguantar esa ocurrencia de un simple evento”, pero, por otro lado, también la resiliencia en caso de que alguno falle, exista, por ejemplo, una vía de alternativa para que la conectividad no se pierda. Uno de los desafíos importantes cuando uno quiere identificar estos 86.000 kilómetros de caminos, no solamente es cuantificarlos, contarlos, también es saber dónde están, cómo se distribuyen. Hoy día tenemos reconocido un Sistema de

Información Geográfico, pero para hacer gestión hay que hacer focalización.

A partir de esta Red Oficial Única, tenemos una Red Vial Estructurante, que es la que nos permite conectar a gran parte del territorio, pero también, a la mayor cantidad de la población del país y, dentro de ella, identificamos una Red Vial Crítica, que son los arcos más críticos, y que son aquellos debemos mantener conectados permanentemente, y sobre los cuales hacemos este esfuerzo especial de conectividad, no solamente en materia de puentes, sino que todo tipo de elementos de infraestructura (Figura 10).



Figura 10

Para poder saber cómo está funcionando la infraestructura de los puentes en particular, es muy importante poder contar con mecanismos de monitoreo, y por esa razón, a partir del año 2018, se inició la implementación de una metodología para contar con un sistema de gestión de puentes que permitiera saber la condición en que cada uno de estos puentes se encuentra (Figura 11).

Hoy día, nuestro mecanismo de clasificación es un indicador que se construye a partir de muchos más elementos que se observan en una estructura, que nos permite clasificar estas cinco categorías (Figura 12).

Las categorías, al calificarse, también generan ciertas acciones, que son las que nos permiten hablar de un sistema de gestión de mantenimiento de infraestructuras de puentes.

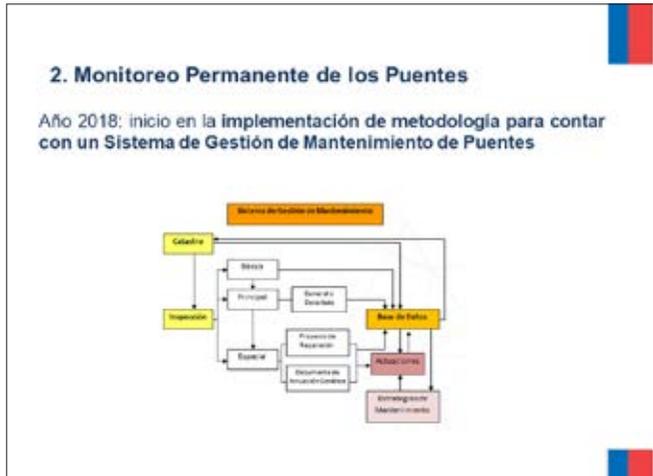


Figura 11

Diagnóstico actualizado

Calificación	Periodicidad de Inspecciones	Tipo de Inspección
80 – 100	Cada Tres (3) años	Básica
60 – 79	Cada Dos (2) años	Básica
40 – 59	Cada Un (1) año	Principal
20 – 39	Cada Tres (3) Meses	Principal
0 – 19	Acciones concretas inmediatas	No Aplica

Figura 12

Actuaciones

Calificación	Descripción	Plazo Máximo Esperado de Actuación
80 – 100	Estructura con daños de carácter durable o funcional leve.	No requiere.
60 – 79	Estructura con daños de carácter durable o funcional medios.	Cinco (5) años.
40 – 59	Estructura con daños de carácter resistente leves o de carácter durable o funcional extendidos.	Dos (2) años.
20 – 39	Estructura con daños de carácter funcional graves.	Un (1) año.
0 – 19	Estructura colapsada o con daños de carácter resistentes muy graves.	Inmediata.

Figura 13

En resumen, lo que quiero mencionar es que hoy en día podemos clasificar las estructuras y a partir de ellas también gatillar o generar acciones de mantenimientos generando, por un lado, focos de atención desde el punto de vista de los cuidados, de las precauciones y de las inversiones. Y, por otro lado, también hacer gestiones para saber qué puentes pueden esperar con respecto de otros, en función de su condición estructural y condición funcional (Figura 13).

Nosotros como país, no solo tenemos una red vial, sino que tenemos un patrimonio nacional, distribuido a lo largo y ancho de todo el territorio. Ese patrimonio, forma parte de lo que hoy día las normas internacionales nos invitan y de alguna forma nos exigen tener. Chile ha adherido a una serie de acuerdos internacionales, que debemos mirar y conocer con una mirada contable, las Normas Internacionales de Contabilidad en el Sector Público (NICSP) son parte nuestra y que hoy en día estamos cuantificando, en lo que, en materia de patrimonio vial, es lo que tenemos desplegado por el país. Por lo tanto, los puentes, los túneles, los caminos, la señalización, los terraplenes, las obras de saneamiento tienen una valorización y esa valorización nos permite saber cuál es el patrimonio vial que tenemos.

Sin embargo, tenemos otro desafío importante y es que ese patrimonio tiene que ser cuidado, mantenido y por cierto también aumentado, ¿por qué? Porque la calidad de la infraestructura, que se traduce en números, en realidad no es solamente en número o una cantidad de inversión, sino que es calidad de movilidad para las personas de nuestro país.

Y en materia de los puentes, estamos haciendo un esfuerzo importante en materia de inversión, ya que estamos en un plan de renovación de todos los puentes menores a 30 metros, que tienen algún elemento de madera, por lo tanto, puede ser por diseño o por condición, que tengan alguna restricción de carga.

A través de la modalidad de conservación periódica y de nuestra propia administración, para los que no saben, la Dirección de Vialidad, administra su quehacer a través de contratos, licita y contrata con empresas que ejecutan las obras, pero también ponen una capacidad propia, que conocemos o llamamos una Administración Directa, y que nos permite atender actividades de conservación en el territorio nacional, en temas de camino y en algunas regiones también lo hacemos en materia de puentes de

distintas dimensiones, pero la mayoría de nuestra capacidad actual está desplegada para puentes menores.

Y por eso decimos que nuestra red vial, tiene más de 3.200 puentes con al menos algún componente de madera, estamos interesados de que, en un plazo de 10 años, de los cual llevamos 3, podamos hacer una renovación de todas estas estructuras, de tal manera de no solamente recuperar una durabilidad, ofrecer al país una durabilidad, sino también mejorar las condiciones estructurales de los mismos de manera de no seguir generando restricciones a la circulación de vehículos de mayor peso (Figura 14).



Figura 14

Otro desafío que tenemos para adelante, son nuestros puentes de la ruta 7, la que ya tiene muchos años y que, en sus inicios en los años 80, era una senda de penetración, una idea de poder ampliar en términos reales el territorio y poder adentrarse en este mundo tan austral, tan lejano, tan ajeno. Con el tiempo, se han ido consolidando estas estructuras tremendamente nobles, y tremendamente vanguardista para la época, como puede ser el puente Yelcho en la provincia de Palena en la región de Los Lagos, y los puentes Senadores Sepúlveda y González en la región de Aysén. Estos fueron diseñados en los años 80 para 32 toneladas, que era una capacidad muy grande para esa época, donde era prácticamente impensado un nivel importante de flujo vehicular y de carga, pero están totalmente consolidadas estas rutas y, por lo tanto, el desafío nuestro es que estas mismas estructuras puedan pasar de las 32 toneladas a diseños de 45 toneladas como

es nuestra normativa actual, en materia de peso máximo para circular por la vía del país.

Por lo tanto, ahí tenemos otro desafío importante que es un trabajo que ya se está llevando adelante en unos casos por la vía en el estudio de la conservación, para poder mejorar eventualmente y reforzar puentes como en el caso del puente Yelcho. El Puente Yelcho es un puente atirantado y existen otros dos que están en Aysén, Senador Sepúlveda y Senador González que son puentes colgantes, en los cuales ya estamos avanzados en los estudios para su reemplazo (Figura 15).

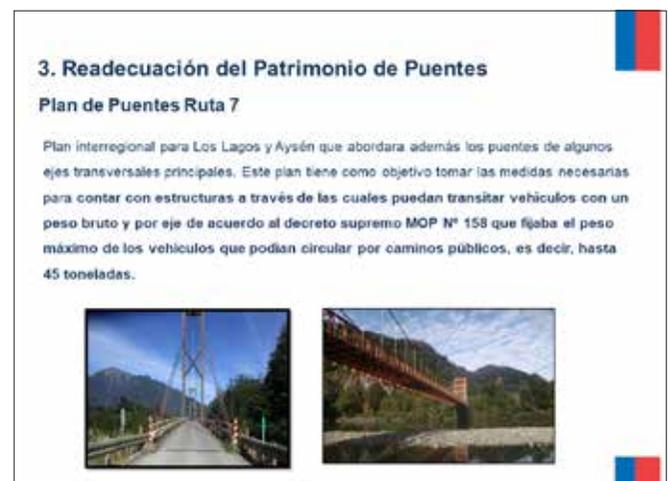


Figura 15

Otro desafío que tenemos, es que la exigencia de conectividad del país ha aumentado. Por lo tanto, ante una emergencia ya no podemos decir que vamos a esperar varios años para poder recuperar esta infraestructura, sino que tenemos que actuar de manera rápida y aparece nuestra necesidad de disponer de puentes de emergencia, puentes mecano. Estamos desde el año 2020, tratando de aumentar nuestro stock y hoy día como país tenemos un stock de puentes, que están distribuidos en distintas provincias o regiones del país, sin embargo, tenemos un stock a nivel nacional que nos permite atender esas emergencias, tenemos asociados este aumento de stock de puentes mecanos un programa de construcción de puentes definitivos para recuperar puentes de emergencias. Cuando nosotros desplegamos un puente mecano, la idea es poder recuperarlo para poder abordar otras emergencias, somos un país que estamos permanentemente sometidos a situaciones de emergencia y de stress producto de eventos de la naturaleza, y por eso

es tan importante que avance una red de resilientes, pero para eso está la lógica de la recuperación, de la rapidez de la recuperación, disponer de un stock de puentes de emergencias muy importantes, pero no podemos volver los puentes de emergencia en puentes definitivos porque nos quedamos sin estructuras para poder atender una nueva emergencia (Figura 16).



Figura 16

Otra tarea en la que nos hemos embarcado en los últimos tiempos, es intentar modernizarnos funcionalmente en materia de puentes; la Dirección de Vialidad está intentado llevar a delante y quiere seguir potenciando a sus Direcciones Regionales en torno a la especialidad de puentes. En los últimos tiempos se han podido incorporar profesionales en los equipos regionales y la idea es seguir adelante en esta lógica de descentralización de procesos administrativo ampliando, por ejemplo, las atribuciones regionales que tenemos hoy día para la revisión y aprobación de proyectos de puentes y seguirá potenciando las competencias técnicas de nuestros funcionarios a través de capacitaciones.

No hay tantos calculistas disponibles para trabajar en el mundo público, primero no hay tantos calculistas en el país y, segundo, nos cuesta ser atractivos para efectos laborales. Como Ministerio, vemos que en algunas regiones nos cuesta mucho poder encontrar profesionales con cierto nivel de formación y también de experiencia, para poder llenar ciertos espacios que hemos ido generando. Gracias a Dios, hemos podido en casi todas la regiones,

ampliar nuestra capacidad de especialistas y eso nos ha permitido ir entregando de a poco atribuciones mayores a determinadas regiones, de tal manera de descentralizar y con eso facilitar los procesos de revisión de estructuras, porque a los 6.781 puentes, y con una sociedad cada día más exigentes, tenemos que llegar de mejor manera en términos técnicos, pero también en términos de oportunidad, de manera más veloz y eso no se puede hacer si no tenemos más equipos de personas competentes distribuidas a lo largo y ancho del territorio (Figura 17).

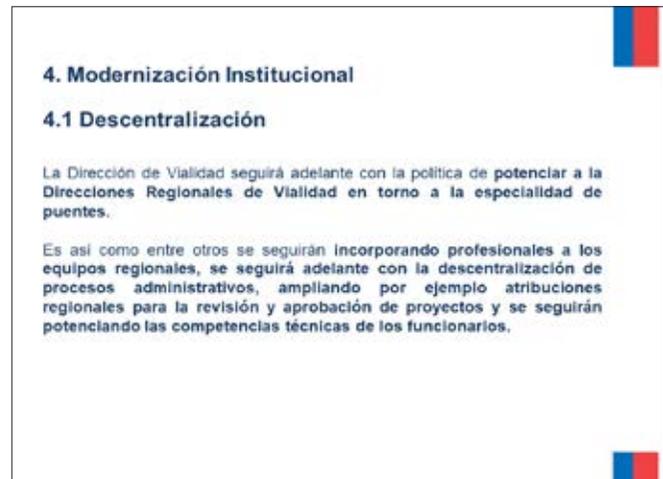


Figura 17

También tenemos espacio para la innovación de diseños, para lo que ha sido nuestra historia como Dirección de Vialidad y podemos identificar varios proyectos bastante emblemáticos, que lo hemos abordados con diseños distintos a lo que pueden ser nuestras estructuras tradicionales; podemos ver proyectos en la Región Antofagasta, proyectos en la Región del Maule, en la Región de la Araucanía, como los tipos de estructuras que estamos compartiendo con ustedes (Figuras 18 y 19).

Hay algunos puentes singulares que están en proceso de renovación y que fueron muy innovadores en su momento. Como el puente Yelcho en Palena en la Región de Los Lagos. Justamente fueron estos dos puentes colgantes que se diseñaron para 32 toneladas en la Ruta 7, y que son los que están hoy en día en proceso de reemplazo, por otro tipo de estructura que permitan la circulación con 45 toneladas (Figuras 20 y 21).



Figura 18



Figura 21



Figura 19



Figura 20

Y este otro proyecto gigantesco que estamos llevando adelante como país, que es el puente sobre el Canal de Chacao con estructura de puente colgante multivano, que en total suman del orden de los 2,7 kilómetros, siendo la idea, unir el continente en la isla Grande de Chiloé en la región de Los Lagos (Figura 22).



Figura 22

Hemos tenido otros desafíos, que ya no son solamente los requerimientos que pueden surgir, por ejemplo, de las características de los vehículos, sino los que la naturaleza nos impone. Esa naturaleza que siempre ha sido exigente con Chile, con los chilenos y su gente, pero particularmente ha sido exigente con nuestra infraestructura. Sin embargo, lo que hasta hace 2,3,4,5 años atrás, eran nuestras

miradas tendenciales del comportamiento de la naturaleza, ya no es suficiente y la lógica del cambio climático que entendemos, no es una crisis, sino que es un cambio. Sus exigencias, que llegaron para quedarse, nos han obligado también a buscar nuevas formas desde el punto de vista de la planificación, del diseño y construcción para abordar nuestras estructuras.

Por eso hablamos de 3 ejes: adaptación, mitigación y gestión frente al cambio climático, tanto a nivel regional como a nivel nacional (Figura 23).



Figura 23

Hemos estado haciendo las adecuaciones, dentro de lo que es nuestro gran orientador en materia de ingeniería que es nuestro Manual de Carreteras, tanto en el Volumen 2, que incluye los estudios hidrológicos, como en el Volumen 3, en la lógica de los diseños hidráulicos y el Volumen 9, con el ánimo de empezar a incorporar infraestructuras con un cierto índice de calificación de sustentabilidad, porque sabemos que el futuro ya está acá en materia del medio ambiente y de vinculación con las personas también.

Y por eso queremos trabajar en la lógica, no solamente, por ejemplo, de nuestra infraestructura de identificación de daños, y, por lo tanto, generar acciones de conservación o de reforzamiento, sino también, poder saber si nuestra infraestructura está aportando o no, a una vía más sustentable en el planeta y en nuestra calidad de país y de convivencia entre nosotros y con esta casa de todos (Figura 24).

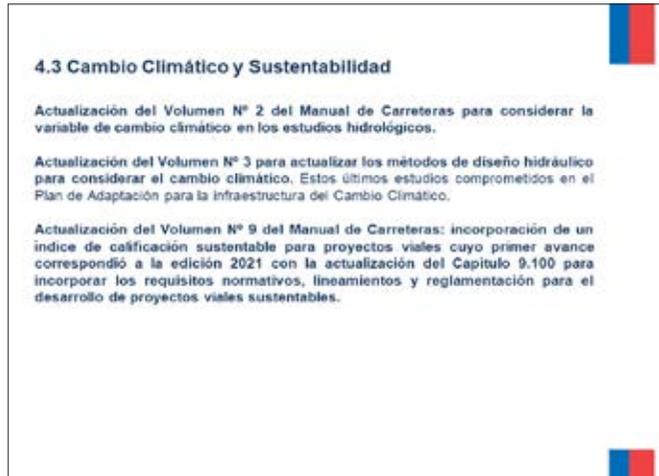


Figura 24

Hemos estado llevando adelante, algunos proyectos que, si bien no son grandes, son iniciales, son precursores, como la tercera etapa del proyecto del Puente Bicentenario. El Puente Bicentenario, que es una estructura que cruza el río Biobío y que une San Pedro de la Paz con Concepción, frente al eje de calle Chacabuco en Concepción. Esta infraestructura, que hemos calificado de sustentable, intentamos que contribuya a la disminución de consumo de energía, mejorando la biodiversidad, la ecología urbana, y reduciendo la contaminación urbana, por lo tanto, el diseño de esta tercera etapa, que se está iniciando, tiene todas estas consideraciones en su llamado a su licitación (Figura 25).



Figura 25

Sabemos que nosotros no somos los únicos actores que estamos interesados en estas estructuras. Tenemos una responsabilidad pública ante la comunidad, sin embargo, nos tenemos que nutrir del desarrollo que está ocurriendo en el mundo de la academia tanto en Chile, como en el extranjero. Y por eso buscamos con quien vincularnos; hoy tenemos apoyos muy importantes desde JICA Japón como también desde la Federal Highway en Estados Unidos y con ellos estamos haciendo muchos aprendizajes. Lo interesante de esto, es no solamente recibir conocimientos, sino que compartir, eso sin duda enriquece la capacidad del mundo en materia de infraestructura y de puentes particular, sino que también enriquece la nuestra, de tal manera de poder ofertar y proveer infraestructuras cada días más segura y más confiable a nuestra gente.

La certeza no existe, nosotros por nuestra formación estamos más que orientados en buscar certeza, a tratar de administrar incertidumbre. Nuestro trabajo consiste en intentar identificar cuáles son los elementos que pueden ser los precursores de una dificultad, de un daño, de una pérdida generada en un accidente, de tal manera de intentar generar mecanismos de control, eso lo que buscamos; por eso lo importante es también que aprendamos de experiencias que sean de otra latitud, que además de que tienen por un lado muchos avances desde el punto de vista de conocimientos y de tecnología, también tienen redes viales importantes y grandes, de las cuales tienen que hacerse cargo. Nuestro territorio es muy grande, nuestro territorio es muy diverso en términos geográficos, nuestro territorio es muy complejo desde el punto geológico, y tenemos una sociedad que ha ido creciendo, producto del mismo desarrollo social, volviéndose cada día más exigente y por eso tenemos que estar a la altura o intentar ir en esa expectativa ciudadana, en nuestra infraestructura general y de puentes en particular (Figura 26).

Hemos podido tener vinculación con otras organizaciones, como la Asociación Mundial de Carreteras, la Asociación Chilena de Carreteras y Transportes y el Comité Técnico de Puentes, y otras organizaciones internacionales, y por eso estamos tan interesados, en mantener nuestra participación en congresos internacionales, algunos que lideramos aquí desde Chile, con patrocinio de la Dirección de Vialidad y con la participación de otros agentes académicos (Figura 27).



Figura 26



Figura 27

Esta invitación que hemos recibido para poder trabajar y presentar en lo que hoy día estamos, nos lleva a intentar aumentar nuestros vínculos con el mismo Instituto de Ingenieros; que lo podamos transformar en un acompañamiento más permanentes, porque no nos cabe la menor duda, que una vinculación con el Instituto de Ingenieros, puede ser tremendamente valiosa para nuestro quehacer, y particularmente para lo que se viene ahora, que el año 2024, cuando esperamos realizar el Cuarto Congreso Internacional de Puentes y esperamos contar con el apoyo del Instituto, más allá de lo formal, por la riqueza de conocimientos y de experiencia que se viven al interior del mismo (Figura 28).



Figura 28

Nuestra vinculación con el medio también incluye al mundo académico, tenemos convenios con muchas universidades y con ellas buscamos distintos niveles de actividad, que van desde prácticas hasta investigaciones de post grado y colaboración en proyectos que son obviamente de interés mutuo, que sirven de formación, de investigación, de publicación, pero sobre todo que sirve a las chilenas y chilenos, porque nos permite entregar una mejor infraestructura y por eso nos encanta participar, patrocinar y aportar con horas de especialistas, y con este laboratorio gigantesco que es nuestra red vial de caminos públicos, para poder aumentar nuestro conocimiento del país (Figura 29).



Figura 29

En esa misma lógica, queremos ofrecer para nuestro quehacer y también para el mundo académico y de investigación, nuestra infraestructura de monitoreo. Hoy día contamos con distintos equipos propios para las inspecciones, tenemos un camión de inspección, que nos permite observar el puente desde distintas partes de este, incluso cuando muchas veces es difícil de acceder para conocer su condición.

Estamos trabajando desde el año 2019, con drones, estamos trabajando y hemos avanzado mucho en la implementación del BIM en nuestro diseño, de tal manera que, desde el comienzo, desde la idea del diseño podamos ir generando información que nos permita posteriormente no solamente hacer una construcción eficiente, sino que también un mantenimiento eficaz (Figura 30 y 31).



Figura 30



Figura 31

Monitoreamos nuestros puentes mediante nuestra instrumentación, de manera remota para poder ir generando información que nos sirva, por un lado, para el mantenimiento, y poder saber el desempeño de la estructura en el futuro y ese es el trabajo que estamos haciendo hoy día (Figura 32).



Figura 32

Ya vivimos una experiencia muy interesante, de un prototipo que nos permitió buscar de distintas maneras, y abrirnos a distintas formas de monitorear las estructuras, y eso hicimos, un aprendizaje muy importante no solamente como Ministerio, sino como país, y es el que hoy día estamos intentando escalar (Figura 33).



Figura 33

Por ejemplo, el mismo puente Bicentenario que les mencionaba antes, que tenía una lógica de sustentabilidad, tiene una lógica de monitoreo basado en instrumentación que ya viene incorporada en su diseño (Figura 34).



Figura 34

Lo mismo estamos haciendo con otra estructura que fue muy dañada durante el terremoto del 27 de febrero del año 2010, el Puente Juan Pablo II en la región del Biobío. Hoy opera con cierta dificultad, ya que lo tenemos restringido a vehículos livianos; estamos en un proceso de estudio para poder mejorar esa infraestructura, poder devolver en algún momento su capacidad estructural y su capacidad funcional para permitir el paso de vehículos más pesados, pero estamos monitoreando, incorporando pesajes de movimientos de tal manera obtener dos cosas: Primero, poder utilizar de mejor manera el puente, pero por otro lado, queremos cruzar esta información de peso, con información de desempeño, de tal manera que nos sirva una experiencia, por un lado, permita la seguridad de las personas en su traslado, pero sobre todo el aprendizaje y poder mejorar nuestros diseños para el futuro (Figura 35).

En general lo que tenemos en la Dirección de Vialidad, es una búsqueda permanente de mejorar nuestro quehacer. Nosotros vivimos del Estado en la práctica, traducimos nuestro quehacer por encargo, sí, el encargo que hacemos por la vía de licitación, que cuentan con bases de licitación, y tienen que ser cosas que estén probadas.



Figura 35

Sin embargo, sabemos que la tecnología avanza y la ingeniería avanza a una gran velocidad, y como Ministerio sentimos que tenemos obligación de seguir ese avance. Y lo que hemos planteado es un desafío, ya que queremos estar cerca del estado del arte y que nuestro estado de la práctica no se aleje tanto del estado el arte, y por eso son tan importantes estos espacio de vinculación, pero también de desafiarnos desde el punto de vista de una mejor ingeniería, con una ingeniería que sea, no quiero decir de vanguardia porque la vanguardia está en el estado del arte, pero que sí nos permita estar cerca del estado del arte de tal manera de hacer nuestras modificaciones y nuestros mejoramientos, para adaptarlos a nuestro país, no solamente de la lógica del patrimonio vial, con una contabilidad, sino que también del patrimonio vial como el gran elemento que sustenta literalmente, nuestro que-hacer cotidiano y la construcción de nuestros proyectos personales, familiares y nacionales (Figura 36).

Y por último tenemos grandes desafíos, los lugares de baja población que en la lógica tradicional de la elaboración de proyectos nunca los han atendido, porque la población que había allí era tan baja que en realidad “no valía la pena hacer inversión pública”. Hoy día estamos en otro país y la conexión de los lugares de baja población, también es un desafío que debemos abordar, con tecnología, con ingeniería, de manera eficiente desde el punto de vista del uso de recursos públicos.

Por otro lado, tenemos otro gran tema, que es agilizar la implementación de soluciones para conectividad de zona que están en potencial de riesgo, empleando puentes transitorios, y eventualmente puentes definitivos, de estructuras que sean “más livianas” desde el punto administrativo para poder estar disponibles en el territorio (Figura 37).



Figura 36

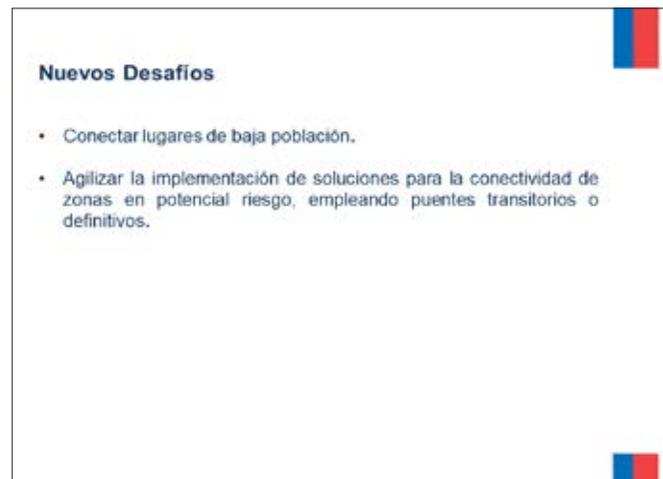


Figura 37

Muchas gracias.

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

Sra. Jadille Mussa.

—*¿Cómo se funde la funcionalidad con el diseño, para darle a la zona características desde el paisaje, ya que estos también podrían servir como elementos para contemplar y visualizar los territorios, como miradores para darles a las comunidades una bajada turística?*

Sr. Jaime Retamal.

—Tenemos como Dirección de Vialidad y como ocurre con todas las organizaciones públicas, un desafío permanente, que es intentar acercarnos a las expectativas ciudadanas. Las miradas no son solamente de costo directo, sino que en otros factores como la disminución de tiempo de viaje. Yo me acuerdo cuando estudiaba estas cosas, era hartito más joven, el viaje era una demanda derivada, porque nadie viajaba por viajar.

Probablemente si uno conversa con las personas más jóvenes, y algunas no tan jóvenes, y sobre todo los operadores turísticos, les van a decir que el acto de viajar es un valor en sí mismo, y lo que antes era una conexión entre dos puntos, hoy se complejiza, ya hablamos de experiencias de viaje, tenemos una diversidad de conceptos, que vuelven el acto de viajar una cosa más compleja y más desafiante de lo que era antes.

Antes, la lógica del viaje era que fuera rápido y seguro, rápido y seguro son dos conceptos o dos valores que son contradictorios, mientras no tengamos la teletransportación es contradictorio, sin embargo, tenemos interés porque nuestra infraestructura sea lo más amigable posible, en lo práctico con el medio Ambiente, pero que también tenga esta lógica, por ejemplo, de belleza escénica.

Hoy como Dirección de Vialidad, tenemos una normativa, que permite declarar rutas escénicas. Esa declaración de rutas de escénicas tiene todo un procedimiento, que además está en nuestra legislación. Estamos actualizando nuestra reglamentación en materia de rutas escénicas, y eso da cuenta de que hoy día las infraestructuras, la disponibilidad de los caminos, son actores importantes en lo que puedan ser experiencias de viajes de las personas y de las familias, y también de lo que puede ser, un atractivo turístico para un determinado territorio, no solamente urbano.

Efectivamente los puentes, pueden ser protagonistas de esa belleza escénica. Nuestro diseño desde el punto de vista práctico está más bien orientado a la funcionalidad y la capacidad estructural que a la belleza escénica, como un objetivo o un desafío; tenemos estructuras, que, desde el punto de vista funcional y estructural, tienen formato o diseño distinto a lo que puede ser simplemente, fundación, cepa, viga, tablero, todo diferenciado y en esa lógica se genera un cierto espacio para un diseño arquitectónico, de mayor complejidad. Nuestro país, sigue en la lógica de la conectividad práctica, más que de una conectividad orientada que puede ser el despliegue de un hito arquitectónico en algún lugar del territorio.

Ahora, mientras más grande el espacio que hay que salvar, más desafiante es la infraestructura que tenemos que disponer, y lo más técnico práctico desde el punto de vista de nuestros paradigmas de belleza, más bonito, termina siendo el puente en una lógica de paisaje.

Sr. Ricardo Nicolau del Roure.

—*Yo participé en el proyecto del puente Llacolen hace más de 20 años y el ingeniero que nos asesoraba que en realidad era la empresa Internacional de don Javier Manterola, me dijo, ¿por qué no hacen los puentes más estéticos ustedes? aquí el cruce del Biobío permitiría una obra que fuera muy estética, y lo conversé con el Director del Departamento de Puentes en esa oportunidad y me dijo no, porque cualquier cosa que cueste más de lo que debe costar, no se financia. Hacerlo más estético puede costar un 3 o 4 % más del costo de un puente como este, y es una obra que va a durar 50, 100 años, entonces la pregunta es ¿Qué está haciendo Vialidad en ese sentido?, porque le comento que el nuevo puente ferroviario del Biobío, que reemplaza un puente existente que tiene más de 130 años, un puente metálico construido en el año 1880 y tanto, Ferrocarriles pidió, que tuviese una cierta prestancia estética, y estuvo dispuesto a gastar más de lo que costaba el puente, solamente el puente ferroviario, para que ese fuera un aporte a la ciudad de Concepción, por eso te pregunto ¿Qué está haciendo en ese sentido la Dirección de Vialidad?*

Sr. Jaime Retamal.

—Ferrocarriles es una empresa, como empresa que tiene cierto patrimonio, su directorio, y su gerente general, tienen ciertas facultades, para poder definir cómo, y de qué forma hacer sus inversiones. Nosotros estamos imposibilitados de eso, porque entramos en el Sistema de Nacional de Inversiones y al final es el que determina definiendo, si un proyecto es atendible o no, a priori va a decir que, si es más caro, aunque sea un 4% no lo va a financiar, pero eso no tiene que aminorarnos. Planteaba que así como tenemos conversaciones y espacio de trabajo conjunto con universidades, con sus escuelas de ingeniería básicamente, porque no nos atrevemos por ahora a invitar un par de escuelas de arquitecturas, que tomen nuestra infraestructura, y que también puedan trabajar con sus propios alumnos, con sus alumnos de post grado, que ya sean alumnos que trabajan en temas de arquitectura de obras propiamente tal o aquellos que trabajan en el mundo del urbanismo, que nos puedan ayudar y en una de esas, terminamos encontrando algo que sea ese 4% más caro, pero a lo mejor nos dan la sorpresa, que ni si quiera termina siendo más caro, porque presentamos un proyecto distinto.

Algunos de los proyectos que hemos presentado, tienen una cierta belleza arquitectónica, pero me tomo de su idea, y ante la respuesta, me siento en la obligación de hacer algo, y ese algo que vamos hacer es que me comprometo con ustedes a iniciar conversaciones con un par de facultades de arquitectura y un par de universidades chilenas, para ver si podemos conversar y poder dotar de este atributo adicional.

Atributos que los chilenos valoramos, nuestra gran dificultad de inversiones públicas es que los chilenos y las chilenas valoramos más cosas que las que están identificadas y cualificadas en la evaluación de proyectos que hace nuestro ministerio. Nosotros nos quedamos pegados en las mitologías de los años 90 del siglo XX como país y el desarrollo que hemos alcanzado, miramos las cosas de otra forma, esperamos otras cosas, esas cosas las valoramos y sin embargo, no son parte de hoy día de esta valorización social que hace en términos metodológicos nuestro sistema nacional de inversiones.

Sr. José Vargas.

—*¿En qué fase está la actualización de los manuales de diseños hidráulico e hidrológico?, mirando el tema de cambio climático.*

Sr. Jaime Retamal.

—Estamos en permanente desarrollo de nuevas publicaciones, nosotros ya no lo hacemos como antiguamente, que tiene que ver con la realidad del país de otro tiempo, que de vez en cuando se hacía una actualización, hoy tenemos equipos dedicados permanentemente a actualizar el Manual de Carreteras, todos los semestres sacamos alguna actualización del Manual.

Sr. Sergio Herrera.

—*¿El sistema de supervisión de puentes, está implementado con tecnología de automatización de medida remota?*

Sr. Jaime Retamal.

—Tenemos puentes que estamos monitoreando de esa forma, sin embargo, nuestra lógica de gestión de infraestructura es poder caminar para allá, ojalá que nuestros puentes ya vengan con la instrumentación instalada y lo otro que estamos haciendo, es que ya tenemos en ciertos indicadores de clasificación basado en inspección visuales. Bueno, el desafío que tenemos ahora es que ya no haya solamente un tema de inspección visual, sino que también de desempeño y comportamiento.

Nosotros estamos empeñados, en que los monitoreos no sean vistos como un estudio, sino que sean visto como parte natural de la conservación y con los recursos destinados a la inversión.

Sin embargo, los monitoreos, siempre los tenemos que hacer con estudios, con estudios especiales, pero para nosotros es muy importante que el monitoreo sea permanente, ese trabajo lo hicimos, y ha sido muy complejo, porque en general la administración de todas las cosas que son nuevas, las mira con distancia, pero ese paso ya lo dimos.

En lo que estamos hoy día, es tratar de conseguir que para presupuestos a futuro podamos ya no solamente contratar servicios de monitoreos para 1,2,3,13 puentes como estamos haciendo ahora, sino que ya poder escalar, a unidades o centenas de puentes para poder hacer ese seguimiento, y para esto es muy importante, el seguimiento lo hagamos focalizado a 6.781 estructuras. Va a hacer muy difícil que las podamos monitorear todas en una lógica de monitoreo permanente en un plazo breve, es muy importante saber dónde y vamos a ir a concentrar ese esfuerzo de monitoreo. Y para eso el trabajo de la evaluación de los 6.781 puentes, que partió en el 2016 y que ya tenemos resultados en el 2018, y que, a estas fechas, tenemos todos los puentes identificados y podremos decir dónde vamos a hacer esas inversiones de monitoreo permanente.

Queremos escalar a las centenas, y por eso la identificación y medición de la condición de las 6.781 estructuras, que es la que nos está ayudando a decidir donde tenemos que partir el proceso de monitoreo en forma remota y permanente.

Sr. Ricardo Picón.

—Entiendo la magnitud de la evaluación de las súper estructuras de los puentes, pero hay que agregar la vigilancia de la hidráulica de los ríos, pues ellos son los mayores responsables para la bajada de los puentes, ¿hay instrumentación para evaluar el comportamiento caudal y posibles socavaciones de los puentes?

Sr. Jaime Retamal.

—Efectivamente es una cosa que todos podemos observar en seco y otra cosa es todo lo que está pasando debajo del agua, tenemos varios desafíos y por eso aparece nuestra mirada por ejemplo en los puentes colgantes, porque ya no nos queremos seguir apoyando en los ríos, porque justamente el cambio climático genera en ellos un comportamiento que es distinto a lo que hemos conocidos, antes del cambio climático también ya la socavación era un tema.

Hemos estado trabajando en identificar aquellos puentes que en su observación inicial nos dicen que están con algún problema de socavación, y ya hicimos un trabajo con el Instituto Nacional de Hidráulica (INH), justamente destinado a estudiar la condición de ciertas estructuras,

pero además estamos empeñados en poder obtener algunos temas de modelación tanto físico, con canales en el mismo laboratorio del INH y también con modelación matemática, para poder tratar de estudiar de la mejor manera la condición de socavación de nuestra estructura. Efectivamente es un tema que está pendiente y es parte del lineamiento de desafíos del futuro. Nuestro principal aliado es el Instituto Nacional de Hidráulica.

Sr. Dante Bacigalupo.

—Le preocupa la relación entre los puentes de las obras concesionadas y los puentes bajo la tuición de la Dirección de Vialidad.

Sr. Jaime Retamal.

—Todos los diseños de puentes pasan por acá, todos los mejoramientos estructurales mayores, también los puentes de Vialidad, de Concesiones, de los municipios, del Serviu, todos pasan por acá, tenemos la obligación de estar atentos a todas estas estructuras. Desde el punto de vista de la operación y mantención, nuestro universo de 6.781 estructuras v/s 500, en los puentes que les mencione que tenía la Dirección General de Concesiones. Ahora, cuando hay un problema en algún puente o en alguna estructura, normalmente estamos comunicados y conectados, tanto con nuestro equipo técnico, como muchas veces también para poder salvar situaciones de emergencia.

Este verano tuvimos un problema, en algún lugar a la altura de Calera donde un vehículo sobre dimensionado sin autorización golpeo una viga, y se produjo una desestabilización importante del paso superior, todo lo que se hizo para soportar, afirmar y cuidar el funcionamiento de la misma ruta 5, y de este cruce, lo hizo el área de emergencia de la Dirección de Vialidad.

Lo mismo pasó a la altura de San Javier, en la zona centro sur de nuestro país, ahí las torretas, el mecano, en el caso particular del Maule fue solo de torreta, en el caso específico de la Calera, fue la torreta, los mecanos y los terraplenes, los abordamos como Vialidad.

Tenemos una lógica de hacer diseños, y tenemos una lógica de operación y mantención. Todos los diseños pasan por aquí, lo cual es un tremendo desafío, porque tenemos

pocos ingenieros, para efectos reales y prácticos nos damos cuenta que no hay tantos ingenieros disponibles para nuestra realidad del país, y de ese universo que ya es pequeño, tenemos poquitos ingenieros, entusiasmados por venir a trabajar con nosotros. Entonces tenemos un desafío grande en materia de diseño, y por eso estamos tratando de meter algún elemento de automatización, no para reemplazar a los ingenieros en su lógica de diseño de estructura o revisión de estructura, sino para algunas tareas que se han vuelto más administrativas, asociadas a la revisión de ciertas tablas. En eso estamos haciendo un esfuerzo grande, en materia de ingeniería y procesos y de automatización, para poder dejar más tiempo a nuestros ingenieros calculistas, para hacer diseño y revisión de cálculos estructurales, y para concentrar sus tareas que son de tanto mayor valor agregado y también más compatibles con las vocaciones de nuestros colegas.

Pero en materia de operación, nos hacemos cargos de nuestras estructuras, a diferencia de concesiones que están bajo la responsabilidad de las concesionarias, que igual les revisamos sus diseños, y en casos de emergencias, siempre estamos disponibles para poder atender, con nuestra capacidad de ingeniería y de soluciones de inmediato, cualquier problema que se pudiese generar en esa infraestructura que está bajo la tuición de concesionarias y en temas de administración y de obras públicas bajo la Dirección General de Concesiones.

Sr. Christian Vigouroux.

—Un tema que me preocupa es la definición de la vida útil de un puente, en la evaluación social del proyecto, el valor residual influye bastante en el cálculo de indicadores de rentabilidad, y a veces el Ministerio de Salud y Desarrollo Social influyen en esta definición, caso de puentes nuevos, lo que no me parece, ya que es un tema de netamente técnico.

Sr. Jaime Retamal.

—Efectivamente el tema de la vida útil y valor residual es un temazo desde el punto de vista metodológico de lo que es la evaluación social, siempre lo que tenemos es una especie de beneficios y costo social, beneficios que a su vez son básicamente ahorros de costos, en la metodología tradicional de transportes y como usan unas tasas de descuentos del orden del 6%, ya a los 15, 20 años, empiezan a

desaparecer, en términos de poder generar un delta entre beneficio y costo, lo más relevante es el valor residual de esa infraestructura disponible. Y está muy anclado desde el punto de vista de las normas internacionales de contabilidad, por lo que puede ser la lógica patrimonial y que ahí podemos tener una luz, si eventualmente las normas de contabilidad internacionales de materia de infraestructura nos pueden ayudar un poquito, a poder dar más valor residual, no por un tema de ser mañosos en la lógica de la evaluación, sino porque reconocemos que realmente un activo tiene una durabilidad mayor, de hecho ya no hablamos de vida útil, hoy estamos hablando de durabilidad. Si hablamos de diseños a 20 años a 30, 50 años, hoy el proyecto del puente Chacao se habla de durabilidad de 100 años, lo que obviamente nos desafía, no solamente desde el punto de vista del diseño y construcción, sino cómo guardamos la información del diseño y la construcción para que nos acompañe la generación futura por “100 años”.

Sr. Ricardo Nicolau del Roure.

—¿Qué cambios se han introducido en el diseño y la mantención del puente, como productos de los sucesos del colapso del puente Loncomilla y el caso del puente Cau Cau? que han sido emblemáticos y que realmente de alguna manera tienen que haber provocado algunos impactos.

Sr. Jaime Retamal.

—El puente Loncomilla es un puente con una característica muy especial, es un puente “amarrado”, no era de losa apoyada sobre cepa y fundación, sino que era de una estructura única, y diagnosticar el origen de una determinada dificultad, es más difícil, a lo mejor usted veía grietas en un lado del puente, pero en realidad esas grietas no eran producto de un daño o dificultad o un problema en ese sector del puente, sino que “amarrado” en algo en otra parte. Los puentes “amarrados”, porque se dificulta el diagnóstico de la falla.

Tanto el Loncomilla, como el Cancura, no se caen porque nadie está poniendo atención, se caen mientras están en reparación. Ahí hay otro temazo, nuestra historia nos ha demostrado que no hemos sido buenos “geriatras”, a lo mejor somos buenos pediatras, médicos generales, etc., pero cuando la estructura ya está viejita o esta con un problema

mayor, no hemos sabido, por lo menos los dos casos que menciono, hacer esa intervención de una manera exitosa.

Tenemos instruido que no se intervengan puentes manteniendo el tránsito por ellos, salvo cuando no existan las condiciones para aquello. Otra vez menciono que Loncomilla y Cancura se caen durante una reparación.

Somos relativamente buenos para las cosas que no se mueven y sin experiencia para las cosas que, sí se mueven, el Cau Cau más que un puente, es un mecanismo, que permite el paso de vehículos en cierta posición del mecanismo, ahí hay una cosa que nos desafía, porque son de una especialidad que históricamente no hemos tenido, que no tenemos, de hecho, nos hemos apoyado en otros para poder avanzar.

Es fundamental que entienda el resto del aparato público, que una cosa es construir in situ y otra cosa es montar lo que se hizo en una fábrica o en una maestranza. Le cuesta a la gente entender que debemos tener inspectores en la

fábrica y cuando digo que le cuesta entender es porque se oponen, o porque encuentran que es una maldad o que hay un costo innecesario, o empiezan a tratar de buscar cómo hacer más barata la inspección de fábrica, tratando de acercar en realidad una auditoria que puedo hacer con los papeles. Yo no creo que el metro de Santiago, ni ferrocarriles, ni ninguna empresa o institución, que necesite trabajar con equipamientos o con activos, que están contruidos especialmente para su quehacer, en alguna parte, no envíe o no tengan contratado ya sea propio o ajeno, ya sea que viajan aquí o están allá inspectores reconocidos de fábrica. Y eso es algo que el Cau Cau nos enseñó, que tenemos que tener inspectores en fabrica para aquellos que no se construyen in situ, y el puente Chacao es un desafío por eso, los tableros no se van hacer en una esquina del barrio, los tableros se van a construir en una maestranza en Corea, y eso créame que es un tema.

Muchas gracias.

Fin de la Conferencia.

LA REVOLUCIÓN DIGITAL Y EL IMPACTO EN LA LOGÍSTICA

*Conferencia de Sr. Rafael Epstein,
Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería Industrial de la FCFM de la Universidad de Chile.*



Sr. Rafael Epstein.

El día viernes 26 de agosto de 2022, a las 11:00 horas - vía zoom, ante una gran concurrencia del ámbito académico, público y privado, se realizó la conferencia del Sr. Rafael Epstein, quién expuso el tema “La Revolución Digital y el Impacto en la Logística”.

El Sr. Epstein es Ingeniero Civil Industrial de la Universidad de Chile, Master in Industrial Engineering, Ph.D. in Operations Research. Es Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile.

Sus áreas de especialización son: optimización combinatorial, planificación forestal, ruteo de vehículos, planificación de la producción y programación de operaciones.

Sus actividades docentes se desarrollan en las áreas de optimización, gestión de operaciones, gestión financieras y estrategias de operaciones.

Es Premio Franz Edelman año 1998 del Institute for Operations Research and Management Science y premio Ramón Salas Edwards 2011 del Instituto de Ingenieros de Chile.

Sr. Rafael Epstein.

—Muchas gracias Presidenta, por su bienvenida; agradezco la oportunidad que me da el Instituto, de estar con ustedes, compartir mi presentación y, obviamente, escuchar también los comentarios de este maravillo público.

Lo primero, es pensar como estábamos antes de esa revolución y tal vez, antes que eso, cuestionarse si ha habido tal revolución, y les invito a que revisemos algunos temas que nos pueden dar luces sobre las preguntas, ¿qué pasó con esa revolución? y ¿sí hay tal revolución? (Figura 1).

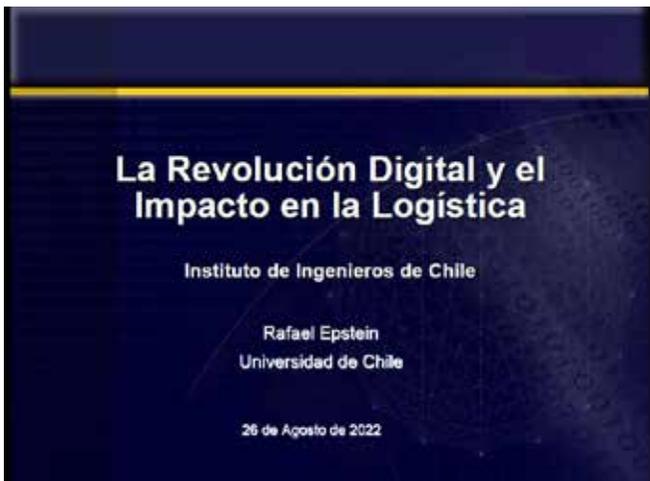


Figura 1

Saqué este gráfico del índice del Nasdaq, la mayoría de ustedes saben, es el índice del valor de las empresas tecnológicas en la Bolsa norteamericana. Miren lo que pasó en el año 99 y 2000.

El índice estaba cerca de 1.000 puntos más o menos, hacia el año 98 y el año 99 empieza a subir dramáticamente, llegando a los 5.000 puntos. En cosa de un año, no mucho más que eso, triplicó el valor del índice, ese es un impacto enorme. Pero tan rápido, o más rápido de lo que subió, fíjense como baja y ya en el año 2001, había vuelto al nivel de antes, incluso baja todavía más, miren como se mantiene bajo 0 hasta el 2012, estuvo más de 10 años bajo el máximo del 2000 este índice.

Entonces nos tenemos que preguntar ¿qué pasó en el año 2000? Pasaron más de 10 o 15 años, en que estuvo

deprimido, hasta que empieza a agarrar vuelo por el 2014, 2015, 2016; empieza a subir como loco, sigue subiendo, se pega un bajón muy fuerte por la pandemia, pero se recupera en cosa de meses y sucede que hoy día el índice tecnológico está en los 13.000 y llegó a topar los 14.000 puntos. Miren que el año 2000, ya había tocado los 5.000 puntos y estuvo 15 años debajo de ese nivel, esto sugiere que algo ocurrió con la tecnología en estos últimos 5-6 años, algo pasó, por lo menos el mercado muestra eso, que de repente la tecnología apareció en el 2000, desapareció, y de repente, vuelve con mucha fuerza y eso es lo que me motiva a especular sobre esto (Figura 2).

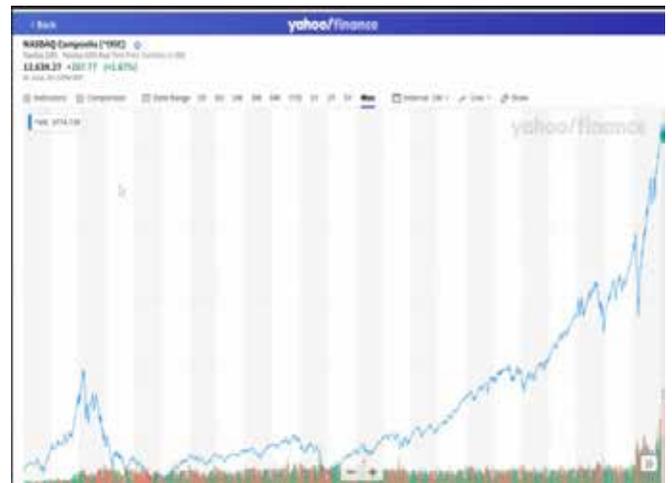


Figura 2

Rápidamente, voy a mostrar una presentación con la descripción en la cadena de abastecimiento, solo quiero decir que esta presentación la hice hace más de 20 años (Figura 3).

La exposición habla de la cadena productiva, de la logística y planteo lo que se desea hoy en la cadena, lograr respuestas más rápidas, lograr mayor flexibilidad, ¿se acuerdan en el año 2000, cuando estábamos en los 5000 puntos del Nasdaq?, esto era el tema de ese tiempo en la cadena logística, no muy distinto de hoy día.

Hace 20 años queríamos idear productos a la medida, fabricados en masa y distribuidos rápidamente, pero todo en forma competitiva y a costos razonables.

Los conceptos anteriores son vistos en forma integrada a lo largo de toda la gente que participa de la cadena (Figura 4).

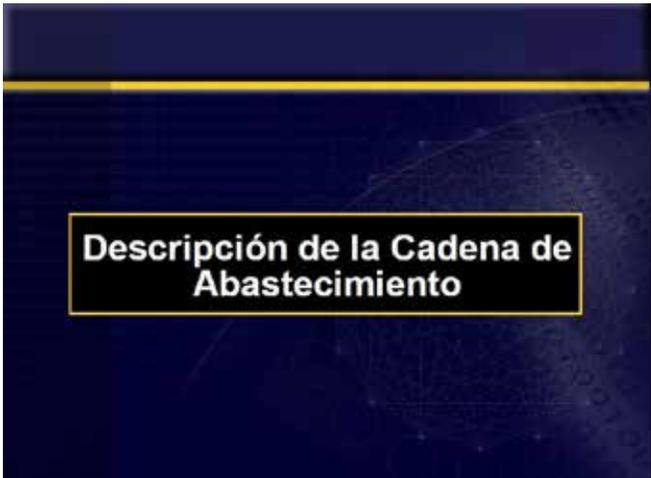


Figura 3

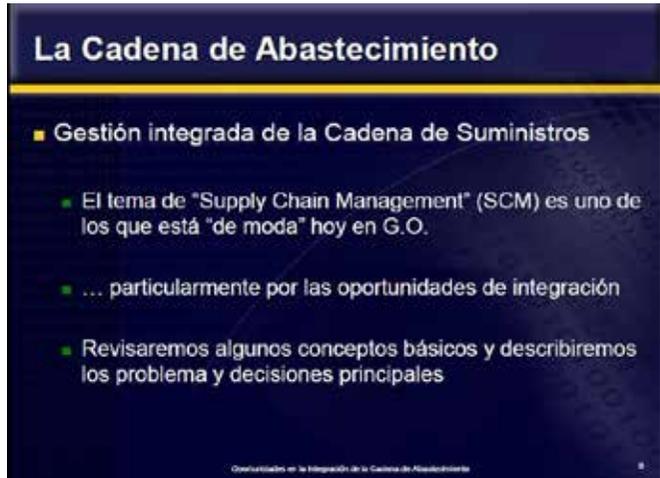


Figura 5

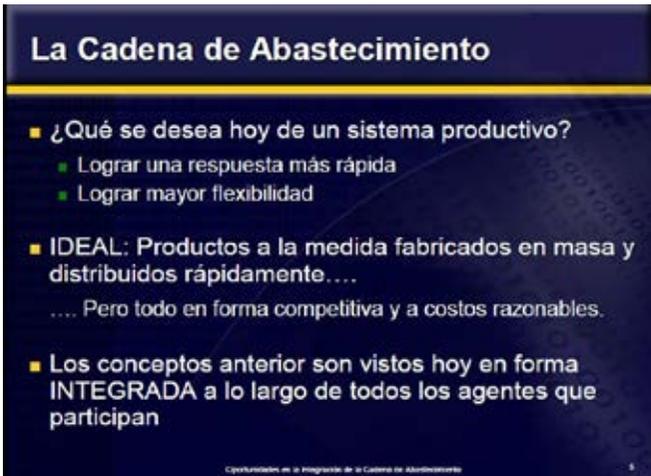


Figura 4

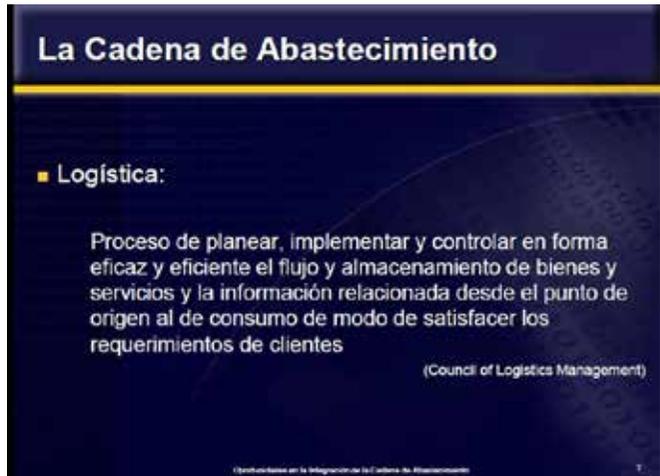


Figura 6

Gestión integral a la cadena suministro, Supply Chain, todo integrado, particularmente las oportunidades de integración (Figura 5).

Acá esta la definición de la logística (Figura 6).

Entonces de la visión Supply Chain, rescaté en forma integral o valores clásicos (Figura 7).

Presentamos una cadena hace 20 años, esta era la cadena tradicional. La cadena tradicional es una cadena ordenada, donde están los productores primarios, los insumos, los mayoristas, los minoristas, los clientes.

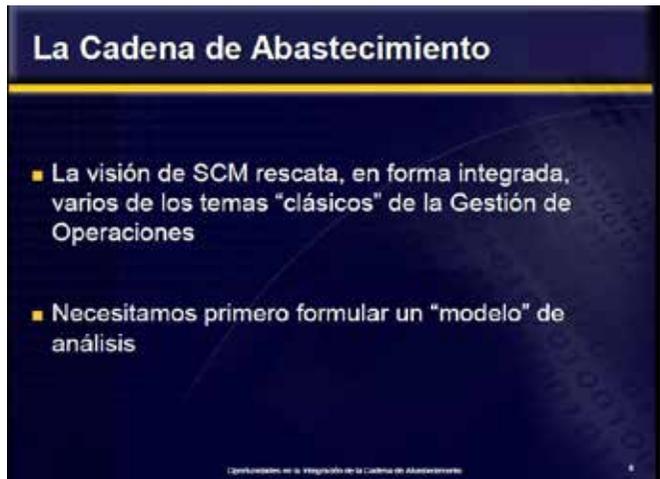


Figura 7

Y los bienes se transportaban en esta cadena en esta forma tan ordenadita que es un gusto y la información fluía entre los agentes de la cadena, pero literalmente era una cadena, un eslabón, después de otro, el otro y finalmente los clientes, esa era la cadena tradicional que explicamos hace 20 años, pero que ya estaba siendo desafiada (Figura 8).

Voy a dejar el pasado y sigamos ahora con la Revolución Digital (Figura 10).



Figura 8

Decíamos que la cadena era compleja, ya decíamos hace 20 años que los flujos de información y flujos de los materiales, ya no fluyen tan ordenadamente en la cadena, y la información ya fluye de cualquier manera e influye en toda la cadena y tenemos, exchange logísticos, exchange de insumos, y exchange de clientes, solo que estos son del año 2000 y no de ahora (Figura 9).



Figura 10

Pero antes, me permito hacer un pequeño resumen histórico. En 1936, Turing diseña una máquina universal, que puede implementar cualquier cómputo formalmente definido, la famosa máquina universal de Turing. En 1943, Warren McCulloch y Walter Pitts, ya son 80 años atrás, crearon un modelo informático de redes neuronales, basado en un algoritmo con una lógica de umbral. Estas redes neuronales del 43, es lo que hoy día se conocen como deep learning o aprendizaje profundo. Los algoritmos más sofisticados de inteligencia artificial, de aprendizajes profundos, se basan en el modelo de 1943 de redes neuronales propuestos por Pitts y McCulloch. Tuve mucho gusto en encontrar la siguiente referencia muy importante en la revolución digital, un artículo de 1959 de Lettvin, Maturana, McCulloch y Pitts. El “Maturana” que aparece en la cita es el profesor Humberto Maturana, quien nos dejó el año pasado, fue nuestro gran biólogo y filósofo. Él participó en el inicio de estos desarrollos, así que hubo un chileno en los orígenes de la revolución digital.



Figura 9

El Support Vector Machines, de Corinna Cortes y Vladimir Vapnik como autores principales, es más moderno, aparece en el año 1990.

En la década de los 40, George Dantzig, presentó por primera vez en Occidente, un problema de programación lineal y el método simplex para resolverlo. En la década anterior, en la Unión Soviética, Kantorovich, publicó algo similar, no es copia, por ningún motivo. Cuando el mundo científico está en algo, los desarrollos empiezan

a converger y Kantorovich recibió muy merecidamente el premio Nobel de Economía, que quizás pudo haber compartido con Dantzig.

El test de Turing de 1950, era un test para decidir si las máquinas piensan, básicamente, lo describo con mis palabras, una máquina pensaba si es que un humano comunicándose con una máquina, en el WhatsApp, en el correo electrónico o en el celular, el humano no es capaz de distinguir si es una máquina o un humano. En este caso según el test de Turing, las máquinas pensarían, es una pregunta filosófica en la que no nos vamos a meter, pero eso es, cada uno de ustedes puede pensar si la tecnología permite desafiar el test de Turing, en ese caso, yo podría ser una máquina, pero no lo soy (Figura 11).



Figura 11

En el año 1956, en la Conferencia de Darmouth, Estados Unidos, McCarthy, Minsky y Shannon acuñan el término "Inteligencia Artificial", que tiene más de 60 años al día de hoy.

En los siguientes 20 años, se desarrollan varios lenguajes de programación orientados a la inteligencia artificial, como LISP, PROLOG, PARC y otros más.

En el año 1997, Deep Blue, la máquina de IBM, le gana un desafío al mejor de 6 partidas al gran Garry Kasparov, quizás el mejor jugador de ajedrez de la historia. El año anterior, en 1996, Kasparov le había ganado a Deep Blue. La victoria de Deep Blue de 1997 fue controversial, Kasparov siempre reclamó y sembró una duda, no hubo revancha, e IBM nunca más volvió a hacer jugar a Deep Blue. Esa victoria no fue algo consistente. Entonces, yo diría

que en general, hasta ese momento, hasta el año 1997, la inteligencia artificial, era una promesa no cumplida, muy muy por debajo, de lo que se esperaba de ella, de lo que se prometía, de una disciplina que llevaba 40 años y con resultados muy pobres (Figura 12).

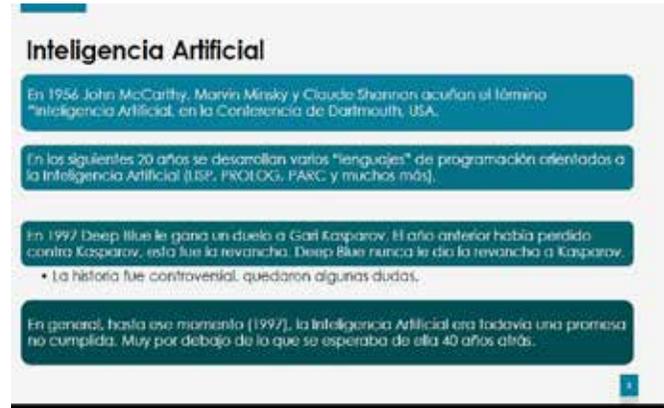


Figura 12

Entonces aparece la internet en los años 90 y se populariza hacia fines de los 90. Al inicio la Internet era una manera de comunicarse. Aunque la Internet tiene su origen en el mundo militar, diría que las primeras aplicaciones civiles fueron las universidades. Ya en 1994 Jeff Bezos funda Amazon, con la idea de vender libros por internet.

A fines de lo la década de los 90 ocurre el boom de las acciones tecnológicas, lo que conté al principio.

En la década de los 90 se instala la sensación que todo iba a ser tecnológico, lo que estamos viviendo hoy día, era la expectativa de fines de los 90, iba a pasar ahí, ahí mismo.

Hacia fines de los 90, se hacía un paralelo como impacto en la economía mundial, entre la aparición del ferrocarril en el siglo 19 y la aparición de la Internet hacia fines del siglo 20. Los proyectos de tecnología se evaluaban bajo el supuesto que el cambio que iban a provocar iba a ser mayor que el provocado por el ferrocarril en el siglo 19.

Hasta que ocurre el "crash" del mercado de las empresas tecnológicas en el año 2000. El Nasdaq pasa de 1.500 a 5.000 en junio del 2000, y a 1.200 puntos un par de años después y no se recuperó hasta muchísimos años después. Era otra decepción (Figura 13).

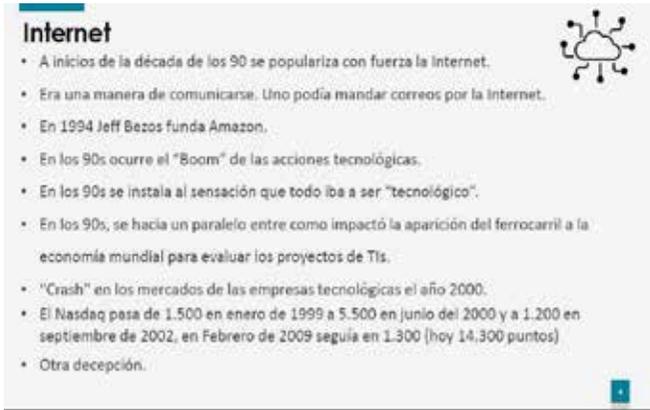


Figura 13

Después del año 2000 la internet siguió evolucionando, y siguió generando datos al por mayor.

Aparecen con fuerza los conceptos de Big Data y Data Mining.

Y el "tiempo real", empieza a ser un concepto nuevo, eso no ocurrió hace 20 años, eso es más nuevo.

Las líneas aéreas, los hoteles, los espectáculos, el comercio, la banca y otras industrias, podían comunicarse con sus clientes en tiempo real, eso revolucionó la industria de las líneas aéreas, que ahora sufrieron por la pandemia, pero el boom de la línea aérea tuvo en gran medida esa dimensión tecnológica, lo mismo los hoteles, los espectáculos, el comercio y también la banca que ha sido una industria muy agresiva en incorporar tecnología (Figura 14).



Figura 14

En algún momento, los computadores efectivamente se tornan inteligentes, algo pasó. De repente los computadores son capaces de hacer funciones que, hasta hace poco tiempo, eran asombrosas para nosotros, y hoy día, comparado con 5 ó 6 años atrás, nuestro umbral de asombro por decirlo de alguna manera, subió enormemente y hoy estamos acostumbrados a que los computadores sean ultra inteligentes ¿por qué ocurrió?

Acá pongo una lista de supermercado:

- Muchos más datos, más datos y muchos más datos.
- Más datos en tiempo real.
- Capacidad para transmitir los datos, una cosa es tener los datos y otra cosa es poder transmitir esos datos.
- Capacidad para almacenar los datos, la famosa nube, que no hace tantos años atrás era un discurso, hoy día todos tenemos los datos en la nube y nadie se preocupa.
- Capacidad para procesar los datos, en esto hay una gran revolución subterránea, producida por la reducción del tamaño de los chips. Cambio de tecnología importante, en la práctica, nuestros famosos celulares, son computadores muy sofisticados y capturan datos todo el tiempo y enriquecen enormemente esta red, yo creo que esa es la clave, si ustedes me preguntan, yo creo el punto central es la gran cantidad de datos que hoy en día hay si lo comparamos con algunos pocos años atrás.
- Los algoritmos mejoraron algo, pero los algoritmos no cambiaron tan drásticamente, entonces ¿por qué antes los algoritmos de redes neuronales no eran tan buenos?, porque no había tantos datos. ¿Por qué hoy día tenemos métodos de reconocimientos de imagen tan espectaculares? Bueno, porque hay muchos datos, hay muchas bases de datos que podemos revisar, tenemos las estadísticas que funcionan muy bien cuando hay buena y mucha data, y estos métodos se basan en las estadísticas, por ejemplo, Waze o los motores de ajedrez. Hoy una máquina de ajedrez, en un computador normal, le gana fácilmente al campeón del mundo humano, de hecho, hay campeonatos del mundo de ajedrez de máquinas. La tecnología detrás del comercio electrónico es impresionante, así como en la educación, realidad aumentada que va a revolucionar nuevamente el comercio, la educación y la telemedicina. Otro ejemplo es el sector deporte, hoy en La Tercera aparece un artículo de un nuevo emprendimiento chileno, con inteligencia artificial pretenden detectar a los mejores futbolistas y eso no nos asombra.

Esta confianza que tenemos en la inteligencia y excelencia de lo que hacen los computadores en tareas complejas y poco estructuradas, es algo nuevo, no tiene más de 5 o 6 años (Figura 15).



Figura 15

Lo que hacen estos sistemas que he mencionado, y muchos otros, es extraordinario. Posiblemente Facebook te conoce mejor que tú mismo, en tus gustos de consumo, me puede recomendar algo que yo no me había dado cuenta que me era muy interesante y me lo recomienda. Todos ustedes se meten a ver YouTube y les recomienda ver un video nuevo, y los conoce o les ofrece un producto para comprar, etc. Todo eso es tecnología.

Dije que los computadores juegan ajedrez mejor que los humanos, pero las máquinas no juegan igual que los humanos, juegan mejor, pero no juegan igual, calculan mucho más que nosotros. Los modelos con que juegan los humanos tiene que ver con definir estrategia, definir táctica y definir la parte operativa. Esa es también la típica estructura con que uno organiza la gestión de operaciones, la logística y también los juegos. Sucede que estas máquinas están cambiando el equilibrio, hoy las máquinas, como tienen esa capacidad de cálculo increíble, se apoyan mucho más en la táctica que nosotros. Los humanos, con nuestra limitación en la cabeza de poder calcular tanto, nos apoyamos más en la estrategia, no es que no tengamos táctica, la tenemos, pero en ese equilibrio la estrategia para nosotros es más importante, porque no somos tan capaces de calcular con detalle la faceta táctica. Los computadores no son así, los computadores confían mucho en su táctica, la pueden calcular bien, y son más atrevidos en ese aspecto, por lo tanto, cuando vemos decisiones de computadores,

son más tácticas que estratégicas y una táctica realmente sensacional.

Redes robustas de telecomunicaciones van a volver a cambiar el mapa de lo que la tecnología puede revolucionar y se viene el 5G con más y nuevas funcionalidades.

Para hacer fuerza que esta revolución de la analítica es relativamente nueva, me gustaría mencionar que el MIT lanzó su exitoso Programa de Máster en Business Analytics recién en el 2016, y estos Programas aparecieron en Chile en el 2018 y no antes (Figura 16).



Figura 16

Vamos con algunos ejemplos de algunas industrias.

¿Qué significa esto para la industria minera?

La minería es la principal industria exportadora de Chile. Esta revolución digital va a provocar en la industria minera una planificación optimizada, procesos industriales mucho más inteligentes, no inteligentes en el concepto humano, que ya lo son, los procesos van a tener inteligencia de las máquinas, esa táctica más sofisticada que mencionamos hace poco. Yo pronostico una operación minera y una planificación minera menos ortodoxa y más heterodoxa, con prácticas que antes hubiéramos considerado que no se podían hacer, porque no éramos capaces de calcular todos sus efectos, pero con las nuevas tecnologías pronostico una operación minera mucho más heterodoxa y con más inteligencia de máquinas que hoy día.

Vamos a optimizar mucho más que hoy.

Vamos a elegir qué cubo de tierra va para dónde y en qué momento.

Vamos a tener muchos más datos; teniendo los datos, las máquinas van hacer maravillas con esos datos, obviamente programado por profesionales de nuestra comunidad.

Procesos más automatizados. Vamos a ver muchos procesos con inteligencia automática y máquinas autónomas. Hoy las máquinas ya son tele comandadas y también tenemos máquinas autónomas, pero estas prácticas se van a extender muchísima en esta industria.

Se van a desafiar los paradigmas, algunos muy antiguos. Algunas rigideces, que son producto de nuestra incapacidad de analizar tanta complejidad, van a ser desafiadas porque las máquinas nos van apoyar, manejando la complejidad con gran talento, en el equilibrio de la táctica v/s la estrategia nos vamos a inclinar más hacia la táctica y la estrategia va a perder un poco de espacio (Figura 17).



Figura 17

Las prácticas operacionales van a ser más flexibles, en un mundo más complejo. Cuando yo hablo de "Sistemas Complejos", no me refiero a una complicación ni a un enredo, estoy usando el significado de que viene de las ciencias de la computación, que es un Sistema que tiene muchas componentes, que son manejadas en forma simultánea, en forma integrada y en forma inteligente.

Me permito pronosticar que tendremos mejoras importantes de productividad en logística. Los costos logísticos, en términos nominales en dólares en Chile, se han estabilizado en los últimos 10 o 15 años, lo cual es una maravilla, eso

gracias a inversión y a tecnología. Esta tendencia va a continuar o acentuarse por el nuevo impulso en innovación que estamos viviendo.

La clave va a estar en tener datos de calidad y en comunicaciones que nos permitan transmitirlos. Los algoritmos ya estaban, la comunidad científica era muy potente en el desarrollo de algoritmos, pero no teníamos datos, tampoco teníamos comunicaciones, eran carísimas las dos cosas, hoy llegaron los datos, llegaron las comunicaciones, y la comunidad científica, tecnológica e ingenieril, hizo maravillas con esto.

Pienso que veremos nuevos tipos de organizaciones y nuevas formas de gestión.

Volviendo a analizar la industria minera, vemos que, con datos y comunicaciones, la industria va a desarrollar su propia inteligencia minera.

La pregunta es si esta inteligencia digital, la podemos convertir en una ventaja estratégica. Es decir, ¿seremos capaces nosotros de convertir esta posibilidad de generar tecnología digital, en una ventaja estratégica? Así como los suecos y finlandeses, en el siglo 20 convirtieron su actividad minera y forestal en una grande y maravillosa industria de maquinarias pesadas, tal vez los chilenos tengamos la oportunidad única, de aprovechar las industrias en la que somos líderes mundiales para desarrollar tecnología digital de vanguardia. Por ejemplo, en minería podríamos generar inteligencia y convertirnos nosotros también en exportadores de inteligencia, tal vez no seamos exportadores de maquinaria pesada, pero podríamos exportar inteligencia en nuestros sistemas (Figura 18).

Me permito mostrar estas cosas que también son nuevas, en la foto, las Centrales Integradas de Operaciones, en este caso de El Teniente, son salas maravillosas que juntan toda la información y coordinan la operación (Figura 19).

Estas instalaciones son revolucionarias, reflejan los conceptos del Siglo XXI. Todo ocurre en esta sala, se ve toda la mina, que tiene miles de kilómetros de túneles, que tienen muchos trenes, máquinas, personas, se coordina desde acá, desde la sala de comando. Y ésto ¿es nuevo? ¿es la primera vez que ocurre en Chile?, por supuesto que no, yo diría que la industria forestal fue pionera. La industria forestal tuvo las primeras centrales de coordinación logística a fines de los 80, y principios de los 90, fue una

Industria Minera y la Revolución Digital

- Las prácticas operaciones van a ser mucho más "flexibles" que hoy día.
- Tendremos mejoras importantes de productividad. También mejores condiciones de seguridad y condiciones de trabajo.
- La clave va a estar en la disponibilidad de los datos y las comunicaciones.
- Veremos nuevos tipos de organizaciones y nuevas formas de gestión.
- Con "datos y comunicaciones" la industria va a desarrollar su propia "inteligencia minera digital".
- ¿Seremos capaces convertir la "inteligencia digital" en una ventaja estratégica?
- Quizás sea la primera vez que tenemos una verdadera ventaja comparativa.
 - Similar a lo que suecos y los finlandeses vivieron el siglo pasado con la industria forestal y minera.

Figura 18

Centros Integrados de Operaciones (CIO)

- También conocidos como GIO, IROC, entre otros.
 - Posee información en línea de lo que ocurre en la mina.
 - Dispone de mecanismos de comunicación expeditos con operadores.
- Dispone de herramientas tecnológicas que capturan, procesan y comunican la información de manera efectiva.
- El rol que cumple la sala es lograr una efectiva coordinación y sincronía entre múltiples minas y plantas, todo esto en plazos de tiempo que se aproximan al tiempo real.
- Dentro de sus principales definiciones se encuentran tanto la conceptualización tecnológica como la organizacional.
- Una "estructura" del Siglo 21.



Figura 19

CIO División el Teniente



Figura 20

revolución donde tuve la suerte de participar. Hoy día estas salas tecnológicas que coordinan la operación de las empresas mineras es una revolución en curso, es algo nuevo. Exactamente cómo van a funcionar es una noticia en desarrollo que hoy se está desarrollando (Figura 20).

Acá esta la plana mayor de El Teniente, hace unos años atrás, fue justo antes de la pandemia (Figura 21).

CENTRO INTEGRADO DE OPERACIONES EL TENIENTE: MINERÍA DEL FUTURO



Figura 21

Chuquicamata también tiene su Central Integrada de Operaciones, podríamos estar viendo fotos de todas las mineras. Pero cada una se está planteando de forma diferente. La forma en que este ambiente afectará su operación es algo nuevo, y estas instancias son motivos de investigación, de desarrollo para toda nuestra comunidad (Figuras 22 y 23).

CIO División Chuquicamata



- El CIO de Chuquicamata se ubica al interior de la División Ministro Hales (a 10 kilómetros de Calama).
- Se integran, comparten y desdoblán todas las operaciones desde la mina hasta la flotación y, pronto, la refinera y la fundición, para capturar el mayor valor del negocio.
- También alberga las operaciones de la mina subterránea (contempla sillones con los controles que operarán los equipos UED)

Figura 22



Figura 23

Veamos otras industrias.

Ésta es la infraestructura que tiene la Empresa de Ferrocarriles del Estado (EFE). Tenemos mucha infraestructura, pero la usamos poco (Figura 24).



Figura 24

El 33% de la carga que mueve ferrocarriles es de la minería. Además, hay otros ferrocarriles que son privados y que también mueven mucha carga en minería. La otra carga de EFE son los asociados a la industria forestal con el 47% de la carga de EFE, productos industriales con el 7%, productos agrícolas que son el 1%, y contenedores con el 9%. En Chile hoy hay poca carga que se transporta en ferrocarriles ¿Por qué? Diría que por muchos años no habíamos necesitado al ferrocarril, y el transporte en camiones era una solución factible.

Sin embargo, a medida que el país crece, la infraestructura de transporte se va saturando y la capacidad de transporte que ofrece el ferrocarril va a ser necesaria para mover la carga y poder mantener los sectores exportadores e importadores. El ferrocarril va a jugar un papel mucho más importante que el que había jugado en las últimas décadas en el transporte de carga.

Me gustaría mencionar que el ferrocarril que tiene el mayor índice de carga por tonelada-kilómetro en el mundo está en Chile. Me refiero al tren lleva el transporte principal de El Teniente hacia la chancadora y de ahí a las Plantas. Tenemos en Chile un tren que es una maravilla, y no lo conocemos (Figura 25).



Figura 25

Finalmente, me gustaría referirme a la “última milla”, que va a afectar nuestra vida cotidiana. Con la pandemia, todos nos acostumbramos al comercio electrónico y al despacho a domicilio, lo que se conoce como la última milla. En el comercio global hay un gran boom en el desarrollo de la última milla, y los números acumulados a nivel mundial, valoran esta actividad en algo más de US\$4 trillones para el 2022, mostrando un crecimiento de casi el 40% con respecto al año anterior (Figura 26).

Las expectativas son que el mercado de envío de última milla, va duplicarse del 2020 al 2027. Eso es una barbaridad, van a aparecer nuevas tecnologías de todo tipo, digitales, no digitales, otras tecnologías de otro tipo de ingeniería (Figura 27).



Figura 26



Figura 28



Figura 27

La logística de la última milla es costosa, no es algo tan barato, muchas veces representa el 53% del total del costo de envío, por favor lean eso, 53% del costo total del envío puede ser la famosa la última milla y puede ser el 41% del costo total de la cadena de abastecimiento (Figura 28).

La última milla ya cambió la forma de trabajar de muchas industrias: del comercio, de comida rápida, de restaurantes, aparecen con mucha fuerza los *dark stores*, las tiendas oscuras, tiendas que no atienden público, que se ubican en lugares concurridos, pero ya no tan prime. La esquina que era tan valiosa, hoy ya no lo es tanto, porque en realidad hoy no estoy vendiendo a público, estoy despachando desde lugares que están bien localizados. Entonces la súper esquina perdió valor relativo, con respecto a estar en el sector correcto, tener mi *dark store* en lugares donde yo pueda despachar en 15 o 20 minutos a mis clientes, esto es válido para supermercados, pero podría ser para otras categorías, esto está en desarrollo.

Los restaurantes no tienen *dark stores*, pero tienen *dark kitchens*, son cocinas oscuras, no porque estén mal, son cocinas maravillosas, pero no sirven clientes, cocinan y envían, a la última milla, de nuevo, ¿dónde se van a ubicar? ¿cuántas necesito? ¿cuáles son los locales que me sirven? Esas preguntas están redibujando todo el mapa logístico que siempre se revisaba, pero hoy se han redibujado muy rápido.

Modelo de negocio para delivery, tipo Uber, en que las personas hacen los envíos con su propio auto/moto, se va a ampliar. El Uber, tal vez ya sea un concepto en que todos hacemos de todo, esto se ve en Amazon, donde la gente entrega en sus propios autos, allí hay un modelo parecido.

Se están ampliando a las bodegas, la gente arrienda sus casas como bodegas, donde a veces empaquetan pedidos, gente que tiene espacio en su casa, lo va a arrendar para hacer negocio o va a trabajar en parte en esta cadena, se va a distribuir el trabajo, es un escenario posible.

Entregas con drones es tecnología en desarrollo, pero puede ser pronto una realidad (Figura 29).

Tenemos el cuadro de una logística compleja, que desafía los conceptos antiguos, y nos obliga a ser mucho más creativos y manejar la complejidad, pero la complejidad buena, manejar muchos componentes en forma integrada, simultánea, eficiente, ojalá optimizada, basándonos en datos, en muchos datos que nos dan historia, datos muy potentes en computadores y con comunicación entre todos los agentes (Figura 30).

Muchas gracias.



Figura 29



Figura 30

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

Sr. Mario Troncoso.

—*Productos del campo pueden llegar a tener precios tres veces a seis veces, en supermercado que el precio del productor, ¿cómo podría ayudar logística con inteligencia artificial, para reducir esta brecha?*

Sr. Cristian Barrientos.

—*En relación a una alternativa para buscar soluciones que mencionó, ¿qué caso concreto conoce en esta línea de iniciativa que puedan proponer para generar esta mirada de salir al mundo, no buscar soluciones, sino que ofrecerlas?*

Felipe Chávez.

—*¿Hay alguna lectura o libro que recomiende que traten estos temas?*

Sr. Rafael Epstein.

—Exportar conocimiento, tiene que haber una real vocación del país, para envasar y exportar conocimiento, una fuente para construir este conocimiento para poder exportar y tener industrias relevantes a nivel mundial, me puedo equivocar pero apostaría que Chile no va a desarrollar software para la industria automotriz, sencillamente porque no tenemos industria automotriz, pero tenemos industrias mineras fabulosas, industria forestal muy buena, tenemos una industria del comercial que es muy espectacular, líneas áreas también; Latam se tendrá que recuperar y otras industrias más. Tiene que haber una cultura sin nacionalismo, el nacionalismo no llega a ninguna parte, pero sí una cultura en que el país genere, ayude y se integre para desarrollar esta tecnología; las grandes empresas, ojalá cooperen, se interesen y se metan en estos negocios también, esa es la manera, el Instituto de Ingenieros de Chile, las universidades, el Estado, las empresas, deben repetir este discurso. Los ejemplos son muchos, Cornershop es uno, pero espectacular, hay otros ejemplos también, pero la manera, reitero, es generar conciencia, sin nacionalismo, sin chovinismo, abierto al mundo y aprovechando los talentos en Chile, que hay muchísimos.

Sobre los productos del campo, que menciona la persona que preguntó, no conozco bien, pero me atrevería decir que, cada vez esas diferencias se van a ir achicando. El productor del campo va a ofrecer sus productos directos por internet, eso ya está ocurriendo, mi pronóstico que esa diferencia, se va achicar haciendo el sistema económico más justo.

Lecturas o libros, está ocurriendo en todos lados, no hay una biblia, pero hay que estar muy atento a lo que está pasando.

Sra. Regina Toloza.

—*¿Cuál es el dato en minería, de acierto y desacierto en los camiones autónomos, de los transportes inteligentes?*

¿En la última milla, la optimización a la que se va a llegar con inteligencia artificial, van hacer desarrollos individuales de empresas que están compitiendo, o aparecerá alguna gran plataforma, que tenga como usuario a todas a las grandes empresas que realizan estas últimas millas?

Sr. Rafael Epstein.

—Los camiones autónomos, ha sido una innovación muy pionera de la Minera Gaby de Codelco, creo que ese tipo de innovaciones son ultra valiosas, hasta donde yo entiendo, la productividad de los camiones autónomos todavía es menor que la productividad de los camiones con choferes humanos, pero la única manera de ir mejorando la productividad y ganando conocimiento, y el conocimiento se gana en la operación. Hasta hace un tiempo atrás, los equipos autónomos, tiene muchas ventajas, no solo en la productividad, sino que hay muchas labores que las personas ya no quieren hacer, por ejemplo, la gente de trabajo agrícola o forestal no quiere ir al bosque, para estar ahí cortando árboles con una sierra, no lo quieren hacer porque no les motiva, no es muy productivo, no se le paga bien. La mecanización, la automatización tiene beneficios realmente grandes porque, primero, mejora la calidad del trabajo y la gente gana sueldos que están bien, toda esta tecnología automática o autónoma hay que privilegiarla. No solamente paga mejor, también es más seguro, hay muchas labores en industrias como: minería, forestal, salmoniculturas, que son peligrosas y que las empresas hacen inversiones y están sacando la gente de esas labores peligrosas, porque queremos operaciones seguras, y la verdad es que hoy sus operaciones son muy seguras, hay accidentes, siempre los hay, pero muy de vez en cuando, gracias a la tecnología robóticas.

Con respecto a la pregunta de la última milla, si la solución va hacer individual o va hacer una plataforma general, están las dos fuerzas; al principio van a ver muchas soluciones individuales y el que logre instalar un estándar, esa empresa, grupo, persona, claramente va a tener un beneficio económico sideral, entonces esas fuerzas siempre operan, operó en el pasado con la introducción del teléfono celular y ha operado antes y va a seguir operando, cuando se abre un nuevo producto, en este caso una nueva operación, es todo dinámico, cambia mucho, y son productos individuales,

con el tiempo se va a generalizar, pero quien sabe cuánto falta y quien sabe cuál sea la tecnología dominante.

Sr. Ricardo Nicolau del Roure.

—Tengo otra pregunta muy relacionada con las preguntas anteriores. ¿el control minero con los centros integrados para estudios, es manejado por personal entrenado en software?

Sr. Rafael Epstein.

—Cuando dije que cada Central Integrada de Operaciones era algo que estaba en desarrollo, el cómo nos organizamos, qué habilidades tenemos, de quien depende, como se organiza esta Central Integrada. Voy a plantear dos puntos extremos, para hacer el contrapunto, los extremos no existen en la realidad.

Un extremo es decir que vamos a traer puros genios y genias a la Central Integrada de Operaciones, gente experta en computación, en optimización, en esto y en lo otro y ellos mandan y deciden todo, ese es un extremo.

El otro extremo, es decir miren, mejor los mismos operadores de la mina, que estaban en la mina, de ahí mismo sacamos a la gente la bajamos y que ellos operen esta Central Integrada de Operaciones.

Ustedes vean si se ponen más cerca de una posición o más de la otra, adicionalmente ustedes pueden decir que la Central de Operaciones es la que manda, ella dice lo que hay que hacer, es decir, el gerente de la Central Integrada de Operaciones es el que manda todo el buque, o pueden pensar que esta Central es una unidad de servicio que apoya a la Gerencia de Operaciones.

Son temas sutiles, pero la diferencia es harta cuando se implementa.

Una organización, una empresa, podrá elegir una solución o podrá elegir otra e incluso podrá mezclarlas y eso es.

Fin de la conferencia.

PREMIO “MEDALLA DE ORO - AÑO 2022”

Al Sr. José Rodríguez Pérez



Don José Rodríguez recibe de parte de la Sra. Cominetti, la Medalla de Oro y Diploma de Honor.

El pasado viernes 28 de octubre de 2022, en ceremonia solemne realizada en el Salón de Honor del Instituto, don José Rodríguez Pérez recibió el premio “Medalla de Oro – Año 2022”, máximo galardón de la ingeniería chilena.

La Presidenta del Instituto, Sra. Silvana Cominetti, dio inicio a la ceremonia refiriéndose a la naturaleza del premio, su significado dentro del Instituto y en la comunidad de los ingenieros, y al especial merecimiento de quien lo recibe en esta oportunidad.

A continuación, como es tradicional, la presentación del galardonado estuvo a cargo del ingeniero que obtuvo esta distinción el año anterior, don Nicolás Majluf Sapag.

La Presidenta.

—Sr. José Rodríguez Pérez, premio Medalla de Oro de Instituto de Ingenieros de Chile año 2022, Sr. Nicolás Majluf, premio Medalla de Oro, año 2021. Familiares y amigos del galardonado. Socios del Instituto. Señoras y señores:

Hoy 28 de octubre, el Instituto cumple 134 años de existencia. Esta fecha, por su relevancia para los miembros del Instituto, tradicionalmente se hace coincidir con la entrega del premio Medalla de Oro, el galardón por excelencia de la ingeniería chilena.

Desde su fundación, el Instituto de Ingenieros de Chile ha tenido presencia permanente en el desarrollo del país, contribuyendo a la discusión de temas relevantes para su progreso y el de sus habitantes.

Son conocidos sus aportes, que se inician en Informes escritos con la política eléctrica chilena y el plan de electrificación del país; la propuesta de creación de ENDESA y ENTEL; los estudios base del primer código de aguas, luego la política nacional de riego, la ley de medio ambiente y más recientemente “Sobre la estrategia y gestión de contratos”, “Factores condicionantes del éxito en proyectos de inversión”, y varios otros estudios e informes que sería largo enumerar; todos ellos se encuentran a disposición del público en nuestra web.

Es importante destacar que estos textos, como aquellos a los que hemos hecho referencia, son fruto del esfuerzo de grupos de trabajo que se reúnen para estudiar las materias que el directorio del Instituto ha estimado que son relevantes para el desarrollo del país.

En el contexto de sus actividades, nuestra Corporación tiene también entre sus labores más importantes, a la vez que gratas, el reconocimiento a aquellos ingenieros que se han destacado por sus contribuciones a la profesión, a la sociedad o al Instituto.

En el día de hoy se da término al proceso de elección y premiación que realizamos cada año, en el que otorgamos nuestro más importante galardón, la Medalla de Oro. Esta es su ceremonia, tradicionalmente solemne, pero no por ello alejada de las legítimas manifestaciones de alegría en el galardonado, familiares y amigos.

En este acto pretendemos capturar y destacar lo mejor de tantos ingenieros que han contribuido a construir, con su aporte personal y profesional, el Chile en el que hoy vivimos.

La Medalla de Oro constituye la máxima distinción que otorga anualmente el Instituto de Ingenieros de Chile y se entrega al ingeniero que se haya destacado, a través de su trayectoria de vida profesional, por sus extraordinarios aportes y servicios a nuestro país, a la profesión o al propio Instituto.

En el panel de honor que se encuentra en el Salón de Actos del Instituto, se consigna la lista de todos aquellos que han sido merecedores de este premio desde 1931, e incluye a algunos de los más ilustres ingenieros de nuestro país.

Es una lista que, además, cada año, se ve incrementada por la incorporación de otro extraordinario profesional, y de esa manera ha ido construyendo por sí misma el prestigio que este premio ha alcanzado.

El procedimiento para designar los candidatos a este premio consiste en que cada año, el Directorio del Instituto nombra una Comisión, la cual se encarga de estudiar los antecedentes de los postulantes al premio, propuestos por nuestros socios, haciendo una selección para someterla posteriormente a la consideración del Directorio y del Consejo Consultivo del Instituto, que reunidos en sesión solemne y votación secreta disciernen la persona del premiado.

Este año, al otorgar la Medalla de Oro del Instituto de Ingenieros a don José Rodríguez Pérez, hacemos honor, por una parte, al aludido prestigio que precede a este galardón, y por otra, a su enriquecimiento, con la incorporación de tan ilustre personalidad a ese exclusivo grupo. Su nombre ya ha sido incorporado en el panel del Salón de Actos de nuestra sede.

Una de las tradiciones más respetadas y queridas de nuestra institución es que se otorga el honor de presentar formalmente a nuestros premiados, al galardonado con la distinción el año anterior. En esta ocasión, le corresponde hacerlo a don Nicolás Majluf Sapag, premio Medalla de Oro 2021.

Pero antes de darle la palabra al Sr. Majluf, quisiera, como Presidenta del Instituto, manifestarle a nuestro

homenajeados, con el mayor afecto, que son muchos los presentes y otros que involuntariamente están ausentes, que por mi intermedio desean extenderle sus más calurosas y sinceras felicitaciones por el galardón que hoy le entregamos, expresando a la vez una legítima satisfacción porque sus merecimientos le están siendo reconocidos en esta ocasión por nuestro Instituto.

Estimado José, recibe un afectuoso abrazo.

Sr. Nicolás Majluf.

—Me corresponde la grata tarea de presentar a esta distinguida audiencia el perfil personal de nuestro Premio Medalla de Oro 2022, el Dr. José Rodríguez Pérez.

Yo agradezco esta tradición del Instituto, porque me obliga a profundizar en la vida de un académico excepcional, que es un orgullo para el país.

Agradezco, también, a José Rodríguez, por su disposición y paciencia para compartir conmigo la destacada trayectoria de su vida.

Quisiera comenzar felicitando al Dr. Rodríguez por su reciente cumpleaños. El 24 de octubre recién pasado, cumplió 69 años.

Nació en Malalhue, un pueblo cerca de Lanco en el año 1953. Posteriormente se trasladó a Osorno con su familia, donde realizó su educación primaria.

En 1967, a la edad de 13 años viajó a Valparaíso, para ingresar a la Escuela Técnico Profesional José Miguel Carrera, institución perteneciente a la Universidad Técnica Federico Santa María. El año 1970 obtiene el título de Subtécnico Electrónico en esa Escuela.

Posteriormente, realizó estudios de ingeniería en la Universidad Técnica Federico Santa María, donde se graduó de ingeniero Civil Electricista el año 1977. Ese mismo año fue contratado como profesor de la Universidad.

Entre los años 1982 y 1985 realizó estudios de doctorado en la Universidad de Erlangen, en la República Federal de Alemania, después de lo cual regresó a continuar su carrera de profesor en la Universidad Santa María en Valparaíso.

En la actualidad está casado con Cecilia Reyes, profesora de Informática de la Universidad Santa María, con quien tiene tres hijos, quienes lo acompañan en esta ceremonia, excepto por el menor que está en Australia.

Logros académicos.

Debo confesar que me resulta muy fácil explicar los antecedentes que tuvo en cuenta el Instituto de Ingenieros para otorgar este premio.

Y para ello, debo partir por el año 2014-2015. Él lo llama su “año dorado”. Fue el año en que recibió el Premio Nacional de Ciencias Aplicadas y Tecnológicas, otorgado por el Gobierno de Chile.

También en ese año aparece, por primera vez, en el ranking de los científicos más influyentes del mundo, publicado por la *Web of Science*. Ha sido el único investigador chileno incluido de manera ininterrumpida entre los años 2014 y 2021 en la lista de los “*Highly Cited Researchers*”.

En 2015, la *Industrial Electronics Society* del IEEE le otorgó el “Eugene Mittelmann Award” en reconocimiento a su trayectoria en investigación y a su contribución al desarrollo de convertidores matriciales; y lo reconoció por ser el autor más citado entre más de 1 millón de investigadores.

En 2016 recibió el “Humboldt Research Award”, otorgado por la Fundación Alexander von Humboldt de Alemania.

Anteriormente, en el año 2002 publicó en el *Transactions of Industrial Electronics* del IEEE en Estados Unidos “Inversores Multinivel”, trabajo que en la actualidad tiene más de 8.000 citas y es el artículo más citado en los 70 años de historia de esta prestigiosa revista.

A esto se suman varios reconocimientos a los artículos que ha publicado en el IEEE y que han sido reconocidos como el mejor artículo del año (“*best paper award*”), en los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2014, y segundo mejor artículo en el año 2015.

Se destaca el artículo del año 2010, en que presenta una nueva teoría para el control y la transformación de la energía, que da origen a una estrategia innovadora para el control de torque y flujo en un motor eléctrico. Fue premiado como el mejor artículo del año en el *Transactions on*

Power Electronics del IEEE de Estados Unidos, la revista más prestigiosa del mundo en la especialidad.

Y en 2012, la editorial Wiley su libro *Predictive Control of Power Converters and Electrical Drives*, que es “la biblia” en su materia.

Estos logros sorprendentes son el fruto de sus más de 30 años de trabajo. Ha supervisado el trabajo de título y tesis de 110 estudiantes de Ingeniería, 25 de magíster y 11 de doctorado. Y ha publicado más de 700 artículos, 300 de ellos en las más prestigiosas revistas internacionales y 400 en conferencias. Tiene más de 70.000 citas de sus trabajos de investigación, siendo uno de los investigadores más citados del mundo.

Su campo de especialidad es la electrónica de potencia. Lo voy a explicar en mis palabras, que seguramente van a ser incompletas e imprecisas.

Se dedica al control de los procesos de transformación de energía, empleando para ello semiconductores de potencia y microprocesadores. Sus principales intereses de investigación son: inversores multinivel (*multilevel inverters*), nuevas topologías de convertidores (*new converter topologies*), control de convertidores de potencia (*control of power converters*) y motores de velocidad graduable (*adjustable-speed drives*).

Todo su trabajo se orienta a un manejo más eficiente de la energía. Es un tema que tiene que ver con nuestro futuro. Baste mencionar los desafíos del calentamiento global y el gradual desplazamiento del mercado de los vehículos a combustión por los autos eléctricos. En este campo, el Dr. Rodríguez se ha destacado como nadie.

Espero haberles convencido que el Dr. Rodríguez tiene méritos académicos de sobra para recibir el reconocimiento que hoy le otorga el Instituto de Ingenieros.

Trabajo profesional.

Su trabajo no se limita a la investigación académica. Ha demostrado tener la capacidad de llevar sus avances conceptuales a la práctica de la ingeniería.

En 1996 trabajó para el área minera de Siemens Chile, donde desarrolló la tecnología “*gearless*” para molinos de cobre, que actualmente es el estándar internacional.

Pero su proyecto más apreciado es la correa regenerativa de Minera Los Pelambres, que usa la energía potencial del mineral para bajar el concentrado de cobre desde la mina hasta el concentrador, sin consumir energía. Todo lo contrario, hace funcionar a la correa como un generador de más de 10 Megawatts, utilizando tecnología de conversión moderna.

El año 2013 la Academia de Ciencias de Chile destacó este trabajo como el proyecto de “innovación con alto valor científico” más relevante de los últimos 40 años. En esta evaluación se incluyeron las doce áreas de actividad económica del país.

El maestro.

Tal vez ustedes están tan admirados como yo de los logros del Dr. Rodríguez. Y, ciertamente, hay detrás de ellos mucho trabajo, disciplina y perseverancia.

Pero esto no es todo. Un ex alumno, que hoy trabaja en Europa, lo resumió de un modo que emociona: “José es un maestro”.

Y tras un maestro, no hay sólo un intelecto excepcional y una disposición a hacer esfuerzos sin límites. Hay un ser humano que invita, un profesor que forma, un mentor que guía.

Sus numerosos alumnos han sido sus compañeros de ruta.

José Rodríguez tiene una capacidad extraordinaria para formar equipos cohesionados. Esto es central. El trabajo de investigación es una experiencia en equipo.

Él dice que a quienes han sido sus alumnos en la Universidad, “los explota con cariño”. Y reconoce que su trabajo depende en gran medida del privilegio que ha tenido de contar con su entusiasmo y conseguir el aporte de sus mentes jóvenes y brillantes.

Los consejos que ofrece para hacer investigación de alto impacto corroboran esto. Propone investigar en redes y considerar a los estudiantes como socios. Plantea que forma un equipo con ellos, que su rol es actuar como facilitador, y que es importante alcanzar resultados rápido. Tiene fe en la calidad de la educación universitaria en Chile. Dice que el talento es abundante en el país. Que “hay que creerse el cuento”. Y termina indicando que es básico saber inglés.

Gestión académica.

Él siente que ha sido muy privilegiado y que tenía que devolver a la sociedad lo mucho que ha recibido. Por ello, desde hace ya algunos años, ha estado muy dedicado a la gestión académica. De ese modo su impacto podría llegar a los miles de alumnos y cientos de profesores de una Universidad, aunque esto le ha implicado alejarse del trabajo de investigación y reducirlo a unas pocas horas a la semana.

Comenzó su dedicación a la gestión académica en dos Departamentos muy afines a su trabajo de investigación, como son el de Electricidad y el de Electrónica de la Universidad Federico Santa María. Luego fue llamado a colaborar como Vicerrector Académico, en la Dirección Superior de la misma Universidad. Estaba en este cargo, cuando le plantearon asumir la responsabilidad de Rector. No pudo negarse. Fue elegido por una amplia mayoría y ejerció el cargo por 9 años, entre 2006 y 2014.

Esta experiencia implicó un importante giro en su vida. Por ello, cuando recibió la invitación para ser Rector de la Universidad Andrés Bello, lo entusiasmó el desafío. Era una comunidad grande y diversa de alumnos y profesores. El desafío era aunar la variedad de visiones prevalecientes y avanzar en la calidad de su trabajo académico. La tarea era formidable, pero el esfuerzo de 4 años, entre 2015 y 2019, dio sus frutos. Consiguieron aumentar de 4 a 5 los años de acreditación. Entre 2019 y 2022 se mantuvo como profesor de esta universidad.

En la actualidad ocupa el cargo de Rector de la Universidad San Sebastián. Fue elegido este año para el período 2022-2026. Dice que le gustó que la Universidad San Sebastián fuera una institución regional, nacida en Concepción, que se expande a otras ciudades del país, incluida Santiago. También fue relevante en su decisión el gran tamaño de la Universidad, pues su trabajo podría impactar la vida de miles de jóvenes. Ha definido como su misión el “consolidar el proyecto educativo de la universidad” y como principales desafíos, seguir mejorando la calidad académica en temas de docencia, investigación y vinculación con el medio.

Reflexión final.

Al recorrer la fructífera vida del Dr. Rodríguez, me admira la forma en que ha salido adelante, en circunstancias que otras personas nunca logran despegar. Y es que nosotros somos el fruto de nuestro trabajo, de la forma en que nos moldean las circunstancias y, muy importantemente, de las personas que se cruzan en nuestras vidas y que ejercen una influencia que nos marca para siempre, aunque ellas nunca lo sepan.

El Dr. Rodríguez nació en un pueblo del Sur que recién ahora se está mostrando en los mapas. Tuvo una infancia feliz, a pesar de las estrecheces económicas de su familia en esa época.

Una primera influencia que cambió radicalmente lo que iba a ser su futuro es su abuelita. Cuando sólo tenía 13 años, le dijo que se fuera a estudiar a la Escuela Técnica en Valparaíso. Nunca volvió a casa.

Luego viene esa influencia determinante de un par de sus profesores en la Universidad. Él destaca a Leopoldo Silva, por su calidad docente, y Sergio Zulueta por mostrarle el ancho mundo de la investigación.

Y la figura de Nikita Tesla, quien revolucionó el mundo de la energía eléctrica al reemplazar la corriente continua por corriente alterna, ha sido un faro de inspiración en toda su vida.

Al terminar mis palabras, saludo al investigador, al docente, al Rector y, por, sobre todo, al ser humano, al esposo, y al padre. Ese ser humano que no deja de leer el Economist, hacer deportes y escuchar música.

El Economist le muestra lo que pasa en el mundo en una forma que sintoniza con su forma de ser, su alma de investigador, que es racional, estructurada y objetiva. El deporte y la música le permiten mantener su fortaleza y serenidad.

Dr. Rodríguez, reciba nuestro reconocimiento por su trabajo, su trayectoria, su vida y el aporte gigante que hace a la ingeniería y al país.

Muchas gracias.

(Aplausos)

Después de la presentación, el ingeniero don José Rodríguez Pérez, recibió de manos de la Sra. Cominetti, Presidenta del Instituto, la Medalla de Oro y Diploma de Honor. A continuación, tomó la palabra para agradecer la distinción recibida en los siguientes términos:

Sr. José Rodríguez.

—Quiero comenzar mi intervención dando las gracias a todos ustedes por acompañarme en esta significativa ceremonia. Doy las gracias especialmente a Nicolás Majluf, por su generosa presentación.

El Instituto.

Es para mí un gran honor recibir esta distinción de una institución tan prestigiosa como es el Instituto de Ingenieros, depositaria de una tradición más que centenaria representando a una profesión tan gravitante para el desarrollo y el bienestar de la humanidad, como es la ingeniería.

El recibir esta distinción el día de hoy, lo percibo como la culminación de mi larga trayectoria profesional, porque me es entregada por el destacado grupo de profesionales ingenieros que conforman el Directorio del Instituto.

Siento que he llegado al final de mi carrera profesional.

La ingeniería.

A lo largo de la historia no hay área de la actividad humana que no haya estado fuertemente influenciada y beneficiada por la ingeniería. Y ello seguirá siendo así en el futuro.

A modo de ejemplo, les voy a mencionar algunos de los desafíos de la ingeniería en el Siglo 21 que publicó la Academia de Ingeniería de Estados Unidos hace ya más de 20 años atrás:

- Conseguir que la energía solar sea accesible
- Proveer acceso al agua potable
- Restaurar y mejorar las infraestructuras urbanas
- Avanzar en la informática para la salud
- Hacer ingeniería inversa del cerebro
- Proteger el ciberespacio
- Enriquecer el espacio virtual
- Avanzar en el aprendizaje personalizado.

Esas proyecciones se han quedado cortas si observamos los cambios acelerados que hemos observado en los últimos años. Voy a nombrar solamente dos:

La informática y la inteligencia artificial que ha afectado prácticamente todo ámbito del quehacer humano.

La transición energética hacia energías renovables y electromovilidad como la principal acción de la humanidad para combatir el calentamiento global. Estamos viviendo una verdadera revolución energética, necesaria para salvar la vida de las futuras generaciones.

Estos avances tecnológicos nos han obligado a repensar aspectos en los que antes estábamos de acuerdo y ahora ya no son tan claros. ¿Por ejemplo, los trabajadores de aplicaciones, son socios o empleados? Esta nueva forma de trabajo nos ha obligado a repensar las relaciones laborales. En algunas comunidades es aceptado monitorear permanentemente a las personas a través de cámaras y reconocimiento facial. En otras comunidades eso no es aceptado porque vulnera la privacidad. Ello abre la necesidad de ponernos de acuerdo en aspectos que antes no nos preocupaban.

No puedo dejar de maravillarme con el ingenio humano, por algo nuestra profesión se llama precisamente “ingeniería”. Y para que entiendan mi sentimiento de maravillarme, les voy a contar una pequeña anécdota.

Conozco un ingeniero chileno, César Norton se llama, quien hace varios años atrás tuvo la idea de transformar la energía cinética del viento en combustible. La idea es absolutamente revolucionaria e innovadora, porque todos estamos acostumbrados que para obtener combustible petróleo, gas o carbón debemos cavar y extraerlo desde las entrañas de la tierra. Y ha perseverado por años desarrollando esta idea que actualmente se ha transformado en una empresa multinacional HIF. El desafío ha sido enorme debiendo superar barreras tecnológicas y financieras, pero el proyecto sigue adelante. En lo personal, lo que más me maravilla es la creatividad “obtener combustible del viento”. Siempre me pregunto: ¿cómo se le ocurrió? Es sencillamente fantástico y una prueba concreta de la infinita creatividad humana.

Aprovechando esta vitrina que me proporciona el instituto deseo referirme a algunos sucesos acontecidos recientemente, que me han perturbado y que están relacionados con el

proyecto de hidrógeno verde en la región de Magallanes, que probablemente ustedes vieron en las portadas de los diarios.

Me refiero al retiro que hizo el consorcio del estudio de impacto ambiental, que deja al proyecto con un grado de indefinición sobre su continuidad y su final realización.

Siento que es mi deber hacer un llamado de atención a las autoridades políticas y regulatorias relacionadas con esta materia. El fin último de las políticas y los reglamentos es que propicien el desarrollo y que los proyectos se concreten, por cierto, cumpliendo con las normativas y regulaciones, las que deben ser aplicadas criteriosamente. Algunas exigencias que se plantearon en la evaluación de impacto ambiental de este proyecto son, por decirlo que una manera suave, “perturbadoras”. Conuerdo plenamente con la postura crítica del padre del Presidente Boric quien también es ingeniero. Confío en que las autoridades atinarán y que tomarán resoluciones que permitan que estos proyectos se materialicen.

Esto me recuerda la comisión que formé por encargo de la Comisión Futuro del Senado para proponer al gobierno la realización de una política de inteligencia artificial para el país. Al ver las diferentes posturas, pude detectar claramente la tensión entre el desarrollo y la protección de los derechos individuales y colectivos tales como la privacidad y la propiedad de los datos. Las decisiones que se tomen debe considerar siempre que el fin último de la política y de los reglamentos es propiciar el desarrollo y la innovación. Si no generamos esa posibilidad, otros países harán los desarrollos tecnológicos y nos venderán sus productos. Nosotros seremos meros usuarios y habremos perdido la oportunidad de generar riqueza, puestos de trabajo y bienestar para nuestros ciudadanos.

Lo que investigo/Inversores.

Seguramente, ustedes se preguntan qué investigo. Y para explicarles algo de mi trabajo, les voy a hablar de inversores, uno de mis campos de investigación más reconocidos. En el pasado el único inversor o inversionista, que se conocía era la persona que ponía el dinero para realizar algún proyecto.

En el último tiempo ha surgido otro inversor que estará más presente en vuestras vidas y es un equipo electrónico



El Sr. José Rodríguez durante su discurso.

que transforma la corriente continua en corriente alterna. ¿Dónde se usa? En generadores eólicos. Además, los paneles fotovoltaicos producen corriente continua y aquí nuevamente se necesitan inversores para generar corriente alterna. Toda casa con paneles fotovoltaicos tiene al menos un inversor. Otra aplicación relevante es el uso de inversores en vehículos eléctricos para transformar la corriente continua de las baterías en corriente alterna que alimente a los motores. Recuerdo que hace 40 años el voltaje de los autos eléctricos era de 60 volts por razones de seguridad. En la electromovilidad ya ha subido a 400 volts, para poder manejar la energía que se necesita en la tracción. Y el voltaje va a subir más aún a 800 volts, para permitir una carga más rápida y para aumentar la eficiencia energética. Investigaciones recientes señalan que al usar inversores multinivel es factible mejorar la eficiencia en más de un 1%. Este 1% equivale a pérdidas entre 700 y 1000 watts, Eso corresponde al calor máximo que genera una plancha eléctrica y que es necesario refrigerar. Como pueden observar, los desafíos no se detienen.

Cuando comencé trabajando, mi labor principal era la enseñanza de las máquinas eléctricas. Siempre me ha maravillado el mecanismo de funcionamiento de los motores y generadores eléctricos. Es un proceso que combina de manera magistral dos disciplinas fundamentales para la ingeniería: la física y las matemáticas. Aquí hubo dos científicos que admiré mucho: Maxwell y Tesla. Las ecuaciones de Maxwell son de una belleza que siempre

me ha impresionado. Y de Nikola Tesla debo decir que su invento del motor de corriente alterna es extraordinario. Ahora su nombre es famoso gracias a la empresa Tesla. Para mí su contribución es muy importante, más allá de la controversia que tuvo con Edison por la disputa entre la corriente continua promovida por éste y la corriente alterna promovida por Tesla. Me alegra mucho que la comunidad científica le haya entregado un reconocimiento a la altura de su impacto: la inducción magnética, una de las dos variables fundamentales del electromagnetismo tiene como unidad de medición el Tesla.

Reconocimientos.

En esta ceremonia tan significativa para mi deseo expresar algunos reconocimientos a personas que han sido muy importantes en mi vida profesional.

Deseo partir reconociendo a dos profesores. En primer lugar, a Leopoldo Silva de quien aprendí cómo hacer clases. Mis alumnos me evalúan muy bien en mis clases y creo que ello se debe a lo que aprendí al observar las clases que me hizo el profesor Silva. Lamentablemente, Leopoldo ya no está en este mundo y por ello solamente deseo compartir algunas palabras que le dediqué para su funeral: “El curso de Campos Electromagnéticos que tuve con el profesor Silva es el ramo más extraordinario que cursé en mi carrera. No dudo en calificarlo como una obra maestra, tanto por su rigor como por la belleza estética de los conceptos presentados. El profesor Silva, no pasaba la materia, la deducía en clases, lo que era simplemente extraordinario. Querido profesor, fue un privilegio ser su alumno”.

Al otro profesor a quien deseo reconocer es Sergio Zanetta, quien afortunadamente me acompaña en esta ceremonia. Cuando comencé a trabajar en la universidad hace 45 años atrás lo único que se hacía era clases. No se pedía investigar ni menos publicar papers. El Profesor Zanetta me impactó mucho porque el no solo enseñaba, sino que también se preocupaba de generar conocimiento original. Aún recuerdo sus apuntes sobre “Teoría de Realimentación” que no estaban en ningún libro. Era su idea. Copiando su ejemplo me atreví como a los 24 años a escribir mi teoría generalizada de convertidores estáticos, que nunca publiqué, pero que me dio una visión global de la conversión de energía. Esa idea me permitió desarrollar

los convertidores directos que después se llamaron convertidores matriciales. Más de 30 años después el IEEE de Estados Unidos me entregó un premio precisamente por esa idea teórica. Estoy seguro de que sin el ejemplo del Prof. Zanetta esa idea jamás habría surgido y probablemente no habría sido tan exitoso en investigación, algo tan importante en la vida académica de hoy.

También deseo reconocer a mis numerosos estudiantes, con los que hice todo mi trabajo académico en especial la investigación. La interacción con mis estudiantes y ayudantes siempre ha sido una fuente de la mayor gratificación humana e intelectual, además que son ellos lo que hacen el trabajo. Deseo resumir este reconocimiento en una persona, mi colega y ex alumna Margarita Norambuena que me acompaña hoy en este salón. Ella con su extraordinaria capacidad de abstracción e instinto para investigar representa mejor que nadie los talentos de todos mis estudiantes y colaboradores anteriores. Margarita es simplemente genial y con ella disfruté al final de mi carrera, el discutir cosas tan innovadoras como usar una red neuronal artificial para controlar un inversor en un vehículo eléctrico. El único problema que tengo con Margarita es que me hace sentir especialmente viejo, porque su papá fue alumno mío.

Agradecimientos.

Para terminar estas breves palabras deseo dar algunos agradecimientos.

Doy las gracias al Directorio del Instituto de Ingenieros de Chile por otorgarme esta distinción que me honra profundamente. A don Mauro Grossi, miembro del Directorio del Instituto por haberme nominado.

También agradezco a los directivos de la USS y los colegas e invitados que me acompañan. Al Rector de la USM, mi alma mater por estar aquí.

Y, por cierto, agradezco a mi familia por su apoyo, por su amor y por darme generosamente el tiempo para hacer mi trabajo de gestión universitaria y algo de investigación en mi tiempo libre.

Muchas gracias.

(Aplausos).

PREMIO “AL INGENIERO POR ACCIONES DISTINGUIDAS - AÑO 2022”

Al Sr. Juan Pablo Covarrubias Torres (Q.E.P.D.)

El Instituto de Ingenieros de Chile, en reunión conjunta del Directorio Ejecutivo y Consejo Consultivo, el día 24 de agosto pasado otorgó el premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas Año 2022” a don Juan Pablo Covarrubias Torres (Q.E.P.D.).

El Sr. Covarrubias falleció en el mes de agosto de 2022 y en forma privada, en las dependencias del Instituto de Ingenieros, la Presidenta Sra. Silvana Cominetti hizo entrega de la distinción a la familia del galardonado.

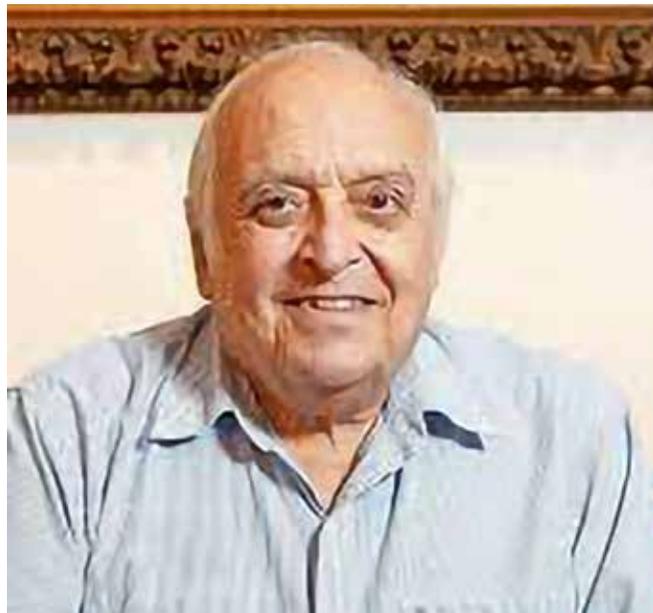
El Sr. Covarrubias fue Ingeniero Civil de la Universidad Católica, Master of Science y Ph.D. de la Universidad de Birmingham. Profesor de la Universidad Católica de Chile por 20 años y se desempeñó como gerente general del Instituto Chileno del Cemento y el Hormigón por muchos años.

Se destacó por sus innovaciones en ingeniería civil, en particular por el desarrollo de la tecnología TCP que impide que las losas de hormigón armado de los pavimentos viales se quiebren con el paso de camiones.

La tecnología TCP consiste en finos cortes en el hormigón, que permiten distribuir el peso del vehículo en forma eficiente, evitando el alabeo al disminuir las tensiones, evitando con ello el agrietamiento que se produce en los pavimentos tradicionales.

Las losas se dimensionan para que nunca sean cargadas por más de un set de ruedas de un camión, lo que permite la reducción del espesor al disminuir significativamente las tensiones; con ello se logra una solución más económica que la del diseño tradicional de kilómetros de pavimentos para la misma vida útil y un consiguiente menor costo de mantención.

La tecnología TCP fue estudiada en 2009 en la Universidad de Illinois, obteniéndose su patente en Chile y posteriormente



Sr. Juan Pablo Covarrubias Torres

en más de 80 países, incluyendo Europa, China, Rusia, Sudáfrica y Brasil.

Para el desarrollo de esta tecnología creó la empresa TCPavements, que en 2013 ganó el premio Avonni a la innovación.

Esta tecnología se ha aplicado a más de 200 proyectos en América Latina y El Caribe, EEUU, Francia, España y Australia.

En 2021 el Ingeniero Covarrubias fue distinguido en EEUU por su investigación y contribución al diseño de pavimentos de concreto en el Simposio Internacional sobre Pavimentos de Concreto 2021.

Sr. Juan Pablo Covarrubias Torres (Q.E.P.D.), Premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas año 2022”.

PREMIO “JULIO DONOSO DONOSO – AÑO 2022”

Al Ingeniero don Germán Millán Pérez



Don Germán Millán Pérez recibe la Medalla y Diploma de Honor.

El pasado jueves 20 de octubre de 2022, en el Salón de Actos del Instituto de Ingenieros, tuvo lugar la ceremonia de entrega del premio “Julio Donoso Donoso – Año 2022” al distinguido Ingeniero don Sr. Germán Millán Pérez.

La Presidenta del Instituto, doña Silvana Cominetti, dio inicio a este solemne acto con una breve alocución refiriéndose al especial merecimiento de quien recibe el galardón en esta oportunidad.

A continuación, el Sr. Carlos Mercado, galardonado con el mismo premio el año 2020, efectuó la presentación del homenajado.

La Presidenta.

—Sr. Germán Millán Pérez, Premio Julio Donoso, año 2022. Sr. Carlos Mercado Herreros, Premio Julio Donoso, año 2020. Familiares y amigos del galardonado. Sres. Directores. Socios del Instituto. Señoras y señores.

La labor del Instituto, que este mes cumple 134 años de existencia, incluye entre sus tareas más gratas e importantes la de reconocer los méritos de algunos de nuestros colegas que se destacan en diversas etapas o aspectos de su vida.

El reconocimiento de los méritos profesionales y personales por parte de sus pares ha constituido siempre un importante acto social, presente ya en las civilizaciones más antiguas. Lamentablemente en nuestro país, al parecer como consecuencia de nuestra particular idiosincrasia, este reconocimiento de los méritos por parte de los pares no ha sido una costumbre muy difundida. Conscientes de este hecho, el Instituto de Ingenieros transcurridos pocos años desde su fundación tomó la iniciativa de distinguir a algunos de los ingenieros que se han destacado en determinados aspectos de su ejercicio profesional.

El Premio “Julio Donoso Donoso” honra la memoria de quien fuera un gran hombre y un muy distinguido ingeniero y se entrega desde el año 1963, cada dos años, al ingeniero que hubiese contribuido más efectivamente con su actitud y su acción, al mejoramiento de las relaciones o convivencia humanas, en los procesos de producción de bienes o servicios. En el año que corresponde entregarlo, el Directorio nombra una Comisión que examina los antecedentes de los ingenieros que han sido propuestos por los socios, de entre ellos hace una selección y los somete a la consideración del Directorio y del Consejo Consultivo del Instituto, los que reunidos en sesión solemne y votación secreta, disciernen el nombre del premiado.

Julio Donoso Donoso nació el 22 de junio de 1895 y se recibió de Ingeniero Civil de la Universidad de Chile en el año 1919. Para él, el ejercicio profesional tenía una finalidad más profunda que el aplicar las disciplinas científicas o técnicas. Esta finalidad se traducía en que en su accionar existió siempre una notable preocupación por la dimensión humanista que debía existir en las actividades que el hombre emprendía.

Fue una persona muy preocupada por las potenciales tensiones internas de la convivencia humana en las actividades

productoras. Fuera de sus actividades profesionales tuvo una gran participación en obras sociales, en gremios y escuelas nocturnas para trabajadores, entre otros. Fue director del Instituto de Ingenieros de Chile y fundador y director de la Cámara Chilena de la Construcción, fuera de varias otras actividades académicas y culturales.

Nuestra larga tradición nos señala que quien fuera el homenajeado anterior con el premio, tiene el honor de presentar a nuestro galardonado y con ello testimoniar que en el agraciado concurren los aspectos que caracterizaron la vida de Julio Donoso: hombre ejemplar, de familia, excelente profesional y empresario, con gran sentido de lo social y de servicio público. El día de hoy, esta grata labor la realizará Carlos Mercado, quien recibiera este galardón el año 2020.

Por lo que les he señalado es que existe una tradición aplicable a la Presidenta del Instituto en ejercicio, de no extenderse en su presentación y es por ello que sólo agregaré que en unos minutos más constatarán que resulta evidente que las características que he mencionado, se encuentran presentes en nuestro distinguido homenajeado con el premio Julio Donoso Donoso año 2022, don Germán Millán Pérez.

Estimado Germán, muchas felicidades.

A continuación, la presentación del galardonado la realizó don Carlos Mercado, en los siguientes términos:

Sr. Carlos Mercado.

—Muy buenos días autoridades del Instituto de Ingenieros de Chile, colegas, señoras, señores.

Esta ceremonia de premiación y entrega del premio Julio Donoso Donoso para mí se ha estado convirtiendo en repetitiva. Hace 6 años estuve en esta testera en mi calidad de presidente del Instituto de Ingenieros, cuando el premio se le otorgó a Máximo Honorato- dos años después le correspondió a Carlos Andreani, y Máximo me pidió que yo leyera el discurso que él hizo para presentar a Carlos Andreani, en razón de que tenía que viajar fuera de Chile. A continuación, el premiado que seguiría fui yo, año 2020, y me corresponde presentar hoy al premiado de este año, mi querido amigo Germán.

Germán, con quien hemos trabajado juntos muchos años, es hijo del matrimonio de don Luis Millán y doña Inés Pérez, fueron 4 hermanos, Iván, Luis, Inés y el premiado. No sé cuántos lo sabrán, pero Germán y Lucho, con quien también trabaje, eran mellizos, y Lucho debe estar aplaudiendo desde arriba. A Inés, su hermana menor, yo le digo que ella y yo también somos mellizos, ya que ambos nacimos en Santiago y el mismo día.

Conversando con los que hemos recibido este premio, cuyas bases las informé Carlos Gauthier, coincidimos de que no se premian los conocimientos de ingeniería, sino es un reconocimiento a los que han sabido manejar los grupos humanos en el trabajo y mantener un buen ambiente en ello.

Conocí a Germán en la Endesa, ya que en la Escuela de Ingeniería no tuve la suerte de tenerlo de ayudante y tal como muchos de los que entrábamos a la Endesa esos años, eran los profesores partime de esa época los que nos pastoreaban, y en el caso de él, su pastor fue el ingeniero Raúl Campusano, y Germán entonces se incorporó a esta empresa en el año 1964.

El año 1973, ya casado con Sonia Valdés, y sus dos hijos, decide aceptar un trabajo en la Central Nuclear de Ascó-Tarragona, región de Cataluña. Permanece en España hasta el año 1978, pero la sangre tira y vuelve a Chile y a la Endesa, pero ahora en terreno, y se incorpora al proyecto Antuco, como Jefe de la Oficina de Ingeniería, en reemplazo de Hernán Zabaleta, y es en esa época que empieza nuestra amistad. Ambos teníamos nuestra familia viviendo en los Ángeles, vivíamos en régimen de casino en la faena y viajando a mitad de semana y los fines de semana a nuestras casas.

Con Germán y otros dos colegas fuimos compañeros de viaje y eso nos dio mucho tiempo para conversar y conocernos. También fue muy importante que sus hijos Isabel y Germán junior fueran compañeros de mis hijos Gonzalo y Andrés en el Colegio Alemán del Verbo Divino de los Ángeles, y esa amistad de estos lolos sigue hasta ahora.

Desde la construcción de Antuco nos fuimos a Colbún-Machicura, y solo diré que allí lo hizo muy bien y el único problema que tuvo fue el 11 de septiembre de 1985, día en que se inauguraban las Centrales Colbún y Machicura,

donde él, yo y otros muchos teníamos bastante trabajo, pero ese mismo día se le ocurrió nacer a Rodrigo, su tercer hijo, también acá en esta ceremonia presente.

La vida sigue, vienen los proyectos Canutillar, Pehuenche y el año 1989 la privatización de Endesa.

Esta nueva Endesa se filializa, se crea la filial de ingeniería, Ingendesa, y como Gerente de Ingeniería se designa a Germán Millán.

Tiempo después, Germán Millán se fue al MOP, como Jefe de la Inspección de la construcción Costanera Norte, y el que habla como Gerente de Construcción de líneas de Metro. Es bajo esta condición de que nunca la relación MOP-Metro ha estado mejor.

Para muestra un botón, les diré que la Línea 2 en el tramo Calicanto-Recoleta, pasaba por bajo de la autopista costanera en el río Mapocho, y lo que es losa de radier para la Costanera, es losa de techo para el Metro.

Las reuniones de coordinación de la ingeniería y después las de construcción eran encabezadas por Germán en el lado MOP, y por mí en el lado Metro. Funciono muy bien esta coordinación, a pesar de que los abogados de las partes, Fiscalía MOP y Fiscalía Metro, nunca se pudieron poner de acuerdo en el convenio de acuerdo que debían firmar las partes por estos trabajos.

Germán, amigo y hermano, nuevamente felicitaciones y a disfrutar tu merecido premio.

(Aplausos).

A continuación, la Presidenta hizo entrega a don Germán Millán Pérez del Diploma y Medalla de Honor correspondiente al Premio “Julio Donoso Donoso año 2022”.

Acto seguido, el Sr. Pérez hizo uso de la palabra para referirse al honor recibido.

Sr. Germán Millán Pérez.

—Muy buenos días autoridades del Instituto de Ingenieros de Chile, colegas, señoras, señores, y familiares.



El Sr. Germán Millán Pérez durante su discurso.

En el mes de agosto del presente año, recibí un llamado telefónico de nuestra presidenta ingeniera Silvana Cominetti y posteriormente una comunicación oficial en que me comunicaban la muy grata noticia que en reunión conjunta del Directorio Ejecutivo y del Consejo Consultivo se me había otorgado el premio Julio Donoso Donoso correspondiente a este año 2022.

Habiendo sido yo hace varios años miembro del Directorio Ejecutivo y del Consejo Consultivo había participado en reuniones para otorgar este premio en periodos anteriores y no había aquilatado realmente lo que ello representaba para quienes lo recibían.

Es por eso que permítanme expresarles a continuación que representa para mi este premio y por qué tanto lo agradezco.

En primer lugar, contarles como llegué a relacionarme con el Instituto de Ingenieros

Los egresados de ingeniería civil de la Universidad de Chile a fines de 1963, recibimos una invitación del Presidente del Instituto de Ingenieros para que conociéramos sus instalaciones e invitarnos a participar de las actividades que aquí se realizaban, y esa fue mi primera gran actividad en el Instituto.

Posteriormente, habiendo ya terminado mis estudios de ingeniería y aprobado mi memoria de título presenté la solicitud de ingreso al Instituto lo que fue aceptada, y esa fue mi segunda gran actividad.

Y luego vinieron muchas actividades como socio, miembro del Directorio y Junta Ejecutiva, miembro de distintas Comisiones de Trabajo y reuniones mensuales, en las que pude aportar con mi experiencia y además aprender mucho de otros socios y expositores.

Mi colega y amigo de muchos años, Carlos Mercado Herrerros, ha sido muy benevolente en su presentación lo que agradezco mucho.

En segundo lugar, darles mi impresión del por qué creo haber contribuido durante mi vida profesional a cumplir con los objetivos del premio Julio Donoso Donoso.

- Estudié en un liceo público, Valentín Letelier de Santiago, egresando en diciembre de 1957.
- Di la prueba de bachillerato en 1958 y postulé a estudiar ingeniería civil en la Universidad de Chile, siendo aceptado mi ingreso en el primer semestre de 1958.
- Cursé los 6 años de ingeniería civil en la Universidad, egresando en diciembre de 1963.
- Inicié la memoria de título en septiembre de 1963 y aprobé el examen de grado en junio de 1964.
- En mayo de 1964 postulé e ingresé a trabajar en la Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA)
- En esa época ingresar en las grandes empresas creadas por la CORFO era muy apetecido por quienes egresábamos de ingeniería.
- Me inicié como ayudante de ingeniero en el área de ingeniería civil donde trabajé hasta octubre de 1973 siendo Jefe de Proyecto,
- Entre noviembre de 1973 y noviembre de 1978, trabajé en España en la empresa eléctrica Fuerzas Eléctricas de Cataluña en la construcción de la Central Nuclear de Ascó, dos unidades de 1000mw cada una.
- Éramos 10 profesionales chilenos, ingenieros civiles, mecánicos y eléctricos y constructores civiles los que trabajamos en esta obra y que vivíamos con nuestras familias en pueblos cercanos a la obra.
- Pudimos constatar que nuestro nivel profesional era similar a los de los profesionales españoles y creo que fuimos un muy buen aporte para la obra.
- Habiendo ya regresado a Chile, entre diciembre de 1978 y 1990 trabajé nuevamente en Endesa, ahora en la

construcción de las Centrales Hidroeléctricas Antuco, Colbún, Machicura y Pehuenche.

- De regreso a Santiago y con Endesa privatizada ejercí el cargo de Gerente de Ingeniería de la empresa de ingeniería - Ingendesa entre los años 1990 y 1999.
- Entre los años 2000 y 2003, ocupé el cargo de Inspector Fiscal del Ministerio de Obras Públicas (MOP) en la construcción de la autopista Costanera Norte en Santiago, manteniendo con los profesionales de la sociedad concesionaria excelentes relaciones humanas y profesionales.
- Entre los años 2003 y 2005 ejercí el cargo de Director General de Obras Públicas.
- Posteriormente ejercí como profesional independiente en asesorías relacionadas con obras civiles y de resolución de controversias.

En mi larga vida profesional pude comprobar que el ejercicio de la profesión de ingeniero requiere muchas veces la participación de distintos profesionales (ingenieros, arquitectos, constructores, técnicos, dibujantes, prevencionistas de riesgos, especialistas en temas medioambientales, y de personal no calificado.

Asimismo, para que los proyectos sean exitosos, debe haber una jefatura que realmente lidere el proyecto, que los profesionales participantes sepan trabajar en equipo, que se respeten entre sí y además sepan escucharse mutuamente.

En la época que trabajé en la inspección de obras en construcción, a menudo visitaba las obras, y era muy agradable y provechoso conversar con técnicos, capataces y obreros, conocer de ellos sus impresiones respecto del proyecto que estaban construyendo y las condiciones humanas y de seguridad que había en el trabajo y de qué manera se podrían mejorar. Siempre encontré sus ideas muy atendibles y ellas han ingresado a mi baúl del conocimiento.

Por último, quiero agradecer a muchas instituciones y personas que han influido positivamente en mi vida:

- a mis padres, quienes habiendo podido tener solamente una educación incompleta por las condiciones económicas de mis abuelos, trabajaron y se esforzaron para que sus cuatro hijos pudiésemos tener una buena formación profesional;
- a mi hermano mayor Iván, ya fallecido, el que, al morir nuestro padre, no pudo ingresar a una carrera universitaria. Él, como contador apoyó a nuestra madre para que sus hermanos si pudiésemos hacerlo;
- a mi hermano mellizo Luis, también ya fallecido, ingeniero, compañero de juegos y travesuras en nuestra niñez;
- a mi hermana Inés, aquí presente, Profesora de Estado mención Matemáticas, soltera, compañera universitaria de mi mujer, quien ha estado siempre presente con sus hermanos, cuñadas y sobrinos;
- a la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile la que además de darme educación gratuita me otorgó una beca que me permitió pagar locomoción, libros y materiales en los 6 años de estudio;
- a los directivos de la Endesa y sus filiales en las que desarrollé 30 años de mi vida profesional;
- a las autoridades del MOP que me permitieron trabajar en el desarrollo de la autopista Costanera Norte y ser Director General de Obras Públicas;
- a las autoridades y colegas del Instituto de Ingenieros de Chile y del Colegio de Ingenieros de Chile que me han permitido participar en muchas actividades que se realizan para el bien del país, de la ingeniería y de los ingenieros;
- a mis amigos del MOP y de Endesa con quienes pudimos trabajar para construir y operar obras para el bienestar del país y de nuestros compatriotas;
- y por último a mi querida Pelusa, madre de mis tres hijos, compañera de ruta que me ha soportado durante 54 años, querendona de toda la familia y especialmente de nuestros nietos.

Muchas gracias.

(Aplausos).

PREMIO “JUSTICIA ACUÑA MENA – AÑO 2022”

A la Ingeniera doña Nélida Heresi Milad



La Sra. Nélida Heresi Milad recibe de parte de la Presidenta del Instituto de Ingenieros de Chile, Sra. Silvana Cominetti, la Medalla Recordatoria y Diploma de Honor, premio “Justicia Acuña Mena – Año 2022”.

La Sra. Nélida Heresi Milad recibe de parte de la Presidenta del Instituto de Ingenieros de Chile, Sra. Silvana Cominetti, la Medalla Recordatoria y Diploma de Honor, premio “Justicia Acuña Mena – Año 2022”.

El pasado jueves 20 de octubre de 2022, en el Salón de Honor del Instituto de Ingenieros, ante una numerosa concurrencia de autoridades y personalidades, se realizó la ceremonia solemne de entrega del premio “Justicia Acuña Mena – Año 2022”, a la Ingeniera Sra. Nélida Heresi Milad.

La Presidenta del Instituto, Sra. Silvana Cominetti, inició la ceremonia con una breve intervención relativa al significado de este premio. Asimismo, en forma sencilla y elocuente explicó el especial merecimiento de la galardonada de este año, doña Nélida Heresi Milad.

La presentación de la galardonada estuvo a cargo de la Ingeniera Sra. Viviana Meruane, galardonada con el mismo premio el año 2020.

La Presidenta.

—Sra. Nélida Heresi Milad, Premio Justicia Acuña, año 2022. Sra. Viviana Meruane, Premio Justicia Acuña año 2021. Familiares y amigos de la galardonada. Sres. Directores. Socios del Instituto. Señoras y señores.

La labor del Instituto, que este mes cumple 134 años de existencia, incluye entre sus tareas más gratas e importantes la de reconocer los méritos de algunos de nuestros colegas que se destacan en diversas etapas o aspectos de su vida.

El reconocimiento de los méritos profesionales y personales por parte de sus pares ha constituido siempre un importante acto social, presente ya en las civilizaciones más antiguas. Lamentablemente en nuestro país, al parecer como consecuencia de nuestra particular idiosincrasia, este reconocimiento de los méritos por parte de los pares no ha sido una costumbre muy difundida. Conscientes de este hecho, el Instituto de Ingenieros transcurridos pocos años desde su fundación tomó la iniciativa de distinguir a algunos de los ingenieros que se han destacado en determinados aspectos de su ejercicio profesional.

El “Premio Justicia Acuña”, fue instituido el año 1990 por nuestra Corporación, para premiar a la mujer ingeniera civil que se hubiese destacado en el ejercicio de su profesión, ya sea en el campo público o privado. Se otorga cada dos años y en cada oportunidad que ello acontece, el Directorio nombra una Comisión que examina los antecedentes de las postulantes propuestas por los socios, de entre ellas hace una selección que luego se somete a la consideración del Directorio y del Consejo Consultivo del Instituto los que, reunidos en sesión solemne y en votación secreta, disciernen el nombre de la persona premiada.

Al instaurar este premio, el Instituto de Ingenieros quiso destacar en la mujer agraciada las cualidades que poseía Justicia Acuña Mena en el ámbito personal y profesional. Justicia Acuña ingresó a estudiar la carrera en el año 1913 y hasta el año 1917 fue la única mujer que estudió en la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile, constituyéndose en la primera mujer Ingeniero en Chile y en Sudamérica.

Justicia Acuña y un grupo muy reducido de otras profesionales mujeres recibidas a principios del siglo XX fueron la vanguardia en el derribamiento de barreras y prejuicios,

abriendo así el camino para la plena integración de la mujer a la sociedad.

De más estaría intentar destacar los atributos y condiciones que debió poseer Justicia Acuña para estudiar y recibirse en esas particulares condiciones. Lo seguro es que esos mismos atributos le permitieron luego armonizar sus logros profesionales con su vida familiar.

Cabe hacer notar que entre los compañeros de universidad de Justicia Acuña se contaban don Alfredo Gajardo, quien más tarde sería su marido y don Jorge Alessandri, quien llegaría a la presidencia de la nación.

El premio “Justicia Acuña Mena” año 2022, ha recaído este año en nuestra colega **Nélida Heresi Milad**, quien a juicio de los integrantes del Directorio y Consejo Consultivo de nuestro Instituto reúne los atributos personales y profesionales que la hacen merecedora de esta especial distinción a la mujer ingeniera, y será presentada a ustedes con mayor propiedad por la Ingeniera Viviana Meruane, distinguida con este premio en el año 2020.

Estimada Nélida, muchas felicidades.

De acuerdo a la tradición, la presentación de la galardonada la efectuó la Ingeniero Sra. Viviana Meruane, premiada el año 2020.

Sra. Viviana Meruane.

—Señora Silvana Cominetti, presidenta del Instituto de Ingenieros de Chile, señoras y señores integrantes del Directorio del Instituto, estimada Nélida Heresi Milad, familiares, amigos y colegas.

Siguiendo la tradición del Instituto de Ingenieros, como última galardonada con el premio Justicia Acuña Mena me corresponde presentar a la galardona de este año. Para mí es un honor presentar a Nélida Heresi Milad, ganadora del premio Justicia Acuña Mena 2022.

Espero que esta reseña les permita conocer a Nélida más allá de lo evidente en su trayectoria profesional.

Algunas cosas que me gustaría destacar es que a pesar de que Nélida tiene una destacada trayectoria, siendo

reconocida como la experta en hidrometalurgia y aplicación de técnicas nucleares en procesos, es una persona sencilla, alegre y muy agradable. Transmite pasión por lo que hace, motivada por los desafíos y por ser un aporte al país.

Nélida creció en Quillota, en una familia de ascendencia palestina (algo que tenemos en común). Es la segunda de cinco hermanas, desde pequeña fue muy independiente y con una personalidad fuerte por fuera pero muy tierna. Sus primeros estudios los realizó en el Colegio Nuestra Señora del Huerto, sin embargo, no se sentía cómoda con el estricto ambiente religioso. Lo que la hizo cambiarse, primero al Liceo de Niñas de Quillota y luego al Internado Nacional Femenino en Santiago. Fue una excelente estudiante, le gustaba todo, desde la literatura, el cine a la química y las matemáticas. Su elección para estudiar Ingeniería Química se debió a su gusto por estas dos últimas asignaturas. Aunque confiesa que también le hubiese gustado estudiar algo más relacionado con las humanidades. Cuando decidió entrar en ingeniería sus padres se opusieron porque creían que no era una carrera para una mujer, pero insistió tanto que lo logró.

Su experiencia en la facultad de Ingeniería de la Universidad de Chile no fue fácil, en particular los primeros años. Tuvo experiencias que la dejaron marcada, como los controles los sábados y un examen que nunca olvidará. A pesar de esto, tuvo buenos resultados y ya en la especialidad de Ingeniería Química pudo sentirse más a gusto, donde además tenía más compañeras. Las dificultades aparecieron nuevamente cuando tuvo que realizar su tesis, no por temas académicos, sino por la situación de inestabilidad que se vivía en el país. Comenzó su tesis en 1973, en la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN), un lugar donde se realizaba investigación y desarrollo de vanguardia en el país. Sin embargo, debido al golpe militar y los cambios de personal que hubo en ese momento se quedó sin profesor guía. Pasó por tres profesores hasta que finalmente pudo titularse obteniendo la nota máxima en su examen de título.

Su carrera profesional comenzó en la CCHEN, donde estuvo hasta comienzos de la democracia. Cuenta que la interacción con los militares era dura, con quienes no tenía las mejores relaciones, sin embargo, la respetaban en su labor de Ingeniería. En este contexto, postuló a una estancia en el Centro de Investigaciones Nucleares Saclay en Francia, donde estuvo cerca de un año. Una experiencia única, donde tuvo la oportunidad de rodearse con

destacados y destacadas investigadores e investigadoras a nivel internacional.

A su vuelta a Chile, quiso independizarse y armó una consultora, es aquí donde comenzó a acercarse a la minería con un primer proyecto para la división Chuquicamata de Codelco. Aunque se mantuvo ligada a la energía nuclear con diversos proyectos de investigación asociados al Organismo Internacional de Energía Atómica.

Luego de unos años, fue invitada al Centro de Investigación Minera y Metalúrgica (CIMM) como jefa de Proyectos Hidrometalúrgicos y posteriormente asumió un cargo equivalente en el Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia (IM2). Estuvo a cargo de la creación del área de Hidrometalurgia en el IM2 y de establecer las mejores metodologías de caracterización de recursos, experimentación a diversas escalas, pilotos y pruebas industriales, desarrollo de procesos y generación de criterios de diseño, entre otros.

Tuvo un quiebre en su carrera, cuando decidió renunciar al IM2 y unirse a JRI Ingeniería como Ingeniera Jefe del Área de Procesos Bioquímicos. Donde pasó a dirigir proyectos de diseño en ingeniería, alejándose de la investigación que hasta ese momento había sido su fuerte. Fue responsable de la creación del área de procesos bioquímicos de JRI, desarrollando diferentes proyectos de ingeniería en las áreas de hidrometalurgia, tratamiento de aguas y generación de biomasa, entre otros. Luego, fue consultora de procesos de JRI y gerente general del Centro de Investigación de JRI. Ha sido responsable de la creación e implementación de este centro y de la continuidad de un laboratorio de caracterización de pulpas mineras.

Actualmente es consultora independiente y cuenta que le toca resolver todo tipo de proyectos desafiantes en su área, el tipo de problemas que no han podido ser resueltos con el conocimiento estándar.

Además de su trayectoria como Ingeniera, con una participación impresionante en proyectos, Nélida se ha dedicado a la docencia y cuenta con varias publicaciones nacionales e internacionales. También mantiene su interés por el cine y la literatura.

Nélida dice que no planificó su carrera, las oportunidades fueron ocurriendo, pero estoy segura de que todas estas oportunidades las tuvo debido a su excelencia y compromiso.

Es muy exigente con ella y cuando se compromete lo da todo. Le ha dedicado su vida a su carrera profesional.

Su historia es inspiradora y me alegra haber tenido la oportunidad de conocerla y presentarla para este importante galardón. ¡Felicitaciones Nélide!

Muchas gracias.

(Aplausos).

A continuación, la Presidenta del Instituto, procedió a hacer entrega del Diploma de Honor y una Medalla recordatoria a la Sra. Nélide Heresi Milad. Acto seguido, la Sra. Heresi agradeció la distinción en los siguientes términos.

Sra. Nélide Heresi Milad.

—Sra. Silvana Cominetti, Presidenta del Instituto de Ingenieros de Chile. Señoras y Señores integrantes del Directorio del Instituto, Sr. Decano de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Estimados familiares de la Sra. Justicia Acuña. Estimada Viviana, mi distinguida y muy merecedora colega que me antecedió en el premio. Familia, amigos y colegas.

Pienso que la vida muchas veces es circular y recibo con mucha humildad y orgullo el premio Justicia Acuña, primera mujer ingeniera de Chile, en una etapa casi final de mi carrera profesional.

Tuve el honor de conocerla y el privilegio de trabajar con su hijo Mallén Gajardo, distinguido colega y amigo de los primeros años de mi carrera profesional.

La elección de la carrera de ingeniería fue para mí una decisión “inocente”. Me gustaban las matemáticas y la química, razón por la que decidí cursar ingeniería química, sin tener noción concreta de lo que significaba la carrera. No recuerdo haber tenido oposición por parte de mis padres, solo “veo” a mi padre advirtiéndome de que sería difícil y en un ambiente de hombres.

Los primeros años de universidad fueron muy duros. Yo venía de provincia, Quillota, y terminé la secundaria en Santiago en el Internado Nacional Femenino, correspondiente al internado del Liceo N°3. Enfrentarme a cursos de

100 alumnos, desconocidos para mí, fue difícil. En general había alumnos de los colegios “emblemáticos” que se conocían entre ellos y estudiaban juntos, Los de provincia éramos *rara avis*; las mujeres también pertenecíamos a este grupo; éramos poquitas, pero solidarias entre nosotras. Recién al tercer año comenzaron los ramos de ingeniería química; la entrada a la especialidad fue un gran cambio: al fin tenía compañeros más allá de la H, I, J y pude sentirme más integrada! (para los que no lo saben, los cursos eran por letra del apellido en esos tiempos). Éramos 35 alumnos, y 7 u 8 mujeres, comenzando la década del '70; convulsión y cambios políticos de los que la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile no estaba ajena.

Fue una época enriquecedora para nosotros, estudiábamos mucho y tratábamos de terminar la carrera pronto, con una convicción profunda de que el país nos necesitaba. Teníamos también conciencia de que nuestros padres apenas podían mantener los gastos de hijas en la universidad (en mi caso, éramos 3 de 5 hermanas estudiando carreras universitarias), y de que era necesario salir a trabajar.

Egresé el año 1973 y entregué mi tesis el año 1974. Tuve 3 profesores guías; los 2 primeros emigraron por la dictadura. Durante agosto del 73 postulé como memorista a la CCHEN, y entré a trabajar al Centro de Estudios Nucleares La Reina. Las consecuencias del golpe de septiembre me dejaron sola en el área de Aplicaciones Industriales del Centro. Fueron tiempos difíciles.

Los años en la Comisión fueron muy especiales: éramos un grupo de profesionales jóvenes, en un Centro Tecnológico soñado, con un Reactor que había que poner en marcha y todo por hacer. Ahí tuve la oportunidad de trabajar con Mallén Gajardo, hijo de la Sra. Justicia. Esos tiempos fueron imborrables por todas las tecnologías que pudimos poner a punto y la puesta en marcha del reactor. Formamos un equipo humano potente en Aplicaciones de radioisótopos, conformado por profesionales de primer nivel. De entonces, guardo amistades valiosísimas, colegas y amigas fuertes, valerosas y empoderadas que me acompañan hoy aquí.

Mirando hacia atrás, los años en CCHEN me entregaron una lección de vida: para transgredir los límites del conocimiento y de la aplicación de éste, la creatividad es fundamental. Esta creatividad, trabajando en equipos humanos profesionales de buen nivel, tiene el poder de ser transgresora, y de desafiar los límites y de crear

oportunidades. Cuánto del trabajo cotidiano se alimenta por esto; y la osadía de los equipos se nutre y enriquece en circuitos de permanente creatividad. Reconozco también el legado de mi madre Olga, impulsora de la osadía con que he tomado diferentes desafíos profesionales a lo largo de mi carrera. Ella, con cinco hijas y un esposo enfermo, nos sacó adelante a punta de creatividad, tesón y arrojo.

Entre CCHEN y Codelco, armé una consultora, cuya vida media fue bastante efímera. Me entretenía más haciendo el trabajo que vendiendo proyectos. Eso significaba que me abocaba totalmente a efectuar el trabajo que me gustaba mucho y olvidaba que el flujo de caja no perdona.

Entonces fui invitada a entrar al CIMM, Centro de Investigación Minero Metalúrgico, para luego formar parte del nuevo Centro de Innovación en Minería y Metalurgia, IM2, de Codelco.

En ambos lugares, fui responsable de armar grupos de procesos de Lixiviación y Biolix. de minerales. Resulta interesante destacar que naturalmente todos los equipos que he formado, han estado conformados por hombres y mujeres, sin pensar explícitamente en paridad de género. Me gusta trabajar de ese modo; equipos ricos en trayectorias, experiencias, conocimientos; con profesionales de distintas universidades. Soy una convencida de que equipos conformados en diversidad poseen un espectro más amplio de capacidades, de creatividad, de ejecución de proyectos complejos.

Tal vez una de las razones por las que mi consultoría fue efímera se deba a que para mí el trabajo en terreno siempre ha sido muy relevante, y de que mi trabajo ha estado siempre vinculado al terreno, conectada con los procesos y con conocimiento real de lo que ocurre en las plantas.

En Codelco participé en la formación de su filial de Investigación y Desarrollo, Biosigma, y en Casa Matriz, en revisión de los APIs de Proyectos. Estos desafíos me entregaron conocimiento, herramientas y experiencias de vida invaluable. Si pienso en esos años y pudiera resumirlo en pocas palabras, diría que fueron años de creatividad y alto nivel de stress. Pero, en los que viví un alto grado de adicción a la adrenalina, disfrutando los desafíos y -aunque suene curioso- el estrés vivido.

Fueron años intensos, tras los cuales decidí buscar un tiempo de descanso fuera de Codelco. Entonces conversamos



Sra. Nérida Heresi, durante su discurso.

con Juan Rayo, y bueno, la historia es conocida. Me quedé trabajando con él, en JRI Ingeniería, donde me encomendaron la labor de formar el grupo de Procesos Bioquímicos.

Esto me significó una absoluta re-inención: yo había acumulado experiencia en el área de innovación y tecnología, y tuve que aprender de diseño de Procesos. Y en esto de que la vida es circular, volví a mis inicios y “a casa”, participando luego en la creación del Centro de Investigación de JRI, Centro del que fui Gerente General algunos años.

Desde entonces, he decidido dar rienda a otros espacios de creatividad de mi vida, que me entreguen más libertad de pensamiento, de búsqueda, de creación y amistad. Actualmente divido mis días entre mi trabajo como Consultor de proyectos nuevos, en un ejercicio profesional independiente y más acotado, para destinarle tiempo a mis amistades y familia, a la lectura, cine y a la naturaleza.

Como ave diferente en un corral, comprendí rápidamente que los límites de vuelo podrían ser puestos desde afuera, pero que el máximo peligro residía en los límites autoimpuestos desde adentro, desde la inseguridad y/o desde la falta de confianza en nuestras propias capacidades. Difícil sería, me lo dijo mi padre. Pero con creatividad e ímpetu, todo se podría, según mi madre. Gracias a la compañía de grandes colegas y amigos, he conseguido emprender vuelos importantes, no exentos de dificultades, pero llenos de riqueza, experiencia, logros y amistades. Contenta estoy



La Sra. Nélida Heresi, Premio Justicia Acuña Mena año 2022 en compañía de la Sra. Silvana Cominetti, Presidenta del Instituto de Ingenieros de Chile, la Sra. Viviana Meruane, galardonada con el premio Justicia Acuña Mena año 2020.

de no haber sido la única profesional que emprendió vuelos altos; muchas de las colegas con quienes trabajé ocupan puestos altos como Presidentas de Directorio, directoras de empresas, Gerentas, etc.

Y hoy les digo a todos: el límite debe ser muy alto, no se permitan no conocer ni ejercitar sus alas, menos que se las corten. La riqueza de los equipos transformadores radica en la potencia de cada uno de sus miembros. Y como mujer, provinciana, ave rara para los tiempos en los que me tocó crecer, considero que la creatividad y constancia en profesionales bien preparados es fundamental para alcanzar desafíos grandes.

Quiero agradecer al Depto. de Ingeniería Química de la Facultad, quienes a través de la Profesora María Elena Linqueo me consideraron merecedora de postular a este premio y aquellos, que con sus cartas apoyaron la postulación, también al Directorio del Instituto de Ingenieros de Chile por aprobar esta distinción.

Una de mis colegas dijo en su discurso de premiación que era un honor ser parte del grupo de las “Justicias” y eso es muy cierto. No puedo dejar de pensar en ella, y en lo difícil que debe haber sido su osadía de esos tiempos, ¿cómo no poder volver al pasado y preguntarle cómo fue para ella? ¡Qué valiente, lúcida y llena de fortaleza para ejercer, formar una familia y todo lo que ello conlleva! Un enorme saludo para ella y sus descendientes.

Uno es también la suma de sus afectos, varios de ellos ya no están conmigo y los extraño, como no pensar en mis padres, mis amigos Carlos, Ramón, Buby, Rodrigo y Susy, un saludo a ellos, estén donde estén. También a todos los afectos aquí presentes, a los que no pudieron venir por diferentes motivos y a los que no pude invitar por aforo.

¡Gracias!

(Aplausos).

PREMIO “RAMÓN SALAS EDWARDS – AÑO 2022”

A NotCo®,
inteligencia artificial chilena que ayuda al mundo
a combatir el cambio climático.



Karim Pichara



Pablo Zamora



Matías Muchnick

El Instituto de Ingenieros de Chile, en reunión conjunta del Directorio Ejecutivo y Consejo Consultivo, el día 24 de agosto pasado otorgó el premio “Ramón Salas Edwards – Año 2022” al desarrollo de “NotCo®, inteligencia artificial chilena que ayuda al mundo a combatir el cambio climático” de los autores Karim Pichara (CTO), Ingeniero Civil Industrial y Ph.D. en Ciencia de la Computación. Cofundador NotCo®, Pablo Zamora, Science Advisor y Cofundador, Matías Muchnick, CEO y Cofundador.

En forma privada, en la Presidencia del Instituto de Ingenieros la Sra. Silvana Cominetti se reunió con uno de los coautores, el Sr. Pablo Zamora, actual Presidente de Fundación Chile y le hizo entrega de la distinción.

Los señores Pichara y Muchnick se encuentran radicados fuera del país y a petición de ellos, se les enviaron sus respectivos diplomas.

NotCo®. Es una empresa chilena de tecnología alimentaria que produce alternativas de origen vegetal a los productos alimenticios de origen animal. NotCo® fue fundada por Karim Pichara profesor del Departamento de Ciencia de la Computación de la PUC, Matías Muchnick y Pablo Zamora.

NotCo® es una foodtech líder en la utilización de tecnología de IA –desarrollada y patentada por la Compañía– a través de la cual puede reemplazar las proteínas de origen animal de los alimentos por otras basadas enteramente en productos vegetales. Gracias a Giuseppe, algoritmo desarrollado por NotCo® que combina IA y ciencia molecular, la Compañía es capaz de analizar estructuralmente los alimentos de origen animal y replicarlos a base de ingredientes vegetales, manteniendo las propiedades de textura, nutrición, funcionalidad y, por, sobre todo, sabor. Como se puede ver en el Anexo, ha patentado también el uso de la tecnología de la IA para recrear ahora los aromas de las comidas de origen animal.

Una parte importante del valor de la Compañía radica en la biblioteca de las propiedades organolépticas que han determinado para más de un millar de productos vegetales, gracias al trabajo de bioquímicos dedicados a la tarea, lo que ha significado una inversión importante, pero que le da a la compañía una ventaja competitiva tecnológica muy relevante, que no se puede imitar de la noche a la mañana. Esta es la base sobre la cual el algoritmo Giuseppe puede formular con éxito la combinación de productos de la biblioteca que reproducen aroma, textura, color y sabor de los alimentos de origen animal.

Su portafolio está compuesto, hasta ahora, por NotMayo®, NotIceCream®, NotMilk®, NotBurger®, NotChickenNuggets®, NotChickenBurger® y recetas tradicionales de pollo frito. Cuenta con operaciones y presencia en Chile, Argentina, Brasil y Estados Unidos, y además de presencia en México, Colombia, Perú y Paraguay. Por otro lado, NotCo® planifica continuar con su desarrollo y expansión global, esperando entrar pronto al mercado de Canadá y Extremo Oriente.

NotCo® se presenta como una Compañía global que ha generado un cambio de paradigma en la industria de consumo masivo de alimentos, irrumpiendo de manera simultánea con productos de origen vegetal en categorías como lácteos, huevos y carne. Recibió la aprobación para patentar en Estados Unidos parte de las aplicaciones de Giuseppe, su tecnología basada en IA que la reconoce como líder en la utilización de IA en la industria alimentaria.



Cabe consignar que, en el proceso de producción a base de productos vegetales, NotCo® logra una reducción importante en el uso de energía y agua, así como de emisiones de CO₂ para cada una de sus categorías:

- NotMayo: 83% de ahorro de agua; 32% de ahorro de energía; y 37% de ahorro de CO₂.
- NotMilk: 92% de ahorro de agua; 74% de ahorro de energía; y 74% de ahorro de CO₂.
- NotIcecream: 94% de ahorro de agua; 77% de ahorro de energía; y 77% de ahorro de CO₂.
- NotBurger: 87% de ahorro de agua; 89% de ahorro de energía; y 89% de ahorro de CO₂.

Consumir productos animales daña el planeta. No solo la crianza de animales ocupa una parte importante de los terrenos cultivables y ha impulsado la deforestación del Amazonas, sino que la digestión de los animales de estómago compuesto emite 9% del metano que va a la atmosfera.

Este desarrollo está en un valor máximo con un TRL 9, encontrándose actualmente en el mercado. A julio de 2021 la empresa tenía un valor de 1500 millones de dólares y había logrado atraer como inversionistas a personajes y empresas claves como Bezos Expeditions, Future Positive, L Catterton, Kaszek Ventures, The Craftory, General Catalyst, Maya Capital, Roger Federer y Endeavor Catalyst.

La Compañía ha tenido un crecimiento explosivo y ha formado empresas conjuntas con gigantes mundiales como la norteamericana Kraft Heinz y la francesa Roquette. Además, ha incorporado sus productos a las grandes cadenas norteamericanas como Starbucks, Papa John’s y Burger King, así como las latinoamericanas, Mostaza, Jumbo y Pao d’Açucar.

PREMIOS A LOS ALUMNOS DESTACADOS DE INGENIERÍA CIVIL - AÑO 2022



En la fotografía, alumnos galardonados con los premios “MARCOS ORREGO PUELMA”, “ISMAEL VALDÉS VALDÉS” y “ROBERTO OVALLE AGUIRRE”, junto a las autoridades del Instituto y de sus respectivas Casas de Estudio.

El jueves 6 de octubre de 2022, en el Salón de Honor del Instituto de Ingenieros de Chile, tuvo lugar la ceremonia de entrega de los premios “MARCOS ORREGO PUELMA”, “ISMAEL VALDÉS VALDÉS” y “ROBERTO OVALLE AGUIRRE”, año 2022.

La Sra. Silvana Cominetti, Presidenta del Instituto, inició este solemne acto con una breve y significativa alocución en la que destacó el fundamento de cada premio:

La Prresidenta.

—Estimados Decanos y Representantes de las Facultades de Ingeniería que nos acompañan el día de hoy.

- Distinguidos premiados, familiares de los galardonados, señoras y señores:

Me es muy grato dar a ustedes la más cordial bienvenida a la ceremonia que hoy nos reúne, y que es doblemente significativa para nuestra Institución.

En efecto, por un lado, el Instituto de Ingenieros de Chile, a través de las distinciones que hoy entrega, honra la memoria de prestigiosos Ingenieros cuyos nombres invocamos en estos galardones y, por otra parte, rendimos un merecido homenaje a los Ingenieros Civiles más destacados que han egresado de nuestras Universidades.

Antes de hacer una breve referencia sobre quiénes fueron los señores Marcos Orrego, Ismael Valdés y Roberto Ovalle, permítanme contarles brevemente sobre el procedimiento de selección de quienes hoy distinguiremos.

Cada año, el Instituto solicita a las respectivas Facultades o Escuelas de Ingeniería de las Universidades de las cuales son egresados nuestros premiados, proposiciones de no más de 5 candidatos, que consideren idóneos para cada uno de los premios señalados.

Con la proposición efectuada, el Instituto forma una Comisión integrada por uno o más miembros del Directorio y un miembro del Consejo Consultivo de nuestra Institución, que junto a los Decanos o académicos que cada Facultad designa en su representación, examinan los antecedentes de los candidatos, los selecciona y efectúa la proposición al Directorio y al Consejo Consultivo de nuestra Corporación, que en sesión conjunta y solemne procede a discernir cada uno de los premios.

Los nombres y fundamentos de cada uno de los premios que hoy se otorgan son los siguientes:

PREMIO MARCOS ORREGO PUELMA.

—Don Marcos Orrego Puelma, nació en 1890 y falleció en 1933, fue un prestigioso Ingeniero egresado de la Universidad de Chile en 1916. En él se puede apreciar la

amalgama más estrecha de honor, virtud, rectitud, esfuerzo constante y digno, en una época marcada de vacilaciones y convencionalismos.

Destacó entre sus compañeros por su inteligencia, dedicación y desprendimiento y su gran espíritu de servicio, además de su carácter noble y justo, que lo llevó a representar a su curso como delegado ante la Federación de Estudiantes de Ingeniería.

Desempeñó importantes cargos en la Empresa de Ferrocarriles del Estado, en el Ministerio de Economía y posteriormente en la industria privada, siendo miembro del Directorio del Instituto desde 1921 hasta su fallecimiento en el año 1933.

Este Premio, que lleva su nombre, se instituyó en el año 1936, y se otorga cada año al mejor alumno entre los Ingenieros egresados de la Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Concepción, Universidad Técnica Federico Santa María, Universidad de Santiago de Chile, Universidad Diego Portales, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y Universidad de los Andes, de la promoción del año inmediatamente anterior al del otorgamiento del premio.

PREMIO ISMAEL VALDÉS VALDÉS.

—Don Ismael Valdés Valdés, nació en 1859 y falleció en 1949, fue un prestigiado Ingeniero titulado en la Universidad de Chile en el año 1878.

De personalidad marcada por una inteligencia clara, servida por una vigorosa formación moral, tuvo pasión por el cumplimiento del deber, demostrando fuerza de ideales y capacidad de realizaciones, que sólo coexisten en los individuos predestinados a tomar parte activa en las grandes empresas de nuestro país.

Se distinguió por su dilatada y fructífera vida pública, en el campo político, gremial y filantrópico.

El año 1927 el Instituto de Ingenieros de Chile le designó Miembro Honorario y más tarde, en 1938, le otorgó la Medalla de Oro, distinción con la que anualmente se honra a un ingeniero, que es elegido entre los que se estima dignos de tal galardón por los servicios prestados al país en alguna de las múltiples actividades de la ingeniería.

El Premio Ismael Valdés Valdés fue instituido en el año 1953 y se otorga cada año a los Ingenieros egresados de las Universidades que he mencionado anteriormente, y se hayan distinguido simultáneamente por:

1. Las aptitudes para organizar y dirigir.
2. Las condiciones morales y,
3. La preparación técnica.

PREMIO ROBERTO OVALLE AGUIRRE.

—Don Roberto Ovalle Aguirre, nació en 1892 y falleció en 1974, se tituló de Ingeniero Civil en 1917 en la Universidad de Chile, fue uno de los más destacados y eficientes hombres de nuestro país. Poseedor de las condiciones necesarias para constituirse en jefe indiscutido: honradez, inteligencia vigorosa y rápida, conocimientos, gran carácter y justo sentido de la autoridad, tenía la virtud de imponer sus opiniones sin provocar reacciones desfavorables. Supo conciliar la severidad con la justicia, la comprensión y la bondad. Siempre comprendió que el más preciado elemento de que puede disponer una industria es el esfuerzo humano, por eso, no escatimó sacrificios para dar a sus trabajadores el mayor bienestar posible.

Propició y llevó a cabo numerosas iniciativas en favor de los trabajadores: a él se deben los Departamentos de Bienestar Social y la creación de poblaciones obreras. En este aspecto, dejó una lección de solidaridad humana, que tuvo el raro privilegio de ser reconocida por su personal mientras él actuaba.

El Premio “Roberto Ovalle Aguirre”, fue instituido en el año 1949 y distingue a los Ingenieros egresados de las Universidades que ya hemos mencionado y se otorga cada año al, o a los autores del mejor proyecto o memoria para obtener el título de Ingeniero Civil, que esté relacionado con la instalación o explotación de una industria relevante para el fomento de la economía nacional.

Antes de finalizar estas palabras, permítanme los premiados, en mi calidad de Presidenta del Instituto de Ingenieros, complementar la información que se les diera en la reunión a la que fueron invitados en septiembre recién pasado, en la que se les explicó brevemente la misión de nuestra Corporación.

La Institución que hoy los distingue, que cumple 134 años de existencia el próximo 28 de octubre, sigue vigente y desarrollándose con gran vitalidad. Sus miembros estamos empeñados en cumplir los postulados de nuestro acto fundacional, informando, en nuestro caso, a las nuevas generaciones de ingenieros acerca de los aspectos que distinguen al Instituto de cualquier otra entidad de este país.

Su esencia consiste en que aquellos ingenieros que ingresan como socios tienen presente que esta es una entidad que tiene como característica fundamental, el que sus socios hacen un aporte al desarrollo de la enseñanza de la ingeniería, a ella como disciplina y como consecuencia de lo anterior al desarrollo de nuestro país. Esta forma de colaboración, este voluntariado, es la que ha adoptado el Instituto desde su creación y así lo han entendido sus asociados que han permanecido fieles a esta tradición.

Es en el contexto anotado que también debo mencionar a ustedes que el directorio de esta corporación acordó hace ya varios años, que los ingenieros agraciados con estos premios y que se sientan motivados por los fines que persigue el Instituto, si lo desean puedan ingresar como miembros, sin necesidad de incurrir en el pago de la membresía por los primeros dos años de pertenencia.

En relación a esto último, hago mención a los galardonados, que el Instituto tiene un Programa de Mentores. Este consiste en tener ingenieros senior en calidad de tutores de ingenieros jóvenes recién titulados, que se inician en el mundo laboral, que lo han solicitado, y que han ingresado al Instituto en calidad de socios activos, con el objeto de darles orientación profesional y laboral que alguno pudiese requerir.

Permítanme entonces expresar mis más sinceras felicitaciones a los Ingenieros que hoy serán distinguidos y a sus familias.

Muchas gracias.

Acto seguido, la Presidenta, Sra. Cominetti procedió a hacer entrega de los correspondientes galardones:



PREMIO “MARCOS ORREGO PUELMA”: Universidad de Chile: Mauricio Esteban González Gutiérrez; P. Universidad Católica de Chile: Thomas Reisenegger Butron; Universidad de Concepción: Ramiro Estéfano Carrillo Contreras; Universidad Técnica Federico Santa María: Diego Nicolás Jiménez Bustamante; Universidad de Santiago de Chile: Tamara Andrea Sawady Marchant; Universidad Diego Portales: Tahía Fernanda Herrera Cerda; P. Universidad Católica de Valparaíso: Felipe José Larenas León; y Universidad de los Andes: José Tomás Toledo Jaureguiberry.

Premio “Marcos Orrego Puelma”.

- Universidad de Chile: Mauricio Esteban González Gutiérrez.
- P. Universidad Católica de Chile: Thomas Reisenegger Butron.
- Universidad de Concepción: Ramiro Estéfano Carrillo Contreras.
- Universidad Técnica Federico Santa María: Diego Nicolás Jiménez Bustamante.
- Universidad de Santiago de Chile: Tamara Andrea Sawady Marchant.
- Universidad Diego Portales: Tahía Fernanda Herrera Cerda.
- P. Universidad Católica de Valparaíso: Felipe Jose Larenas León.
- Universidad de los Andes: José Tomás Toledo Jaureguiberry.

Premio “Ismael Valdés Valdés”.

- Universidad de Chile: Joel Ignacio Fierro Ulloa.
- P.Universidad Católica de Chile: Isidora Vizcaya Soto.
- Universidad de Concepción: Martín Francisco Migueles Millar.
- Universidad Técnica Federico Santa María: John Ignacio Rodríguez Mora.
- Universidad de Santiago de Chile: Tatiana Andrea Rojas Correa.
- Universidad Diego Portales: Camila Fernanda Parra Suazo.
- P. Universidad Católica de Valparaíso: Víctor Manuel Espínola Cerpa.
- Universidad de los Andes: Álvaro Tomás Cereceda Caneo.



PREMIO “ISMAEL VALDÉS VALDÉS”: Universidad de Chile: Joel Ignacio Fierro Ulloa; P. Universidad Católica de Chile: Isidora Vizcaya Soto; Universidad de Concepción: Martín Francisco Migueles Millar; Universidad Técnica Federico Santa María: John Ignacio Rodríguez Mora; Universidad de Santiago de Chile: Tatiana Andrea Rojas Correa; Universidad Diego Portales: Camila Fernanda Parra Suazo; P. Universidad Católica de Valparaíso: Víctor Manuel Espínola Cerpa; y Universidad de los Andes: Álvaro Tomás Cereceda Caneo.

Premio “Roberto Ovalle Aguirre”.

- Universidad de Chile: Valentina Danae Vicencio Sura.
- P. Universidad Católica de Chile: Francisca Aguirre Correa.
- Universidad de Concepción: Angelo Enrique Zapata Lillo.
- Universidad Técnica Federico Santa María: Sebastián Ignacio Bórquez González.
- Universidad de Santiago de Chile: Diego Marcelo Monteverde Guzmán.
- Universidad Diego Portales: Yerko Miguel Ortiz Mora.
- P. Universidad Católica de Valparaíso: Katrina Stamulis Vergara y Víctor Beas Carquín.
- Universidad de los Andes: María Sofía Castro Schmidt.

A continuación, el ingeniero Álvaro Cereceda Caneo de la Universidad de Los Andes, en representación de los premiados expresó sus agradecimientos, en los siguientes términos:

Sr. Álvaro Cereceda.

—Estimada señora Presidenta Silvana Cominetti, estimados miembros del Directorio del Instituto de Ingenieros de Chile, Autoridades Académicas, Ingenieros presentes, familiares y a todos y cada uno de los presentes.

Quiero agradecer a cada uno de ustedes por estar aquí, especialmente quienes acompañan a los premiados, ya que ellos representan a quienes han estado a nuestro lado durante todo nuestro proceso formativo y educacional. Creo que los distintos premios que recibimos hoy son el



PREMIO “ROBERTO OVALLE AGUIRRE”: Universidad de Chile: Valentina Danae Vicencio Sura; P. Universidad Católica de Chile: Francisca Aguirre Correa; Universidad de Concepción: Ángel Enrique Zapata Lillo; Universidad Técnica Federico Santa María: Sebastián Ignacio Bórquez González; Universidad de Santiago de Chile: Diego Marcelo Monteverde Guzmán; Universidad Diego Portales: Yerko Miguel Ortiz Mora; P. Universidad Católica de Valparaíso: Katrina Stamulis Vergara y Víctor Beas Carquín; y Universidad de los Andes: María Sofía Castro Schmidt.

reconocimiento a las muchas personas que son parte de nuestras vidas y nos han facultado para ser quienes somos: **personas dispuestas a servir a nuestro país.** Al preparar estas palabras, lo más presente en mi mente era dar las gracias a las personas que compartieron nuestro camino, las que son una parte importante de nuestra vida actual, y también a quienes aun cuando hoy no los conocemos, sabemos que nos ayudarán a construir nuestro futuro.

Muchas gracias al Instituto de Ingenieros, por invitarnos a recibir estos reconocimientos, compartiendo la posibilidad de expresar nuestra gratitud.

Cuando pensé en dar gracias, especialmente vino a mi corazón mi familia, en la cual crecí viviendo la fe católica como una forma de entrega hacia los demás. También pensé en dar gracias a mis amigos y colegas, con quienes

compartimos las aventuras del desarrollo universitario. Gracias a nuestros profesores, por haber estado permanentemente desafiándonos a “Ir por más”, hasta recibir la sorpresa de ser llamados por el Instituto de Ingenieros de Chile y estar aquí hoy.

El lema del Instituto es: “promover la excelencia de la ingeniería y contribuir al desarrollo del país”. Creo interpretar a quienes estamos hoy aquí, que vemos la excelencia como una búsqueda permanente, poniendo nuestras capacidades a dar solución a los temas que hoy inquietan a nuestra sociedad. ¿Cómo podríamos interpretar estos premios? ¿Qué viene después de la premiación? Somos ingenieros y me parece que junto con la pregunta también hemos planteado una solución y nueva inquietud. ¿Podré lograr alcanzar mis desafíos por mí mismo?



Sr. Álvaro Cereceda, Universidad de los Andes.

Uno de mis grandes aprendizajes fue conocer el proverbio africano que dice: “Si quieres cumplir tus metas, hazlo solo, si quieres llegar lejos, anda en equipo...” Creo que los presentes si podrán lograr sus metas, y con excelencia, que es lo que se galardona hoy. El llamado real, es a no quedarnos con las metas individuales, nuestro desafío es influir en muchos ingenieros para que, más allá de estar enfocados en sus propias metas, también vibren por las de sus pares, amigos, familiares y de la sociedad como un todo. Son metas grandes, por lo que no basta solo con armar el equipo, estamos llamados a asumir un claro rol de líder, lo cual nos llevará lejos si nos ponemos al servicio del país. Para mí el mensaje es claro, pero aun así me gusta plantearlo como duda, ¿Serán los aprendizajes más relevantes aquellos que nos llegan de los equipos que formamos en el camino?

Al ingresar a la Universidad de Los Andes, fui con la intención de aprender. Paulatinamente fui descubriendo lo mucho que me gusta transmitir y compartir mis conocimientos. Con el avance de la carrera me fui dando cuenta que la forma de construir el camino hacia el verdadero conocimiento es aprender a aprender. Por otro lado, desde muy joven con mi padre descubrí que una forma de alcanzar estos conocimientos era a través de los paseos a la montaña. Al verme sacado de mi zona de confort, aprendí que al salir de la casa y alejarme de la consola del “Play”, la naturaleza es una gran educadora, y el cerro un gran maestro: la naturaleza que nos rodea nos conecta de manera espiritual al contemplarla, nos puede unir al interés por conocer más acerca de cómo se estructura, nos ayuda a separarnos de las cosas materiales y apreciar lo que nos rodea. Nos insta a buscar la forma de preservarla, que, como generación, es una de nuestras principales responsabilidades y desafíos.

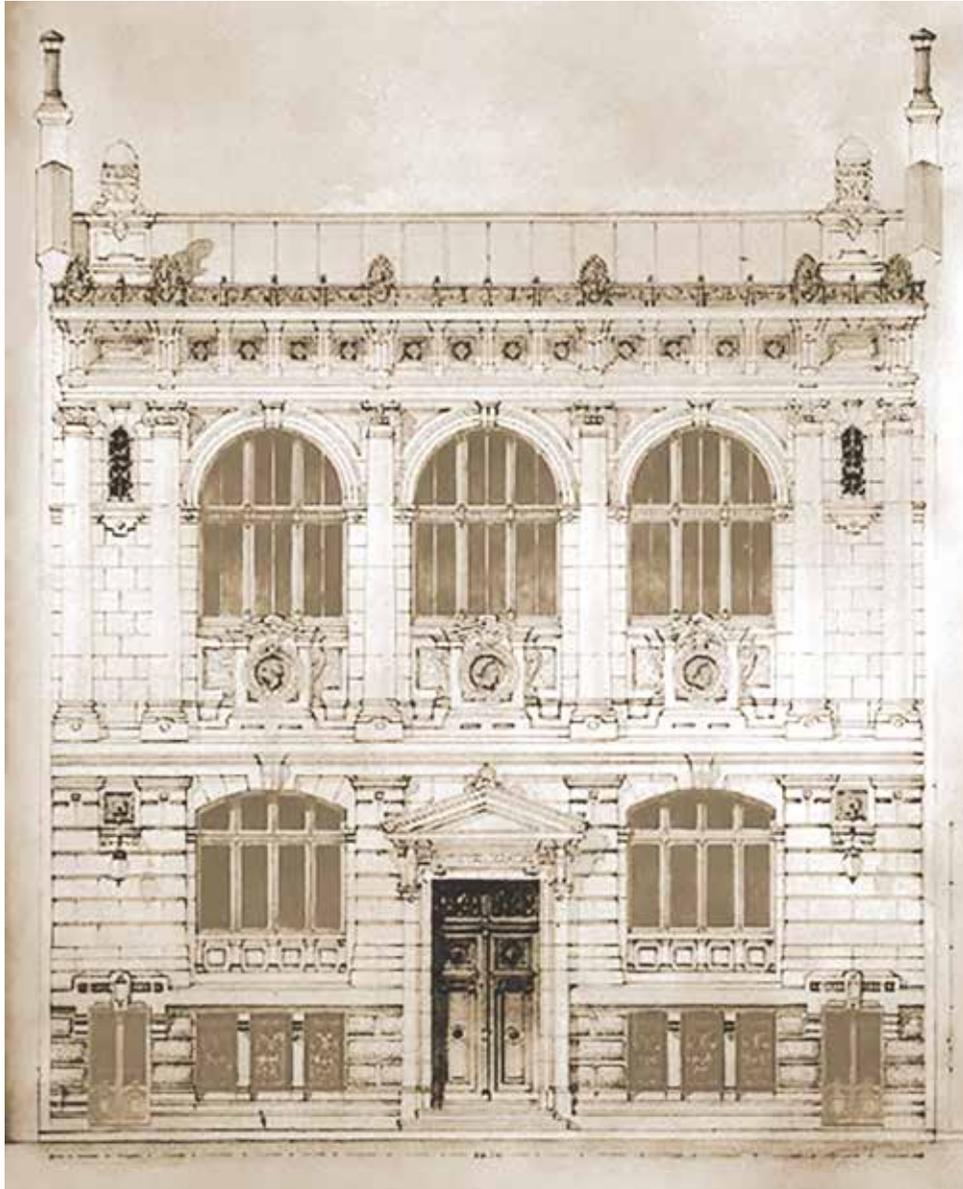
Queridos colegas premiados, al mirar atrás y recordar las actividades de voluntariado social, deportes, actividades académicas, y todo lo que nos trajo hasta aquí, hoy solo podemos pensar que eso es parte del pasado y hoy estamos llamados a ser líderes en el Chile del futuro. Más que a construir la infraestructura, industria y servicios de Chile, nuestro llamado es a construir un país más desarrollado, en forma sustentable y con una sólida base cultural, que nos conduzca a un verdadero desarrollo social centrado en la plenitud de las personas.

Desde ya, somos parte de la construcción de un nuevo Chile. Quedo en sus confiables manos, y por mi parte daré mi apoyo en lo que pueda para alcanzar esta meta común.

¡Viva Chile!

(Aplausos).

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 Carlos Mercado Herreros y al Ingeniero José Rodríguez Pérez. Estas entrevistas, como las que se hagan en el futuro, serán objeto de una publicación especial.

CARLOS MERCADO HERREROS

Ingeniero de Grandes Obras.

En el colegio el ramo que más le gustaba era Matemática y además un ramo que siempre le atrajo fue Historia. Cree que de una u otra forma la historia nos enseña a no tropezar con la misma piedra. Nos cuenta que, en su decisión de estudiar ingeniería, lo influyó mucho ser hijo de Carlos Mercado Schuler, gran matemático, profesor y autor de libros de educación muy conocidos. Agrega que el hermano de su padre, empresario, también fue un ejemplo para él en esos años. Siempre pensó ser ingeniero civil, pero en una mención que no existía todavía, construcción, y por ello tomó la mención estructural. Sonriendo nos dice que hoy día cree que no podría calcular una viga. Entró a la Universidad de Chile porque en esos años él consideraba que era la mejor Universidad para estudiar esta carrera. Entre sus compañeros estaban Mauricio Sarrazín, quien era el mejor del curso, Luis Nario, David Campusano y Jorge Sturms. Son un grupo de veinte colegas, y hasta hoy se reúnen todos los meses y anualmente, salvo los años de pandemia, han viajado juntos con sus parejas recorriendo diversos países de nuestra América.

Desde el punto de vista laboral, lo primero que hizo fue trabajar en la empresa “Mercado y Hartley” que se había ganado un contrato para instalar las repetidoras de la señal de Entel con antenas entre Santiago y Concepción, y con su compañero de curso Jorge Sturms tuvieron la tarea de diseñar los caminos de acceso. Posteriormente nos cuenta que trabajó en grandes contratos de ingeniería y construcción. Así es como en el año 1966 ingresa a Endesa donde inicialmente estuvo en la Central El Toro y a continuación en la Central Antuco, en la zona del lago Laja. Posteriormente estuvo en los proyectos de Colbún-Machicura y en el Embalse Pehuenche, ambos en la hoya del río Maule, para culminar esta etapa en el Embalse Canutillar en la provincia de Llanquihue. Nos relata que en todo este período adquirió gran experiencia en la administración y ejecución de grandes obras de ingeniería. En 1988, salió del área de obras para dedicarse al área de explotación, siendo designado Administrador de Endesa en Concepción. A esas alturas Endesa fue adquirida por Enersis y en esa etapa lo nombran Gerente General de Ingendesa, donde estuvo diez años, desarrollando ingeniería para proyectos en Chile y en toda Latinoamérica. En esos años lo enviaron a Brasil para adquirir experiencia en manejo de contratistas, y conocimiento en el manejo de claims.



El año 2000 se retira de Ingendesa, y al año siguiente es contratado por la empresa Metro como Gerente de Construcción. Ahí participó en la construcción de numerosas estaciones y líneas del Metro de Santiago, contribuyendo directamente al desarrollo de la más importante inversión de infraestructura pública de la ciudad de Santiago, que ha implicado la mejora en conexión y calidad de vida de tantas personas.

Siempre tuvo alguna cercanía con los ámbitos académicos. Cuando estuvo en la Central El Toro, hizo clases de topografía subterránea en la Universidad de Concepción, recordando que en esos años todo era con los instrumentos históricos, y no existía la tecnología láser de hoy en día. El año 2008 tomó un curso de arbitraje en la Facultad de Derecho de la Universidad de Chile, que se dio en el Centro de Arbitraje de la Cámara de Comercio de Santiago. Además, dio numerosas conferencias sobre ingeniería y construcción de grandes obras, aportando su visión desde la experiencia en terreno, en la Universidad de Chile y en la Universidad Católica, y también dictó numerosas charlas técnicas en temas específicos, como por ejemplo el uso del tiro noruego en desarrollos mineros, técnica muy novedosa en esos años. Como anécdota nos cuenta que estando en terreno en los años 70 al 73 le llegaron órdenes del Gobernador de la época, donde le mandaba listas de personas para ser contratadas, y tuvo que hacer cuadrillas de obreros para recuperar clavos botados en la obra, ya que había escasez de clavos, así que la labor era en definitiva productiva: toda una locura nos dice sonriendo.

A causa de su trabajo vivió en Los Ángeles y en Talca, siempre con su familia, incorporándose a la vida en esas ciudades como socio de clubes sociales y actividades locales en el entorno donde le tocó vivir. Le gustaría ser recordado como un buen hombre de familia. Nos cuenta que uno de sus recuerdos memorables fue ser papá la primera vez. Le ha tratado de transmitir a sus hijos y nietos, con gran orgullo, quien fue su padre y su abuelo. Le gustaría ser reconocido por haber participado en importantes proyectos y haber finalizado las obras correctamente.

Si tuviera que darles un consejo a las nuevas generaciones, es que guarden respeto tanto a sus subordinados como a sus jefes, hay que evitar la soberbia. No creerse el cuento, que uno se las sabe todas, siempre humildad.

Se define en dos palabras: “*buen amigo*”.

JOSÉ RODRÍGUEZ PÉREZ

Referente Mundial en Investigación en Energía Eléctrica.

En sus inicios ingresó a la Universidad Técnica Federico Santa María para estudiar la carrera de sub-técnico eléctrico. Así fue como se trasladó desde Osorno a Valparaíso a los 13 años, y nos cuenta que fue su abuelita quien lo inspiró para salir a estudiar lejos de su casa. Posteriormente cuando terminó la carrera de sub-técnico continuó sus estudios de Ingeniería en esa universidad. Hubo dos profesores que lo marcaron en su formación profesional. El primero fue Leopoldo Silva, de quién aprendió cómo hacer clases. Nos comenta que era un privilegio verlo, como deducía la materia en clases, era de una elegancia conceptual notable. El otro profesor que tuvo gran influencia en su inclinación a la investigación fue Sergio Zanetta. Vio en él un profesor que realmente se esforzaba por hacer investigación original y aportes al conocimiento, y fue su ejemplo el que lo motivó a realizar investigación desde muy temprano en su carrera, en una época en que esta tarea no tenía la relevancia que tiene hoy. Cuando egresó, a poco andar le ofrecieron trabajo de profesor en la Universidad Santa María. Recuerda con mucho cariño su primer proyecto que fue para la Armada de Chile y consistió en la actualización de unos sistemas de control de fuego para un destructor.

Posteriormente José se doctoró en ingeniería eléctrica en la Universidad de Erlangen, Alemania. En aquella época, a comienzo de los años 80, nos cuenta que el principal



problema era el control de la máquina de inducción. Todos los centros de investigación del mundo intentaban resolver este problema y su trabajo de doctorado estuvo relacionado con el desarrollo de una solución para el control de motores eléctricos. En su trayectoria profesional le ha tocado participar en diversos proyectos y nos menciona uno por el cual tiene especial aprecio. Se trata de las correas regenerativas de Minera Los Pelambres, proyecto ejecutado el año 1997. En la ejecución de este proyecto trabajaba para Siemens en Chile y tuvo la fortuna de participar en el diseño y vender, la que fue en su momento, la correa más avanzada en tecnología en el

mundo. Con mucho orgullo nos dice que el año 2013 la Academia de Ciencias de Chile en su libro “Innovación Basada en Conocimiento Científico”, reconoció a este proyecto como la innovación más importante de Chile en los últimos 40 años en el área de Energía.

Su trabajo se volcó de manera natural a la gran minería del cobre, porque ahí es donde se realizaban una gran cantidad de procesos de transformación de energía y en este contexto aprecia mucho lo que hizo con su colega Jorge Pontt para la transformación de motores con engranaje a motores sin engranaje en la molienda de cobre.

José Rodríguez es un investigador de relevancia mundial que lo ha llevado a generar más de 700 publicaciones, 300 de ellas en las revistas más prestigiosas del planeta. Es uno de los autores chilenos más citados en el mundo.

Ha sido Rector de las Universidades Santa María, Andrés Bello y San Sebastián. No duda que uno de los principales desafíos que ha enfrentado ha sido la dirección de universidades y nos explica que estas son instituciones especialmente complejas en su gestión y gobernanza, que requieren de mucha concentración para avanzar en la línea correcta.

En las instituciones que le ha tocado dirigir sostiene que su aporte ha sido, en primer lugar, convocar a la comunidad para tener una visión consensuada de los objetivos que se deben alcanzar, y en segundo lugar procurar que

la gestión y asignación de recursos siempre se haga sobre la base de reglas claras, objetivas y compartidas. Mirando en retrospectiva, cree que siempre ha formado grupos de alto desempeño, los que con pocos recursos han alcanzado resultados notables, donde el trabajo en equipo ha sido esencial.

Si tuviera que definirse, en una palabra, nos dice: cumplí.

Está muy orgulloso de ser padre, y hoy en día abuelo.

Sostiene que en la vida hay que ser positivo y agradecido.

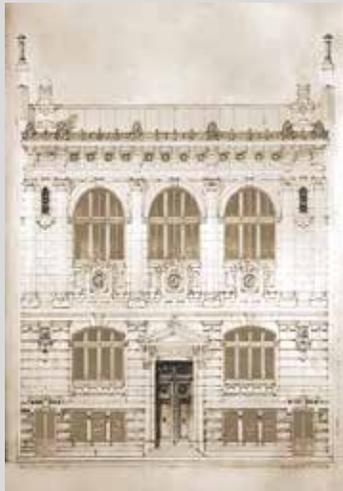
Le habría gustado estudiar más sociología porque, nos indica que esta ciencia permite tener una visión global muy clara de las personas y las sociedades.

Le gustaría ser recordado como un ingeniero que se dedicó al trabajo universitario y que desde este país pequeño pudo realizar un trabajo de investigación bueno a nivel internacional empleando fundamentalmente los recursos económicos nacionales y el talento de los jóvenes chilenos.

Hacia el futuro ve la ingeniería muy saludable y sostiene que las especialidades están enfrentando nuevos desafíos y exigencias para las cuales deben entregar las soluciones. A los jóvenes les diría que sean positivos y que se crean el cuento. *“Que sueñen y que se esfuercen por concretar sus sueños, de esa forma lo van a lograr”.*



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
J. 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
Carlos Castro Castro
J.Manuel Casaeuva 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 Humberto Cruz Rodríguez
Pablo Daud Miranda
Jeffrey Dawes
Cristian Dawson García
José de Gregorio Rebeco
Fernando de Mayo Israel
Juan Pablo de la Carrera
Joaquín Díaz Quiroga
Esteban Domic Mihovilovic
Fernando Echeverría Acuña
Gustavo Estay Caballero
Javier Etcheberry Celhay
Hans Feddersen Jungjohann
Víctor Figueroa De la Fuente
Sebastián Fingerhuth Massmann
Álvaro Fischer Abeliuk
Guillermo Flores Gálmez

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

ISSN 0716 - 2340



**ANALES
DEL INSTITUTO
DE INGENIEROS DE CHILE**

Vol. 134, N° 3 - DICIEMBRE 2022

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

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

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

Anales del Instituto de Ingenieros Vol. 134, N° 3, diciembre de 2022.

Contenido

CONCESIONES REGULADAS CON PERIODOS DE TARIFICACIÓN. Emiliano Vargas López.	Pág. 83
EFFECTOS EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE EN GEOPOLÍMEROS DE RELAVES DE FLOTACIÓN DE COBRE ACTIVADOS A PARTIR DE UNA COMBINACIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO Y SILICATO DE SODIO. Hengels Castillo, Thomas Droguett, Mario Vesely y Sergio Palma.	Pág. 97
PREDETERMINACION DE SISMOS DE SUBDUCCION: UN PUNTO DE VISTA TEÓRICO. Sergio Irrarrázaval Z.	Pág. 115
OPINIÓN. PROYECTOS DE ENERGÍA EN UN MUNDO SOBREALETADO. Hernán Salazar Zencovic.	Pág. 119

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)

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

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.

CONCESIONES REGULADAS CON PERIODOS DE TARIFICACIÓN

Emiliano Vargas López ¹

Resumen

Las concesiones de obras públicas en Chile comenzaron en el año 1991, desde ese tiempo han contribuido en la provisión de infraestructura pública. Este tipo de asociación público-privada es un contrato para diseñar, construir, operar y transferir obras, a cargo de una sola empresa de giro único. Ella cobra una tarifa a usuarios o al Estado, para compensar parcial o totalmente la construcción, modificaciones, costos de mantenimiento y operación de obras públicas. La forma de calcular esta tarifa se define ex-ante, puede ser variable de competencia y rige durante todo el plazo del contrato. Con contratos de concesión, que pueden durar hasta 50 años, se busca dotar al país de infraestructura para personas y empresas, asignar apropiadamente los riesgos y propender a la reducción de comportamiento estratégico de las partes. En este artículo se propone una alternativa de la fijación de tarifas mediante un estudio de costos e ingresos por períodos. Además, se introduce la participación de una organización de usuarios de infraestructura (OUI) para verificar calidad de servicio del contrato y contribuir representativamente en el proceso de tarificación. Se plantea un mecanismo regulatorio para aproximar al óptimo social en este tipo de mercado.

¹ Ingeniero Comercial, Magister en Economía Universidad Alberto Hurtado. emiliano.vargas@gmail.com. Investigador independiente.

1. INTRODUCCIÓN

En la última década del siglo pasado, Chile incorporó una modalidad para construir y administrar obras públicas, que se justificó principalmente por la urgencia del Estado en proveer infraestructura, con la envergadura y oportunidad que se requerían en esa época. El nuevo sistema se fundamentó en la necesidad del desarrollo y en mejorar la calidad de vida en el país. También se argumentó que existirían ganancias de eficiencia económica y conveniencia financiera cuando se incorporase el sector privado a un rol que históricamente fue desarrollado por el Ministerio de Obras Públicas. Así, desde su creación, esta modalidad de provisión ha permitido construir obras como carreteras y aeropuertos financiadas (parcialmente) por sus usuarios, además de hospitales, embalses, cárceles y otros tipos de obra, en las que su inversión inicial y los costos variables de operación son cubiertos por transferencias desde Ministerios del Estado.

En la actualidad se asocia la palabra “concesiones” a una modalidad de construcción y operación de obras, aunque el término es amplio y define “la cesión de un derecho propio para jurídicamente entregarlo a otro sujeto para bien de éste o también para bien de un tercero” (Soto, 2019) y se remonta a la historia humana: por ejemplo, mediante un contrato de concesión entre el Municipio de París y una constructora se realizó la construcción de la Torre Eiffel. El objetivo fue construir una atracción turística para la Exposición Mundial de París del año 1889. Este contrato incluyó un subsidio inicial, el cobro por ingreso durante la exposición y un periodo de 20 años de explotación, con lo cual se compensarían los costos de construcción, mantención y operación. La compensación de costos se logró, ya, en el primer año de operación.

En Chile, solo en las últimas décadas se comenzó a relacionar el término “concesiones” con un tipo de relación entre el Estado y un privado, denominado a sociación público-privada (APP), con la finalidad de proporcionar bienes públicos, principalmente de infraestructura. Esta nueva figura se podría categorizar como una instancia intermedia entre la provisión directa del Estado y la cuasi-privatización de servicios públicos, como ocurre en el caso del sector sanitario o la privatización total, como en el caso del sistema eléctrico.

La actual institucionalidad del sistema de concesiones en Chile se estructura en un organismo público dependiente del Ministerio de Obras Públicas denominado Dirección General de Concesiones (DGC) que tiene por mandato “la ejecución, reparación, mantención, conservación y explotación de obras públicas fiscales” (Artículo 22. bis de la ley 21.044, que crea la DGC). Esta institución, en conformidad principalmente a la Ley de Concesiones (DS N° 900 de 1996) y su reglamento (DS N° 956, de 1997), regula el funcionamiento contractual, económico y financiero de cada contrato de concesión.

Los contratos de concesión se firman entre el Estado, representado por la DGC y una empresa privada creada especialmente para la obra a concesionar, por lo cual es una persona jurídica de giro único ligado al diseño, construcción y operación de la infraestructura.

En este artículo se presenta un modelo conceptual y marco de referencia para introducir un tipo de contrato de concesión, basado en un proceso de tarificación por período plurianual. Este nuevo tipo de contrato difiere de los actuales, porque ellos estipulan las condiciones de cobro al usuario o de los precios de las transferencias por servicio (por ejemplo, en hospitales o cárceles) al inicio y por una vez y abarcan hasta el término del plazo del contrato. Estas condiciones de cobro o tarifase ajustan por factores predefinidos de reajuste, propios del contrato, por indexación a nivel general de precios o por un criterio financiero de reembolso de costos al privado. Es decir, los plazos de un contrato de licitación pueden ser fijos o variables dependiendo de la clasificación sectorial de la obra y del tipo de contrato que define al inicio las condiciones de cobro, que pueden cubrir hasta 50 años. Por tanto, los mecanismos o formas de cobro (peajes) de los contratos utilizados en el sistema, deben internalizar anticipadamente las diferencias entre costos e ingresos reales y aquellos que fueron proyectados al inicio de la concesión y que debería mantener el equilibrio financiero durante todo el plazo del negocio. Sin embargo, debido contingencias del proceso de construcción y del riesgo (variación) de demanda en el período de operación, el equilibrio financiero, puede no ser logrado con un contrato rígido y definido ex-ante. Para resolver lo anterior,

existe abundante literatura especializada denominada contratos incompletos o un tipo de contrato de duración flexible (Engel et al, 2001) relacionado con el cumplimiento de la compensación del capital invertido.

Los riesgos sectoriales y la inherente incertidumbre nacida en una prognosis anticipada y realizaciones ex-post en las principales variables, exponen al contrato a no cumplir con las obligaciones mutuas requeridas a las partes. El no cumplimiento del contrato se manifiesta en problemas en calidad de servicio por parte del concesionario o podría propiciar un comportamiento de presión por parte del Estado, y atentan contra a eficiencia del sistema. Aunque para ello, en Chile, la existencia de una instancia de análisis de discrepancias denominado Panel Técnico, arbitra oportunamente este tipo de conflictos, no se hace cargo de adelantar temas relacionales. Se debe destacar por otro lado, que los usuarios participan en el sistema de concesiones pagando contra la prestación que otorga la obra pública y mediante el uso de canales de comunicación, para presentar observaciones a la calidad del servicio y presión mediática o fuerza, sobre los precios de uso.

2 ANTECEDENTES

Los proyectos de ingeniería y construcción desarrollados históricamente en Chile se caracterizan por su calidad, de reconocimiento internacional, tanto en obras públicas como privadas. La calidad se evidencia por obras de prolongada vida útil, por ejemplo, aquellas que han resistido una intensa actividad sísmica, como la que experimenta Chile. También, se constata en las carreteras y obras hidráulicas que extienden su vida útil más allá del período planificado. Tradicionalmente estas obras se diseñaban y construían, por parte del Estado, con estudios desarrollados por consultoras de ingeniería y ejecución por constructoras privadas, mediante contratos de diseño y construcción por separado. Hacia fines del siglo pasado, se introdujo el modelo de concesiones, mediante el uso de contratos de asociación público privado (APP), en los cuales una empresa de giro único se encarga del diseño, construcción, operación y transferencia (en inglés

Para adecuar al sistema de concesiones *pari-pasu* al desarrollo social del país, se presenta un modelo conceptual de concesión que se regulan con uno o más por períodos de tarificación. El cambio relevante es la incorporación de observabilidad en las variables relevantes del contrato, en el período inmediatamente anterior a la nueva tarificación y usando predictibilidad de esas y otras variables en el período inmediatamente siguiente. El mismo contrato de concesión puede mejorar el resultado esperado y mantener el equilibrio financiero del negocio, facilitando el cumplimiento de las otras variables de calidad de servicio. Además, se incorpora, un tipo de organización de usuarios, atendida la naturaleza pública y social de las obras, incorporando un agente verificador (independiente) sobre los resultados del ejercicio anterior y puede incidir sobre las nuevas condiciones de tarificación del período siguiente, otorgando mayor representatividad al sistema.

El trabajo sigue con los antecedentes del sistema actual, sigue con la presentación del modelo conceptual y marco de referencia, para terminar con las conclusiones.

DBOT) de la obra, que cambia su perfil desde obra pública (con eventuales cobros de peajes a cargo del propio Estado) a un nuevo tipo de activo, que puede ser gestionado por privados y transado en los mercados financieros.

El gráfico 1 muestra el número de adjudicaciones de contratos de concesión desde 1991 a 2020 y junto al PIB nacional, el total de exportaciones, importaciones series de tiempo de variables como PIB, exportaciones e importaciones.

El primer aspecto del gráfico 1, permite observar que se han generado más de 100 contratos entre obras nuevas y re-licitadas, al menos una vez en el período y al dividirlo en décadas, el número total de adjudicaciones en cada una de ellas es aproximadamente un tercio sobre el total, lo que muestra una relativa estabilidad para licitar contratos en el período. Por otro lado, la correlación positiva

en el período entre adjudicaciones de concesiones y PIB es baja (0.17), lo que no descarta que existan relaciones temporales complejas.

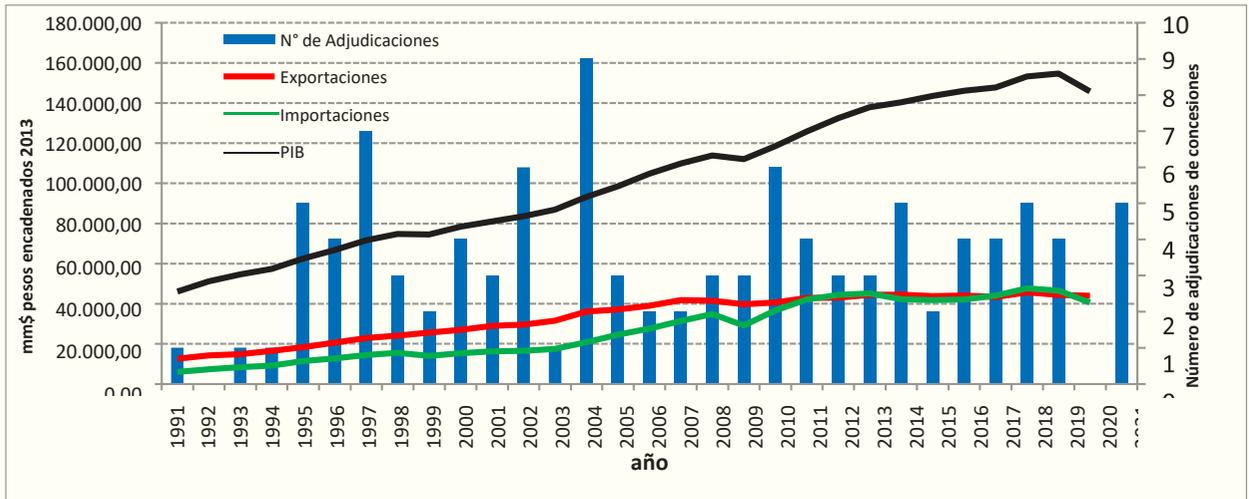
Al inicio del sistema, se argumentó que este mecanismo era justificado por razones de incapacidad del Estado para financiar y construir la infraestructura necesaria que sustentara el crecimiento económico, lo que claramente observando el gráfico 1, no puede ser descartado. Esta modalidad de provisión ha cambiado paulatinamente el hábito del usuario, incorporando el esquema de “el que usa paga por un servicio” por sobre el concepto de bienes públicos que otorga el Estado, bajo financiamiento por obra proveniente de los ingresos generales de la nación.

En el gráfico 2 se observa la magnitud de inversión movilizada por el sistema de concesiones en Chile entre 1994 y 2015. El mayor monto agregado de inversión ocurrió en 1999 y 2006, período en que se licitó la Ruta 5, que es la carretera de mayor tráfico terrestre del país, y algunas autopistas urbanas. En

los años siguientes, la tendencia se ha mantenido, tal como se mostró con las adjudicaciones del gráfico 1. Pero la magnitud en este último período no llega a equiparar a los montos de inversión de los años iniciales de la década anterior, debido en parte, al término de las licitaciones de contratos de concesiones viales urbanas estructurantes e interurbanas de la Ruta 5.

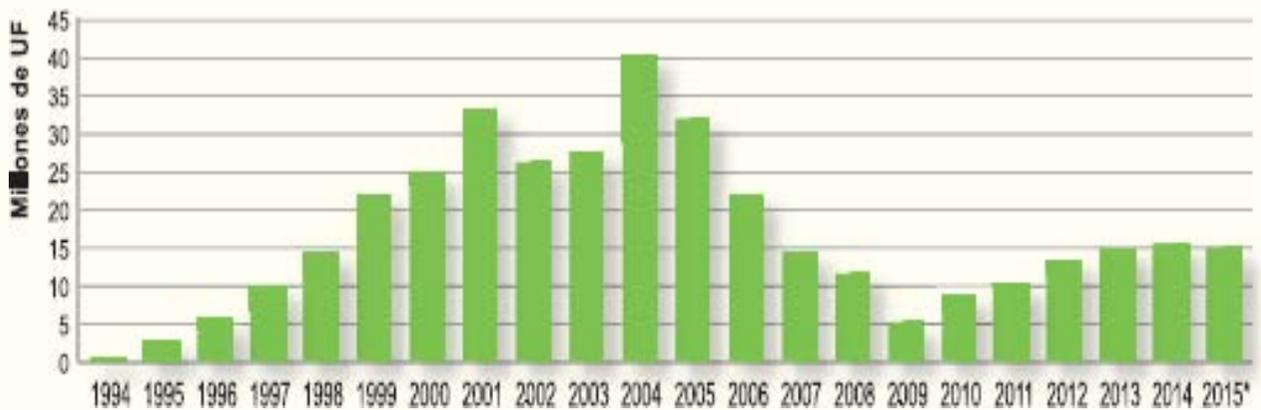
El Sistema de Concesiones aporta capital físico al país, en complemento a la inversión pública directa ejecutada principalmente por el Ministerio de Obras Públicas. El gráfico 3, permite comparar el gasto público en Obras Hidráulicas, Puertos y Vialidad, contra la inversión del Sistema de Concesiones. Se evidencia que esta última superó a la provisión tradicional entre 1999 y 2006, para mantenerse, y después constituir menos de la mitad del gasto. En este gráfico se observa que la Dirección de Vialidad es la unidad ejecutora de obras con mayor inversión pública. El gráfico es indicativo de la caída de contratos APP que fueron utilizados intensamente en estos primeros 30 años del Sistema.

Gráfico 1. Número de adjudicaciones de concesiones, PIB, exportaciones e importaciones entre 1991 y 2020



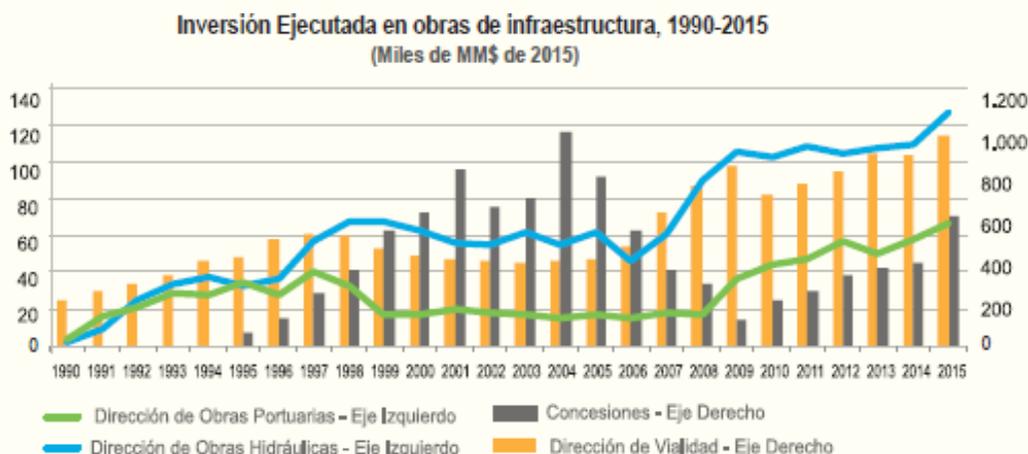
Fuente: elaboración propia basada en antecedentes del sitio web DGC y del Banco Central.

Gráfico 2. Inversión en concesiones de obras públicas 1994-2015



Fuente: CONCESIONES DE OBRAS PÚBLICAS EN CHILE 20 AÑOS, MOP. 2016

Gráfico 3. Inversión directa y por concesiones de obras públicas 1990-2015



Fuente: CONCESIONES DE OBRAS PÚBLICAS EN CHILE 20 AÑOS, MOP, 2016.

Durante el transcurso de la última década, el sistema de concesiones ha experimentado tres eventos inesperados y con baja probabilidad de ocurrencia. Un terremoto en el año 2010, el estallido social de octubre de 2019 y la pandemia COVID-19. Se estimó (SVS, 2011) que, en 2010, el daño causado por el terremoto en obras públicas alcanzó US\$ 1.458 millones; entre ellos 1.554 Km de carreteras dañados, 212 puentes con problemas, 9 aeropuertos o aeródromos dañados, 28 caletas pesqueras totalmente inutilizables, 53 obras portuarias con daños, serios problemas de funcionamiento en los sistemas de agua potable urbana y rural. Sin embargo, se indica en el mismo documento que un año después del terremoto, el 100% de las obras concesionadas se encontraban operativas, ratificando con esta información, la velocidad y eficiencia para gestionar contingencias tienen la modalidad APP de provisión. Sin embargo, en el estallido social de 2019, se estimó inicialmente¹ una pérdida de US\$15 millones en daños en autopistas urbanas e interurbanas, que comprometieron peajes laterales y troncales, pórticos de TAG, pavimentos, barreras acústicas y de seguridad. Sin embargo, es el cuestionamiento social al Sistema de Concesiones el mayor efecto de este evento, que se resume en el siguiente texto: “Nosotros y el Estado, que es el dueño de las concesiones, no nos dimos cuenta de que las personas y el país fueron cambiando. Las autopistas, a raíz de los problemas en el transporte

público, tuvimos que ser la palanca principal de la movilización urbana, y eso generó congestión en las carreteras”. “Además, no se invirtió a tiempo para mejorar las capacidades. Eso generó molestia en las personas. La gente piensa que el sistema es injusto y debemos hacerlo evolucionar a las nuevas condiciones del país”. (COPSA, 2019).

Finalmente, la pandemia COVID 2019, generó una reducción de los ingresos proveniente del cobro a los usuarios por menor cantidad de uso de la infraestructura, principalmente en el sector transporte (carreteras y aeropuertos). Estos ingresos son compartidos entre el Estado y las sociedades concesionarias de obras públicas, en porcentajes y cantidades que son variables según el tipo y madurez de cada contrato, creando de esta forma una cartera compartida con riesgo diversificado de “activos públicos”. No obstante, para el Estado, el riesgo es acotado tal como se muestra en el Gráfico 4, que reporta el nivel de deuda potencial u “obligaciones a las que les ha sido otorgada la garantía o aval del Estado”, lo que implicaría una presión en los concesionarios, porque podrían estar soportando los costos económicos y financieros de menor ingreso por peajes y/o transferencias, además del aumento de los costos de equipos y materiales de construcción para obras en de los últimos años. (El índice general de precios, suele no capturar completamente las señales de costos en este sector).

¹ Esta cifra se encontró en el sitio web <http://www.copsa.cl/concesionarias-de-oo-pp-proponen-formula-para-reducir-precio-de-los-peajes-en-autopistas/> revisado en noviembre de 2021

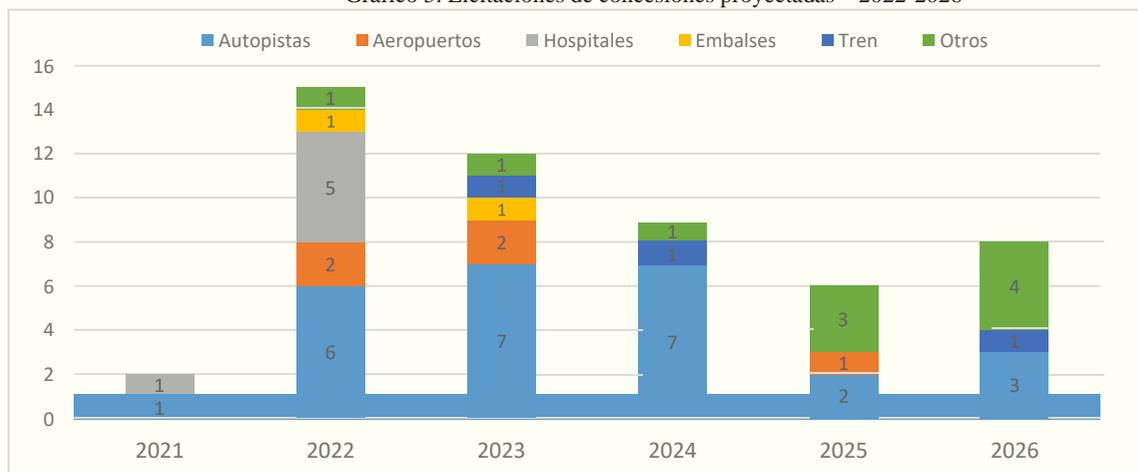
Gráfico 4. Pasivos contingentes de Chile 2020.

Evolución del Pasivo Contingente Neto Estimado del Sistema de Concesiones asociado a los IMG
Millones pesos de cada año y como % del PIB de cada año



Fuente: INFORME DE PASIVOS CONTINGENTES 2020. DIPRES. Ministerio de Hacienda 2020

Gráfico 5. Licitaciones de concesiones proyectadas * 2022-2026



Fuente: propia basada en información del sitio web www.concesiones.cl * se ajustaron los proyectos no adjudicados en 2021, como posiblemente licitados en 2022 y siguientes hasta 2026.

La descripción de eventos que impactan a las concesiones permite comprender algunas de las contingencias que pueden afectar, significativamente, a este mercado y por ellos al bienestar de las personas. En los próximos años, una intensa cartera de proyectos de 52 proyectos (al menos 5 iniciativas privadas), está siendo gestionada por la DGC, donde el sector transporte contempla aproximadamente el 70% de ellos y en específico el sector vial con 50%. El Gráfico 5 corresponde a la cartera 2022-2026 de proyectos concesionables de autopistas urbanas e interurbanas, aeropuertos, hospitales, tranvías, embalses y otros.

Es esperable que adecuaciones a los contratos permitan gestionar el riesgo y comportamiento de los actores, en beneficio de la sociedad.

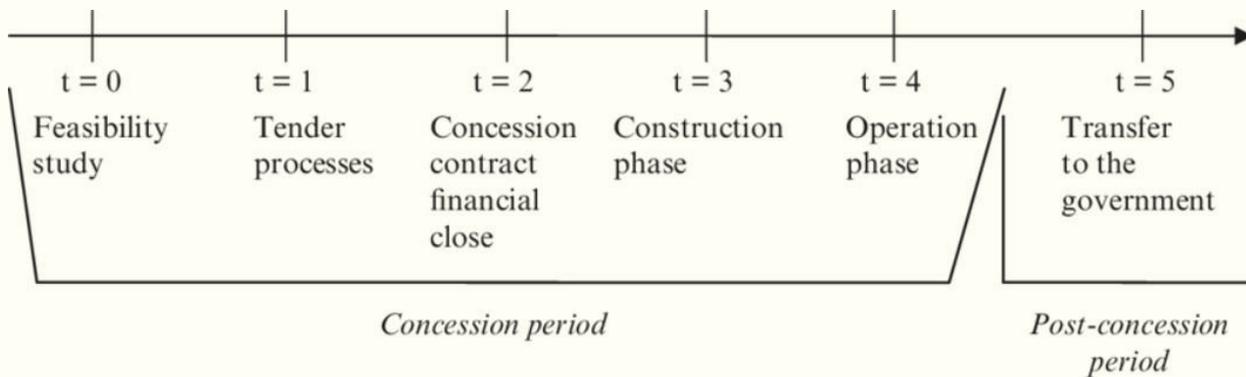
3 MODELO CONCEPTUAL

Las concesiones de obra en Chile son asignadas mediante una subasta diseñada por un principal (Estado) para que varios agentes compitan por ganar un contrato que define obligaciones mutuas. Ellas perduran hasta terminado el período estipulado en el contrato inicial y son conocidas por todos los oferentes ex-ante. Esta competencia se desarrolla bajo un proceso licitatorio, con igualdad de condiciones para los participantes, donde el principal adjudica el contrato a un agente, que hace la mejor oferta entre varios postores. Además, la oferta ganadora debe ofrecer condiciones técnicas que permitan asegurar el cumplimiento de las condiciones económicas, siendo necesario que la evaluación contenga ponderación de ambas variables (técnica y económica). De esta forma se logra eficiencia económica ex-ante y el máximo bienestar social, asumiendo que el resultado de la

oferta ganadora cumple con los supuestos de competencia perfecta². En este sentido, cada licitación es un equilibrio de mercado eficiente que opera una vez y se mantiene vigente durante el contrato. Durante el periodo de concesión, las condiciones de competencia, no son necesarias revisadas, porque se considera que, en este ámbito, las condiciones relevantes de la asignación no cambian desde el estado inicial.

El desarrollo de una concesión puede ser analizado como una serie de momentos durante un periodo definido por el propio contrato. La imagen 1 reproduce un contrato simple, en una línea de tiempo desde la apertura del proceso (t=0) hasta la transferencia (t=5) al principal, al cumplir las condiciones de extinción del contrato.

Imagen 1. Línea de tiempo de un contrato simple de concesión



Fuente: obtenido en Hensher y Chung, 2011, "Road infrastructure and institutional reform: Tolling and pricing." En libro: International Handbook of Network Industries: The Liberalization

Sin embargo, la interacción por varios años entre el agente y el principal en este tipo de contratos puede provocar un fenómeno similar al de captura (Posner, 1974), donde los representantes del principal son atraídos laboralmente por el sector privado al cual regulan. Junto a ello, los cambios en la materialización del diseño inicial, cambios en la demanda que tiene la infraestructura y otras variables que afectan directamente los resultados en las etapas de construcción ($t=3$) u operación ($t=4$) suelen generarían, a mi parecer, las condiciones suficientes para que ambas partes tengan incentivos para renegociar el contrato y cambiar las condiciones de

optimalidad logradas al inicio ($t=1$), entre ellas directa o indirectamente las formas y montos de cobro al usuario, transferencias del principal, modificaciones de obras o cambios en los plazos de concesión. Durante los 30 años del sistema de concesiones, se han utilizado distintos factores económicos tales como:

² Se describen como condiciones de competencia perfecta aquellos mercados donde: no existe fijación de precios por parte de algún oferente, existe libre entrada y salida y no exhibe externalidades.

- a. Tarifa
- b. Plazo
- c. Pago por bienes y derechos entregados en concesión
- d. Subsidio del Estado
- e. Pago por infraestructura existente
- f. Mínimo Valor Presente de los Ingresos (MVPI) o Ingresos Totales de la Concesión (ITC).

El mecanismo correspondiente mencionado en f, permite gestionar el riesgo de una concesión y ha sido utilizado con frecuencia en Chile, desde 2006.

Su ventaja es que flexibiliza el término del contrato anticipando o retrasando el cierre ($t=5$) con relación a la demanda realizada. En este aspecto, un nuevo mecanismo debe superar los reconocidos y probados beneficios de mecanismo del *Present Value Revenue* (PVR) (Engel et al, 2020), el cual reduce los incentivos para que un concesionario inicie renegociaciones debido a una demanda menor a la proyectada para la obra. No obstante, este mecanismo no cubriría al contrato del riesgo de tipo expropiatorio por parte del principal. También se ha utilizado un tipo de contrato que distribuye los ingresos en algunas obras.

MODELO REGULATORIO DE CONCESIÓN APP

Asumiendo que la regulación económica reemplaza a la “mano invisible” de la competencia, con intervenciones directas sobre las variables relevantes del mercado, se propone aplicarlo en el caso de un contrato de concesión. Aplicar los fundamentos de regulación económica busca aprovechar los incentivos de la empresa concesionaria para obtener ganancias y asegurar que la infraestructura produzca los objetivos definidos por el principal. Simultáneamente la utilización de un modelo de regulación para concesiones podría restringir los desvíos respecto al propio contrato que pueden desarrollar tanto el principal como el agente, motivados por agendas o condiciones distintas a las existentes al inicio.

Para desarrollar un contrato de provisión de infraestructura vía APP con un modelo regulatorio, se requiere caracterizar a la infraestructura como una estructura de mercado de tipo monopolio natural. Dos características inherentes a los tipos de infraestructura permitirían cumplir esta estructura: inexistencia de sustitutos al servicio y presencia de economía de escala (EE):

Ejemplo:

“Una carretera entre dos puntos solo puede ser recorrida en un tiempo mínimo asociado al uso de ella (no existe sustituto) y los costos de obra implican una solución única (EE)”.

MARCO DE REFERENCIA

Al aceptar que un contrato de concesión comprende o genera un monopolio natural, es posible aplicar alguno de los varios tipos de modelos regulatorios, entre ellos, por ejemplo, el mecanismo de Riordan (Riordan, 1984) que busca inducir capacidad óptima con un diseño basado en el tiempo de uso de la infraestructura bajo regulación.

Sin embargo, por simplicidad, el modelo regulatorio que se propone está diseñado observando la línea de tiempo de la Figura 1. Ella se modifica al introducir periodos de tarificación, tal como se muestra en la imagen 2.

Como ejemplo, el desarrollo del contrato contempla cuatro eventos similares al mecanismo tradicional. En $t=0$ el Principal abre un proceso de competencia proporcionando las condiciones técnicas y económicas del contrato, en él y hasta $t=1$, los agentes preparan las ofertas y realizan las evaluaciones de las condiciones de la oferta y las estrategias del resto de los agentes. En este punto el agente debe internalizar los cuatro momentos del nuevo tipo de contrato. En $t=2$ se realizan las ofertas y suponiendo competencia perfecta se logra eficiencia asignativa, donde Principal y Agente obtienen aproximaciones a sus respectivos resultados esperados. En $t=3$ se inicia la etapa de construcción con las condiciones acordadas en el contrato inicial. Las tarifas de cobro al usuario o transferencias se definen considerando la compensación de la inversión inicial y los costos de mantención, y operación, sobre un plazo fijo que reduzca el uso de subsidios público. Antes en $t=4$.1 Así, se inicia un proceso de primera tarificación, en

el cual se observan tanto el desempeño del Agente, como las actuaciones del Principal y los resultados operacionales del periodo anterior. En este momento se inicia la participación de la organización de usuarios (OUI) de la infraestructura, lo que aportará información del uso, evaluación de la calidad de servicio y entregará expectativas de los usuarios sobre la operación y cobros en el siguiente período. En este proceso se crea una función complementaria al panel de concesiones, que deberá conocer y exponer técnicamente las variables relevantes del contrato: calidad de servicio y tarifas o transferencias, para fundamentar proponer los valores vigentes para el siguiente período.

Se propone introducir un proceso de tarificación con una primera ronda de votación de condiciones operacionales, que se mantendrá hasta pleno acuerdo de las partes, con un máximo de cinco votaciones, donde participarán integrantes con derecho a voto. Con todo, las condiciones deberán asegurar total retribución del costo de capital de la empresa y acotar a una banda de rentabilidad esperada para asegurar condiciones de sustentabilidad del Agente e inhibitorio de rentas económicas y tarifas sobre costo marginal del Principal. Las tarifas serán fijadas para el siguiente periodo, con las realizaciones de la demanda y la proyección del futuro, con mayor cantidad de información que al inicio del contrato y bajo resultados de costos e ingresos registrados con nuevas normas de contabilidad regulatoria. El proceso se repetirá en cada período de tarificación, que mantendrá el esquema de financiamiento con cargo al usuario.

ORGANIZACIÓN DE USUARIOS

Durante el tiempo entre t_1 y t_2 , de la imagen 2, se creará una organización relacionada a los usuarios frecuentes e interesados, que podrán requerir información del desempeño del contrato y aportar en

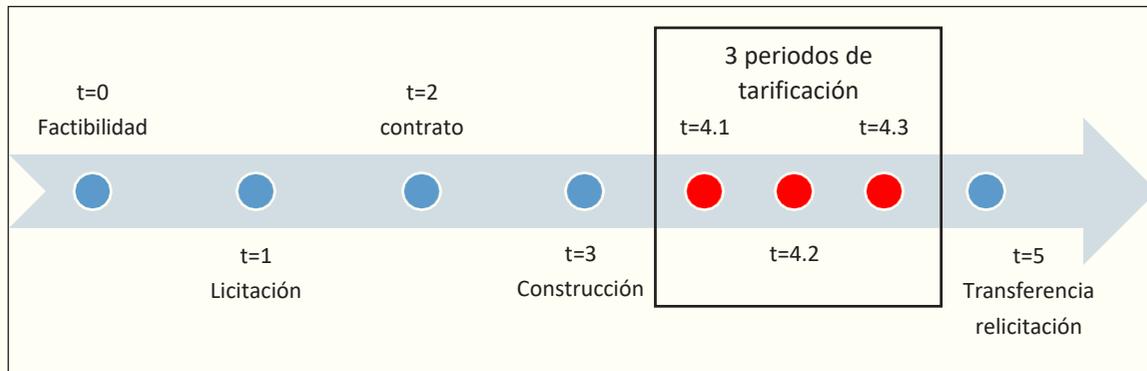
las condiciones del periodo de tarificación siguiente con antecedentes ex-post de la operación y expectativas de servicio y costos para el siguiente período.

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

El contrato de concesión cambia de un juego una etapa a juegos repetidos cada 5 años. El proceso de tarificación introduce la amplia literatura y experiencia del área económica de la regulación de los monopolios naturales lo que permitirá a las partes cambiar los incentivos del negocio y demandará mayor control del desempeño. La posibilidad de licitaciones complementarias competitivas de obras adicionales, se mantiene como complemento de la obra construida y se plantea como un instrumento para el aumento de capacidad no satisfecha y no proyectada al inicio, como cambios en las preferencias sociales, que en el actual modelo solo

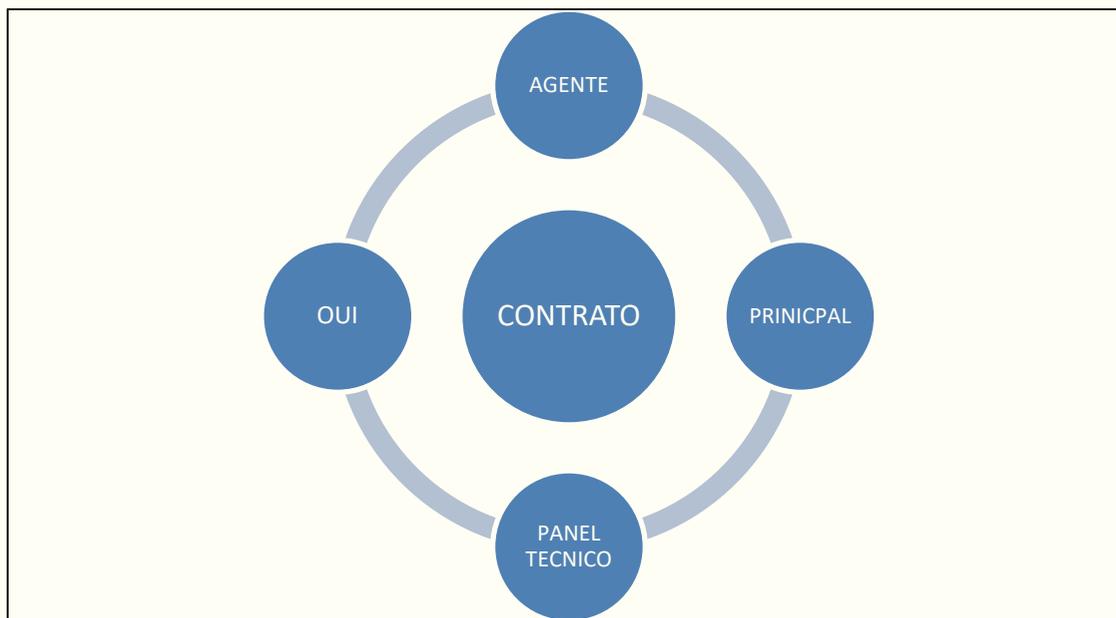
pueden ser introducidas en procesos indirectos de representación social. La posibilidad de repetir varias veces el proceso de tarificación, permitirá mayor nivel informacional de cada concesión, ampliando el sistema de los actuales componentes del sistema, introduciendo un concepto relevante desde el punto de vista social, dado que actualmente los canales de participación se limitan al pago del usuario, libro de reclamos, participación de reuniones de participación ciudadana de proyectos o relicitaciones. Sin embargo todos ellos, no inciden marginalmente en la definición del pago contra la prestación del servicio.

Imagen 2. Modelo de concesión con regulación económica



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Modelo de concesiones regulada por periodos de tarificación



Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS ESPERADOS

La introducción del proceso de tarificación permitirá adecuar el contrato inicial a las variaciones y cambios de las condiciones del contrato, otorgando condiciones de equilibrio y mejorando el nivel informacional de las partes. La posibilidad de acceder a información de cada periodo permitirá a los cuatro

participantes fundar sus actuaciones en pro del bienestar social, con un representante real de los usuarios, que en conjunto podrán alinear el contrato para su adecuado desempeño social, económico y financiero.

CONCLUSIONES

El sistema de concesiones es fundamental para la provisión de infraestructura pública, con un modelo base que ha tenido resultados diversos y que debe ser revisados. Se evidencia un cuestionamiento por parte de la sociedad en los peajes viales y una caída del número de contratos en los últimos años. Por tanto, nuevos proyectos y nuevos mecanismos que reduzcan el riesgo y comportamientos estratégicos de las partes deben ser potenciados. Se propone a nivel conceptual, un nuevo mecanismo que modifica el entorno institucional mixto, entre una concesión con definiciones ex-ante y un monopolio regulado con periodos de tarificación en un horizonte de largo plazo, de una concesión fija e incorpora una

organización de usuarios inédita. Con este esquema se busca reducir riesgos de operación, para asegurar al agente compensación por sus costos y al principal, una forma de cumplir con su mandato constitucional, con una nueva forma de participación activa de los usuarios que financian, en parte al sistema. Las obras de ingeniería para infraestructura pública pueden seguir contribuyendo a proporcionar mejor calidad de vida de la población y al aumento de la competitividad de los sectores productivos. En el futuro, se requiere profundizar en las condiciones económicas del modelo, las modificaciones legislativas y convocar a la discusión académica sobre el modelo propuesto.

BIBLIOGRAFÍA

- COPSA. 2019. El Mercurio, viernes 13 de diciembre de 2019.
 - Engel, E. R Fisher y A. Galetovic. 2001. Least Present Value of revenue auctions and highway franchising. *Journal of Political Economy* 109. 993-1020.
 - Engel, E. R Fisher y A. Galetovic. 2020. When and how to use public-private partnerships in infrastructure: lessons from the international experience. NBER WORKING PAPER SERIES. Working Paper 26766.
 - Soto, E. 2019. Fundamentos y naturaleza de las concesiones administrativas. *Revista Jurídica Digital UANDES* 3/1 (2019), 18-26 DOI: 10.24822/rjduandes.0301.2
 - SVS. 2011. Análisis e Impacto del 27-F en el Mercado Asegurador. ISBN 978-956-7518-14-2
-

EFFECTOS EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE EN GEOPOLÍMEROS DE RELAVES DE FLOTACIÓN DE COBRE ACTIVADOS A PARTIR DE UNA COMBINACIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO Y SILICATO DE SODIO

Hengels Castillo^{1,2,3}, Thomas Droguett³, Mario Vesely¹, Sergio Palma²

RESUMEN

Los geopolímeros se crean mezclando una fuente de aluminosilicatos, que pueden ser naturales o subproductos de otras industrias, con una solución alcalina, la cual es la encargada de disolver el silicio y el aluminio de esta fuente, lo cual da paso a la formación del gel NASH, que es el encargado de brindarle las propiedades físicas a los geopolímeros. Dentro de la variedad de geopolímeros existentes, se destacan los que son en base a subproductos de otras industrias, ya que han demostrado ser una alternativa menos contaminante para la producción de hormigón que el cemento Portland ordinario (OPC). Debido a lo anterior, es fundamental estudiar el uso de relaves de cobre como materia prima para generar geopolímeros, debido a las exorbitantes cantidades de depósitos de relaves existentes, que además producen diferentes riesgos para las comunidades cercanas. Por lo tanto, la utilización de este residuo industrial como material de construcción aportaría varios beneficios tanto ambientales como económicos, aunque requiere una mayor investigación aplicada para determinar su viabilidad a escala industrial. El presente informe da cuenta de los trabajos experimentales realizados en el laboratorio del Centro de Investigación en Minería Sustentable CIMS, en donde se analizó el efecto de la proporción NaOH/SS del activador alcalino en la resistencia a la compresión de geopolímeros en base a relaves de cobre. Para ello se realizaron 6 mezclas geopoliméricas con distintas proporciones del activador alcalino, variando las cantidades de NaOH y de silicato de sodio (SS) utilizado. De los resultados se obtuvo que los geopolímeros activados con 100% SS y 100% NaOH obtuvieron las mayores resistencias a la compresión, llegando hasta los 36,46 MPa y 22,98 MPa respectivamente, ambas con 7 días de curado.

¹ JRI Ingeniería S.A., Department of Geotechnics, Santiago, Ñuñoa 7770445, Chile. hcastillo@jri.cl

² Department of Metallurgical Engineering and Materials, Complex Fluids Laboratory, Federico Santa María Technical University, Santiago, San Joaquín 8940572, Chile.

³ CIMS-JRI Sustainable Mining Research Center, General Manager, Santiago, La Reina 7850000, Chile.

1 INTRODUCCIÓN

Los geopolímeros se han estudiado en gran medida como materiales de construcción. Es una tecnología que se está desarrollando para encontrar una opción más amigable con el medio ambiente a comparación del tradicional cemento Portland [1]. A modo general, un geopolímero es un polímero sintético inorgánico generado a través de la reacción entre materiales de aluminosilicato y agentes alcalinos, donde posterior a un curado, se genera un material amorfo semicristalino similar al concreto [2]. La reacción de curado puede ocurrir mediante la adición de calor externo, es decir curado en un horno, como también a temperatura ambiente, dependiendo de la composición del geopolímero [3]. Cabe destacar que las condiciones de curado tienen un efecto significativo en el desarrollo de la resistencia de los geopolímeros.

Existe una gran variedad de reactivos de aluminosilicato que pueden utilizarse para producir geopolímeros [2]. Las fuentes más comunes de aluminosilicatos utilizadas para la producción de geopolímeros son el metacaolín y los subproductos de otras industrias como las cenizas volantes, relaves mineros, lodo rojo, escorias, etc [4][5][6]. Dentro de estas materias primas, últimamente se ha incentivado el uso de subproductos de otras industrias para la producción de concretos de geopolímeros, debido a que así se disminuye significativamente la cantidad de CO₂ emitido para la fabricación de estos materiales [7]. Se calcula que el concreto de geopolímeros (GPC) reduce en un 80% la huella de carbono en los proyectos de construcción en comparación con el cemento Portland ordinario (OPC) [8].

Los materiales precursores de los geopolímeros, tanto en forma natural como en forma de subproductos, deben ser ricos en contenidos de alúmina (Al₂O₃) y sílice (SiO₂), preferentemente en forma amorfa reactiva [5], para una buena disolución de estos compuestos al entrar en contacto con el agente alcalino. La función del silicio y el aluminio es impartir la resistencia y la propiedad de fraguado al cemento [9]. Una preocupación relacionada con la disolución del aluminosilicato es la velocidad a la que se produce y la cantidad de material de aluminosilicato amorfo total que está disponible para la geopolimerización [10], ya que de esto dependerá el tiempo de curado y la resistencia a la compresión posteriormente obtenida.

Además del reactivo de aluminosilicato, se necesita un activador alcalino para producir el geopolímero. El activador alcalino provoca la disolución de las materias primas [11]. El tipo y la concentración del activador alcalino deben ser cuidadosamente seleccionados debido a que su composición afecta a la disolución de la fuente de aluminosilicatos, además tiene diferentes impactos en las propiedades de las pastas frescas de geopolímeros y en el desarrollo de la resistencia a la compresión en los geopolímeros endurecidos [12]. Los activadores más comunes son los hidróxidos alcalinos y las soluciones de silicato, y dentro de estos grupos el hidróxido de sodio (NaOH) y el silicato de sodio (Na₂SiO₃), son los más utilizados respectivamente. La concentración ideal del activador alcalino aumenta la resistencia del geopolímero [3]. Además, un aumento de la concentración del activador alcalino conlleva un aumento del pH de la solución activadora. Diferentes autores recomiendan trabajar con valores de pH sobre 13 para una correcta disolución de los aluminosilicatos presentes en la materia prima [8][13][14]. El desarrollo de la resistencia en los geopolímeros depende en gran medida de las materias primas y de las soluciones activadoras del álcali.

En la activación de la fuente de aluminosilicato con NaOH, la reacción comienza con la disolución del Al y Si, que son partículas precursoras en la solución alcalina, en donde se liberan monómeros reactivos de aluminato y silicato[2]. Luego, estos monómeros interactúan entre ellos para formar oligómeros de aluminosilicatos, y estos últimos polimerizan en el entorno alcalino para la formación de geles de geopolímeros. En el inicio de la geopolimerización, se genera una fase de gel rica en aluminio, que se transformará en gel geopolímero final rico en silicio [15].

El producto resultante de la reacción de geopolimerización es una sustancia amorfa semicristalina compuesta por fases sólidas de aluminosilicatos armados a base de conexiones de SiO₄⁴⁻ y AlO₄⁵⁻ como tetraedros formando una estructura 3D. El principal producto de hidratación de los geopolímeros bajos en calcio o sin calcio es el gel N-A-S-H, que posee una estructura tridimensional [16].

Desde otro punto de vista, los geopolímeros son un material fabricado por el hombre que ofrece varias ventajas, entre ellas una buena resistencia mecánica (similar o superior a la del cemento Portland ordinario) y la capacidad de encapsular residuos peligrosos [3][17], además de ser resistente al agua y a las altas temperaturas [18]. La resistencia a la compresión de los geopolímeros es un factor crítico en el ámbito de la construcción, por este motivo, los geopolímeros se están estudiando ampliamente y resultan prometedores como alternativa más ecológica al hormigón de cemento Portland.

Para la generación de los geopolímeros se deben considerar distintas variables, como la fuente de aluminosilicatos, el tipo de activador alcalino, la

adición de calor externo para el curado, entre otros, ya que estas variables tienen un notable impacto en las propiedades mecánicas de los geopolímeros endurecidos.

Por esto, este estudio busca analizar el efecto que tiene la variación en la composición de la solución alcalina utilizada en la resistencia a la compresión de geopolímeros en base a relaves de cobre. Para este propósito, se utilizarán dos reactivos, hidróxido de sodio (NaOH) y silicato de sodio (Na_2SiO_3), en donde se activarán geopolímeros desde 100% NaOH hasta con 100% con Na_2SiO_3 , manteniendo constante la relación relave/activador.

2 MATERIALES

2.1 Caracterización relave

El relave de cobre utilizado en esta investigación proviene de la compañía minera San Pedro, ubicada en la comuna de Til Til, Chile, en donde se obtienen concentrados polimetálicos de cobre y plata. El tipo de yacimiento del que se extraen estos concentrados corresponde a un pórfido cuprífero, donde el principal

elemento de interés extraído es el cobre. Los relaves producidos de esta mina fueron filtrados, obteniendo un contenido de sólidos promedio (C_p) de = 85,85% (Figura 1). La densidad de sólido promedio del relave es de $2,79 \pm 0,12 \text{ g/cm}^3$. Además, se tomaron muestras de agua de proceso para ser utilizadas en la formación de geopolímeros.



Figura 1. Relave de la minera San Pedro

El patrón de DRX del relave de cobre utilizado se muestra en la Figura 2. Este relave de cobre es principalmente un material cristalino compuesto principalmente por albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), y en menor medida, clinocloro ($\text{Mg}_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$), cuarzo

(SiO_2), epidota ($\text{Ca}_2(\text{Al}_2, \text{Fe})(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$) y ortoclasa (KAlSi_3O_8).

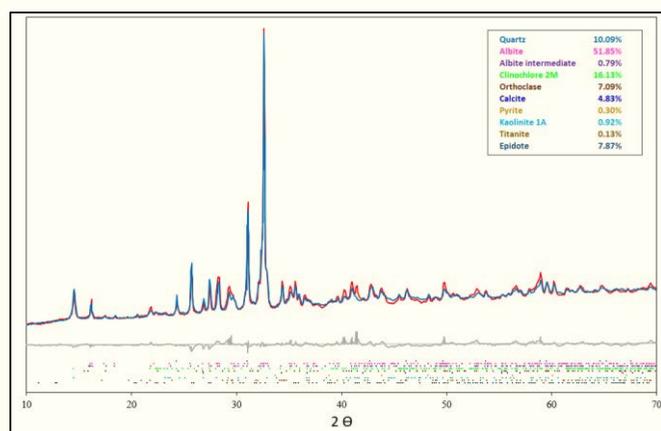


Figura 2 Patrón de DRX del relave de cobre sin reaccionar.

No se utilizará relave seco como en la mayoría de las investigaciones previas [19][20][21], en cambio, el relave se utilizará con una concentración de sólidos del 83%, además, no se añadirá agua de manera externa para la formulación de las mezclas geopoliméricas, el cual es el método desarrollado en investigaciones previas por Castillo et al. Debido a esto, es que se tuvo que utilizar agua de procesos para la homogenización de este relave, lo cual se produjo añadiendo agua hasta obtener un relave de Cp 70%. Posterior a esta homogenización, la pulpa de relave fue filtrada, para así obtener un relave con un Cp de 83% (Figura 3).



Figura 3 Relave con Cp 83%.

La composición química del relave de cobre utilizado en esta investigación se obtuvo mediante el ensayo de plasma de acoplamiento inductivo (ICP), el cual fue realizado por Andes Analytical Assay. Los resultados

presentados corresponden a valores promedios obtenidos en el análisis de varias muestras del relave utilizado. El análisis ICP se realizó bajo el Método Acreditado ISO 17025.Of.2005 INN, LE1386, utilizando una balanza analítica con una precisión mínima de 1 mg para pesar la muestra y prepararla para la lixiviación a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 18 ± 2 h a 30 ± 2 rpm. Luego se realiza la prueba de precipitación para lo cual se toma un extracto de 20 mL y se agregan 2 mL de HNO_3 ; si se observa precipitación, no se acidifica el resto del extracto y se obtiene la medición. Si el extracto no presenta precipitación, se acidifica con ácido HNO_3 hasta $\text{pH} = 2$ y se almacena a 4°C , para su posterior medición. Posteriormente, se diluyen 2,5 mL del extracto de 20 mL y se vacían en un matraz aforado de 50 mL que contiene 12,5 mL de agua regia apagada, para poder realizar la medición por ICP-MS con un ICP-MS Aurora Bruker, EE.UU., en el Laboratorio de Ensayos Analíticos Andes: 3AAA en Chile. De la caracterización del relave presentado en la Tabla 1, se observa que el principal elemento en su composición es el silicio y, en menor medida, el aluminio, y el hierro, siendo los dos primeros fundamentales para la síntesis del geopolímero. De esta tabla se obtiene que el relave utilizado posee una razón Si/Al de 2,83, lo cual de acuerdo a estudios previos [3], se encuentra cercano al rango óptimo para la formación de los geopolímeros (Razones Si/Al cercanas a 2,0).

Tabla 1 Resultados prueba de caracterización química del relave mediante ICP.

Element	Concentration [%]	Element	Concentration [%]
Si	26,95	K	1,19
Al	9,50	Ti	0,60
Fe	8,05	Mn	0,25
Ca	3,28	S	0,12
Na	2,67	Cr	<0,01
Mg	2,10		

La caracterización del agua industrial utilizada para la homogeneización de los relaves se realizó también mediante el ensayo de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP), donde, al igual que en el caso de los

relaves, los resultados obtenidos corresponden a los valores medios obtenidos del análisis de varias muestras. Estos resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2 Resultados prueba de caracterización química del agua industrial mediante ICP.

Element	Concentration [mg/L]	Element	Concentration [mg/L]
S	215	Ta	< 1,00
K	210	Th	< 1,00
Na	158	Tl	< 1,00
K	28	W	< 1,00
Mg	23	As	< 0,50
Al	< 5	La	< 0,50
Fe	< 5	Li	< 0,50
Ti	< 5	P	< 0,50
Sr	1,7	Sb	< 0,50
Ga	< 1,00	Sc	< 0,50
Nb	< 1,00	Te	< 0,50
Sn	< 1,00	Ag	< 0,25
-	-	Bi	< 0,25

Se observa en la Tabla 2 que la mayor concentración corresponde a los iones de azufre. Estos pueden reaccionar con el hidróxido de sodio o con algún componente del relave provocando impurezas o componentes no deseados que alteran los resultados.

En la Figura 4 se muestra la granulometría del relave de flotación de cobre utilizado, en donde esta se obtuvo mediante pruebas de Ro-Tap, la cual consiste en hacer pasar el material particulado a través de una serie de tamices y granulometría láser para los menores tamaños, la cual consiste en analizar la difracción de luz

de partículas en suspensión. Ambas pruebas fueron realizadas en el laboratorio del centro de investigación JRI (CIMS-JRI).

Basándose en las pruebas de clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) de los relaves y sus límites de Atterberg, los relaves se clasifican como un suelo de tipo limo de baja plasticidad (ML) según la Figura 5, es decir, un limo inorgánico con baja compresibilidad.

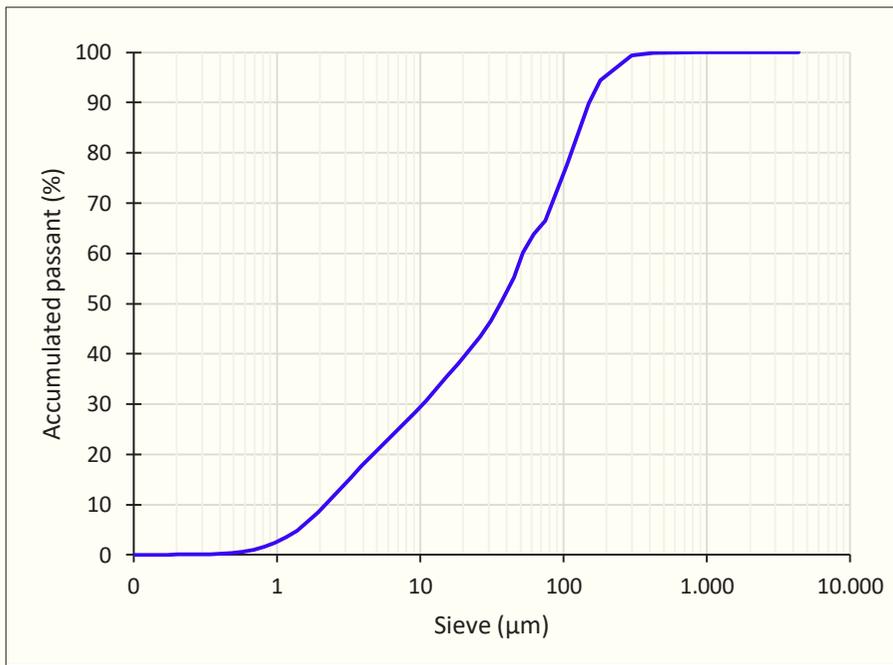


Figura 4 Curva granulométrica del relave utilizado.

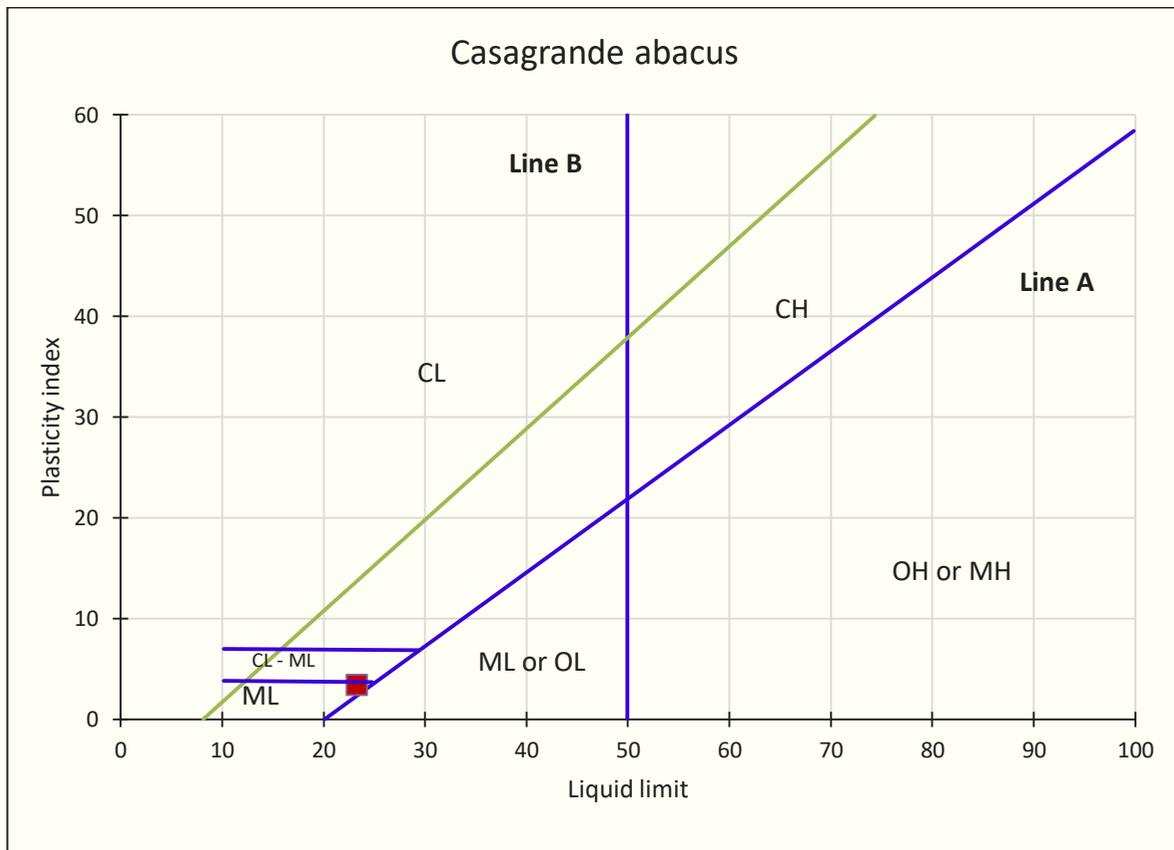


Figura 5 Abaco de Casagrande.

Los límites de Atterberg del relave, aquellos contenidos de agua en los que se modifica el comportamiento del suelo, se presentan en la Tabla 3.

Para finalizar con la caracterización completa del relave, se realizaron ensayos de reología a este, en

donde se obtuvo la tensión de fluencia del relave, su viscosidad y además el pH a distintas concentraciones de sólidos (Cp). Los resultados se presentan en la Tabla 4. Las mediciones recién mencionadas se realizaron todas a temperatura ambiente.

Tabla 3 Límites de Atterberg del relave utilizado

Parameter	Value
Liquid limit	23,3%
Plastic limit	19,7%
Shrinkage limit	20,5%
Plasticity index	3,5%

Tabla 4 Resultados ensayos reológicos al relave utilizado

Cp (%)	Tensión de fluencia (Pa)	Viscosidad (mPa*s)	Temperatura (°C)	pH
50,2%	1,85 ± 0,06	9,7 ± 0,2	20,65	7,74
55,1%	3,7 ± 0,1	14 ± 1	20,65	7,81
60,1%	8,1 ± 0,2	21,2 ± 0,5	20,65	7,88
65,2%	20,9 ± 0,6	42 ± 1	20,70	7,93
70,3%	68 ± 2	115 ± 3	20,95	7,94

2.2 Caracterización hidróxido de sodio

El hidróxido de sodio utilizado en forma de perlas se obtuvo de la empresa Winkler Ltda., Chile. El cual posee una pureza del 99%. Este hidróxido de sodio se

añadió directamente al relave durante la agitación de las mezclas, en donde este se disolvió en el agua proveniente del relave de Cp 83%.

2.3 Caracterización silicato de sodio

El silicato de sodio utilizado en estado acuoso se adquirió de la empresa Austral Chemicals Chile S.A., el cual posee una composición de 30,5% SiO₂, 13,0% Na₂O y 56,5% H₂O. Al igual que con el NaOH, el

silicato de sodio se añadió directamente al relave durante la agitación de las mezclas, por lo tanto, no se realizó una solución alcalina previa.

3 METODOLOGÍA

Para la formulación de las mezclas geopoliméricas se varió las cantidades de los reactivos alcalinos utilizados, en donde en total se formularon seis mezclas distintas, utilizando desde mezclas geopoliméricas activadas con 100% NaOH, hasta mezclas geopoliméricas activadas con 100% Na₂SiO₃,

manteniendo constante en los seis casos, la razón en peso relave/activador alcalino, con el objetivo de analizar que reactivo activador tiene mayor influencia en el desarrollo de la resistencia a la compresión de los geopolímeros ya curados. Los detalles de las mezclas realizadas y la composición de estas se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 Composición de las distintas mezclas geopoliméricas

Mix name	Solids in tailings (Cp) (%)	NaOH (%)	SS (%)	water/solids
Cp83 100-0	83	100	0	0,17
Cp83 80-20	83	80	20	0,19
Cp83 60-40	83	60	40	0,22
Cp83 40-60	83	40	60	0,24
Cp83 20-80	83	20	80	0,26
Cp83 0-100	83	0	100	0,29

La Figura 6 muestra las composiciones químicas de cada mezcla de geopolímero en el diagrama ternario de SiO₂-Na₂O-Al₂O₃. De esto se puede observar que la composición de los geopolímeros varia aproximadamente desde un 63,3% de sílice en peso para la muestra activada con 100% hidróxido de sodio, hasta un 72,6% de sílice para la muestra activada con 100% silicato de sodio, debido a la adición de sílice soluble por parte de este reactivo. Por otro lado, todas las mezclas presentan cantidades de alúmina similares

en su composición. Cabe destacar que las seis mezclas caen en el rango de la fase geopolimérica descrita en el diagrama de fases ternario SiO₂-Na₂O-Al₂O₃ del estudio de Juengsuwattananon et al.,[22]. De acuerdo a lo esperado, ambas mezclas formaron el gel geopolimérico, ya que ambas endurecieron tras aplicarles un proceso de curado, por lo cual efectivamente ambas mezclas estuvieron en el rango correcto para la formación del geopolímero de acuerdo a su composición.

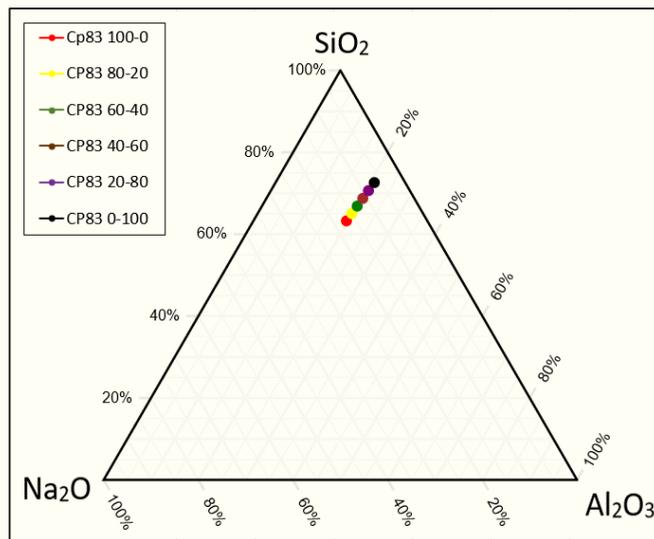


Figura 6 Diagrama ternario sistema $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3$.

Como se mencionaba anteriormente, en primera instancia el relave tuvo que ser homogenizado, lo cual se logró formando una pulpa de relave de Cp 70%. Posterior a esto, el relave ya homogéneo fue filtrado para obtener así, una pulpa de relave de Cp 83%, el cual es el contenido de sólidos que se necesita en el método utilizado en este estudio para la fabricación de los geopolímeros (método VII del estudio de Castillo et al., [1]). Se evitó utilizar relave seco, al igual que en estudios previos realizados en la misma línea de estudio [1], debido a que industrialmente este proceso de secado de relave es poco eficiente al tener que añadir agua posteriormente para la formación de las mezclas geopoliméricas. Luego de esto, se pesó la cantidad de relave a utilizar en cada mezcla por separado y se añadió el hidróxido de sodio y silicato de sodio en las cantidades respectivas según la Tabla 5 a cada mezcla. Luego se agitó mecánicamente cada mezcla durante 15 minutos para la obtención de una pasta geopolimérica homogénea. Cada mezcla posterior a su agitación fue vertida en moldes cilíndricos de acero de 10 cm de alto y 5 cm de diámetro, en donde se utilizó vibración durante 5 min para la eliminación de las burbujas de aire atrapadas en el interior del molde. Luego las mezclas ya moldeadas fueron curadas en un horno durante 7 días a 90°C para su endurecimiento. Posterior al curado, las probetas fueron desmoldeadas y preparadas para ser testeadas mediante ensayos de compresión uniaxial.

Para analizar las propiedades de las pastas frescas de geopolímeros creadas, se realizaron ensayos de reología, pH y temperatura a estas, previo a su curado, debido a que estas propiedades son de importancia para analizar, por ejemplo, el eventual transporte de estas mezclas mediante bombas para un uso posterior, así como también para analizar si las mezclas se encuentran en el rango correcto de alcalinidad. Las mediciones de pH a las pastas frescas de geopolímeros se realizaron utilizando un medidor de pH digital DFRobot, previamente calibrado entre pH 7 y 13, a una temperatura controlada de 20°C . Al mismo tiempo que las mediciones de pH, se realizaron mediciones de temperatura en las pastas frescas de geopolímeros, utilizando un termómetro digital, con el fin de obtener la temperatura de las mezclas en todo momento durante la agitación. Las mediciones reológicas de las pastas de geopolímeros se llevaron a cabo utilizando un reómetro HAAKE RheoStress 6000 con una sonda de paleta FL100, empleando una velocidad de cizallamiento de $0,1 \text{ 1/s}$ durante 60 segundos.

Para la caracterización de los geopolímeros ya endurecidos, es decir, posterior a su curado, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, los cuales fueron realizados de acuerdo con la norma ASTM D7012-10 en una prensa de hormigón.

4 RESULTADOS

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos en el transcurso de esta investigación, dividiendo los resultados en mediciones realizadas previas al endurecimiento de los geopolímeros, y posteriores a este.

Posterior al curado de cada mezcla durante 7 días a 90°C, las probetas fueron sacadas del horno y desmoldeadas. En general, se observó que todas las mezclas geopoliméricas habían endurecido con la aplicación de un régimen de curado a temperaturas moderadamente elevadas, pero presentando distintas

apariencias de acuerdo a su composición. En la Figura 7, se puede observar la diferencia en la apariencia de un geopolímero en base a relave de cobre activado con 100% NaOH (Figura 7 (a)) con la de uno activado con 100% Na₂SiO₃ (Figura 7 (b)). Por otro lado, durante el desmoldado de las probetas, ocurrió la fractura de geopolímero Cp83 40-60, como se muestra en la Figura 8, por lo que se tuvo que utilizar el duplicado de esta probeta.

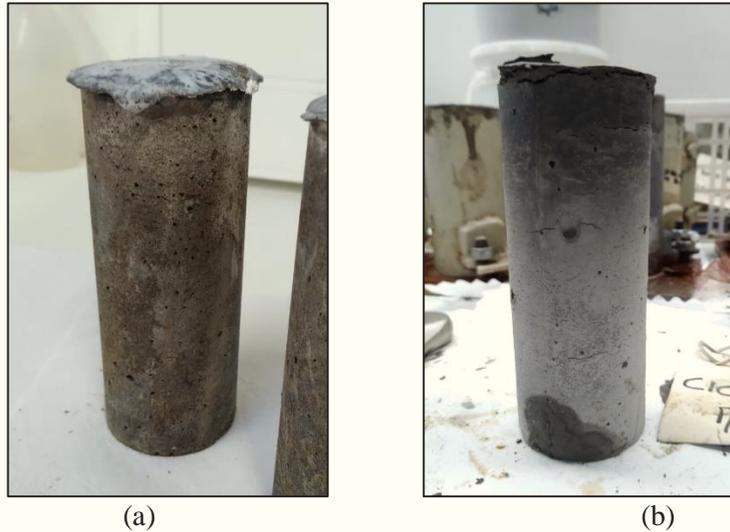


Figura 7 Apariencia geopolímeros posterior a su endurecimiento (a) mezcla Cp83 100-0; (b) mezcla Cp83 0-100.



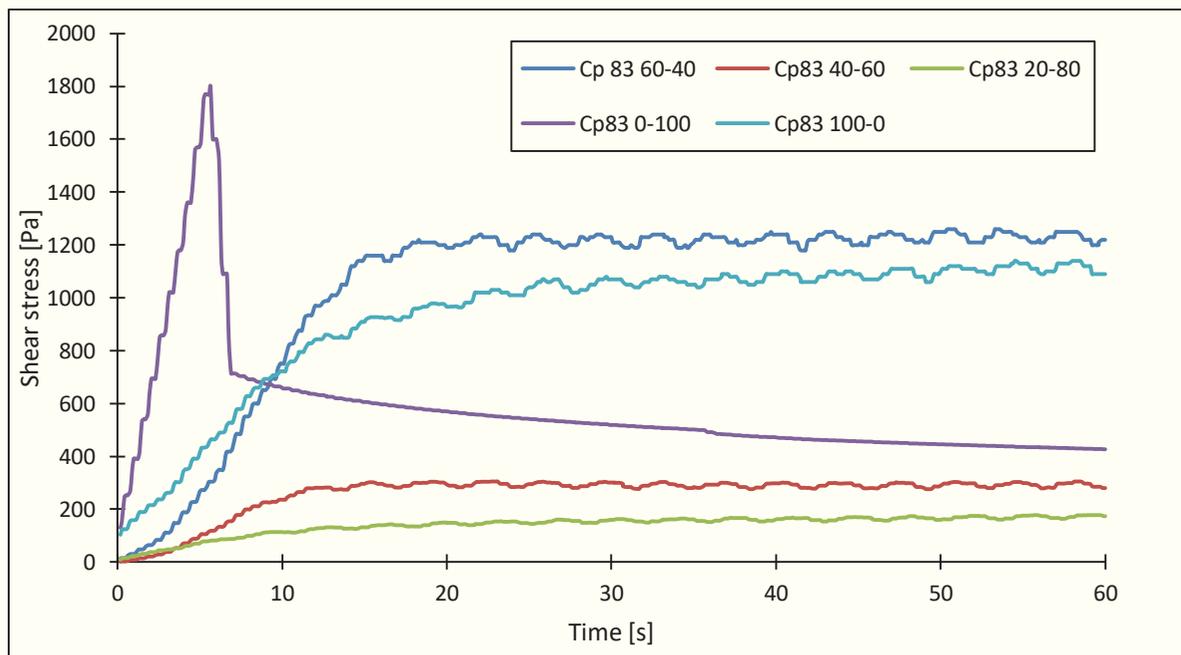
Figura 8 Apariencia geopolímeros posterior a su endurecimiento

4.1 Comportamiento de las pastas frescas de geopolímeros

4.1.1 Resultados ensayos de reología

De los ensayos de reología, los cuales se realizaron a las pastas frescas de geopolímeros posterior a su agitación, se obtuvo que las propiedades reológicas aumentaron de manera considerable para todas mezclas en comparación con las propiedades reológicas del relave sin la adición de reactivos. Para la mezcla activada utilizando un 80% NaOH y 20% SS, no se pudo obtener mediciones reológicas, debido a que la mezcla formada se asimilaba más a un material sólido que a un líquido. Las mezclas geopoliméricas Cp83 100-0 y Cp83 60-40 obtuvieron comportamientos similares, presentando límites de fluencia elevados de 1.100 Pa y 1.250 Pa respectivamente. Las mezclas

Cp83 40-60 y Cp83 20-80 presentaron límites de fluencia bajos en comparación con las otras mezclas, siendo estos de 300 Pa y 160 Pa respectivamente. Diferente fue el caso de la mezcla geopolimérica activada 100% con silicato de sodio, en donde se obtuvo un comportamiento distinto. En este caso la pasta geopolimérica presentó un límite de fluencia mayor a los observados previamente, llegando hasta los 1.800 Pa de límite de fluencia, y posterior a este límite, la resistencia de la pasta disminuyó drásticamente hasta los 700 Pa, en donde se estabilizó y empezó a disminuir lentamente con el tiempo del ensayo.



4.1.2 Resultados ensayos de pH

Las mediciones de pH a las pastas frescas se realizaron durante la agitación de las mezclas (Figura 9), con el objetivo de analizar la alcalinidad de los sistemas y además la variación en los niveles pH desde el

mezclado de los componentes hasta el momento en donde se vierte la mezcla a los moldes, por este motivo la duración de los ensayos de pH fue de 20 minutos. Los resultados se pueden ver en la Figura 10.



Figura 9 Medición de pH y temperatura durante la agitación de las mezclas.

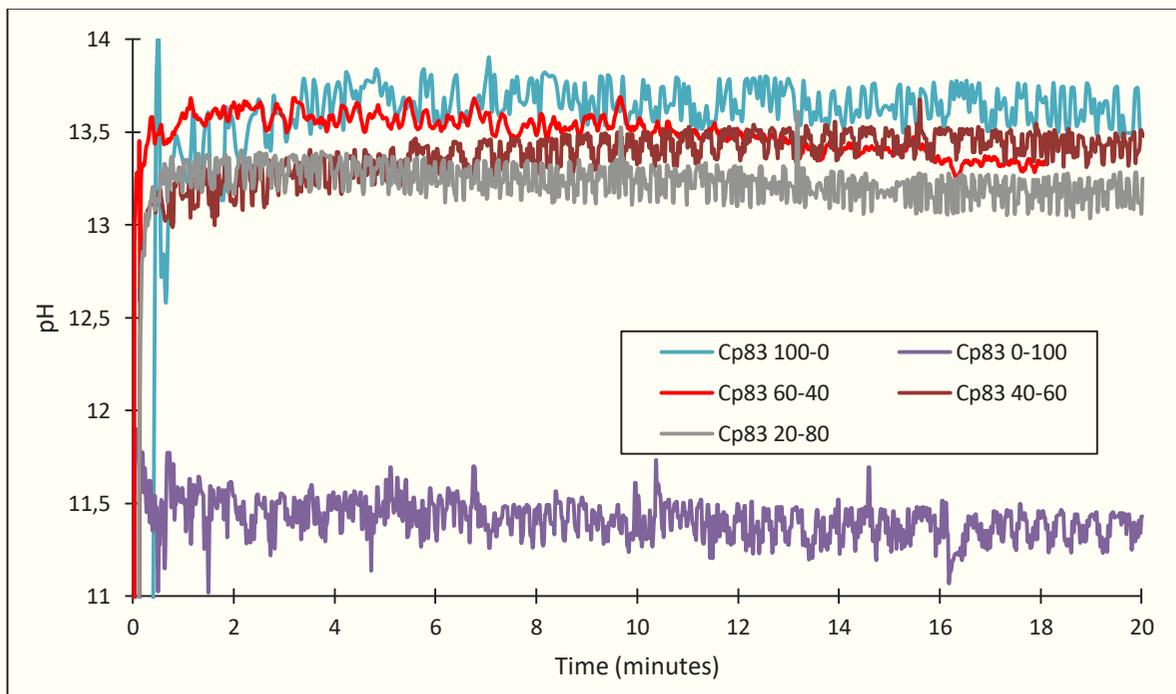


Figura 10 Curvas de pH de las pastas frescas de geopolímeros.

De la Figura 10 se puede apreciar que casi todas las mezclas elevan su pH rápidamente hasta un valor entre 13 y 14, debido a la disolución del NaOH en contacto con el agua procedente de los relaves, a diferencia de la mezcla Cp83 0-100 la cual no contiene NaOH y por lo tanto sus niveles de pH son menores, llegando a valores de pH entre 11 y 11,8. Esto indica que la alcalinidad de la mayoría de las mezclas está en el rango correcto, ya que la mayoría de los autores recomiendan trabajar en un rango de pH entre 13 y 14 para obtener una buena disolución de los aluminosilicatos procedentes de la

fuente, que posteriormente contribuyen a la formación del gel NASH. Cabe destacar que, aun teniendo un pH correcto, se espera que la disolución de aluminosilicatos provenientes del relave sea baja, debido a la baja reactividad que posee esta fuente frente a agentes alcalinos. Por otro lado, si bien la muestra activada con 100% silicato de sodio al estar en un rango de pH entre 11 y 12 se espera una mala disolución de los aluminosilicatos presentes en el relave, esto puede ser compensado con el silicio soluble que aporta el mismo silicato de sodio.

4.1.3 Resultados ensayos de temperatura

Al mismo tiempo que se realizaron los ensayos de pH, se realizaron ensayos para medir la temperatura de las mezclas durante la agitación, para analizar la variación de temperatura desde la adición de los reactivos hasta el momento en el que se vierte la mezcla a los moldes.

todas las mezclas fue de 52,8 °C. A esta temperatura, la solubilidad del NaOH en el agua es de aproximadamente el 60%, lo que significa que no todo el NaOH añadido a la mezcla se disolvió, quedando una cantidad sin disolver.

En la Figura 11 se observa que mientras mayor es el contenido de NaOH, mayor es la temperatura generada en las mezclas geopoliméricas. Esto se debe a la disolución del NaOH en el agua procedente del relave, donde esta disolución, al ser una reacción exotérmica, genera calor. La temperatura máxima alcanzada de

Por otro lado, la mezcla activada con 100% SS presenta un comportamiento distinto, ya que esta no eleva su temperatura considerablemente debido a que no ocurre una disolución exotérmica como con las otras mezclas.

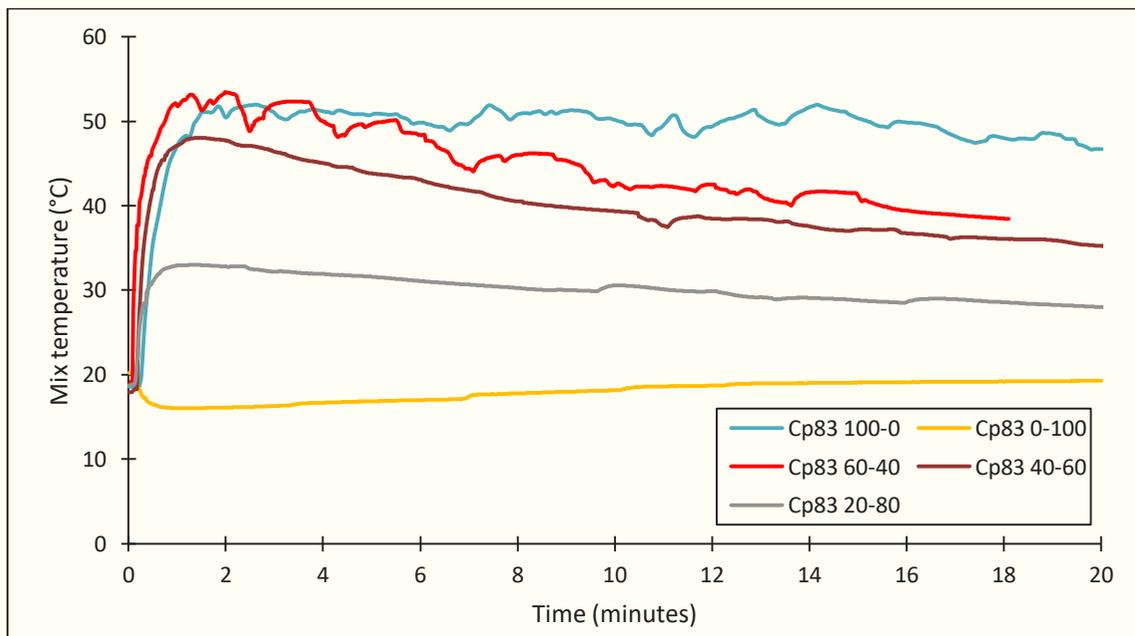


Figura 11 Variación de la temperatura durante la agitación de las mezclas geopoliméricas.

4.1.4 Comportamiento de los geopolímeros endurecidos

Posterior al curado de los geopolímeros, es decir, posterior al endurecimiento de estos, se realizaron ensayos de compresión para analizar las propiedades físicas de estos. Con el objetivo de caracterizar este

producto, para verificar que cumpla con las propiedades necesarias para ser utilizado como material de construcción.

4.1.5 Resultados ensayos compresión uniaxial

Se realizaron ensayos de compresión a cada una de las mezclas geopoliméricas creadas, con un tiempo de curado de 7 días a 90°C. Como muestran los resultados de la Figura 12, se observó que la mayoría de las mezclas geopoliméricas presentaron una buena resistencia a la compresión, y los valores de resistencia obtenidos se asemejan a los obtenidos en estudios previos sobre geopolímeros en base a relaves de cobre, ya que de por sí, se espera que la resistencia a la compresión de este tipo de geopolímeros sea menor que la obtenida por geopolímeros con otras fuentes de aluminosilicatos más reactivas, como las cenizas volantes y el metacaolín. La máxima resistencia a la

compresión la obtuvo el geopolímero activado con 100% silicato de sodio (Cp83 0-100), con una resistencia a la compresión de 36,46 MPa y una deformación axial de 2,36%. Luego le sigue el geopolímero activado con 100% NaOH (Cp83 100-0), el cual obtuvo una resistencia a la compresión máxima de 22,98 MPa con una deformación axial del 3,53%. Los geopolímeros Cp83 80-20 y Cp83 20-80 obtuvieron resistencias a la compresión similares en torno a los 16,5 MPa. Por último, los geopolímeros Cp83 60-40 y Cp83 40-60 obtuvieron las menores resistencias a la compresión, con 2,74 MPa y 2,53 MPa respectivamente.

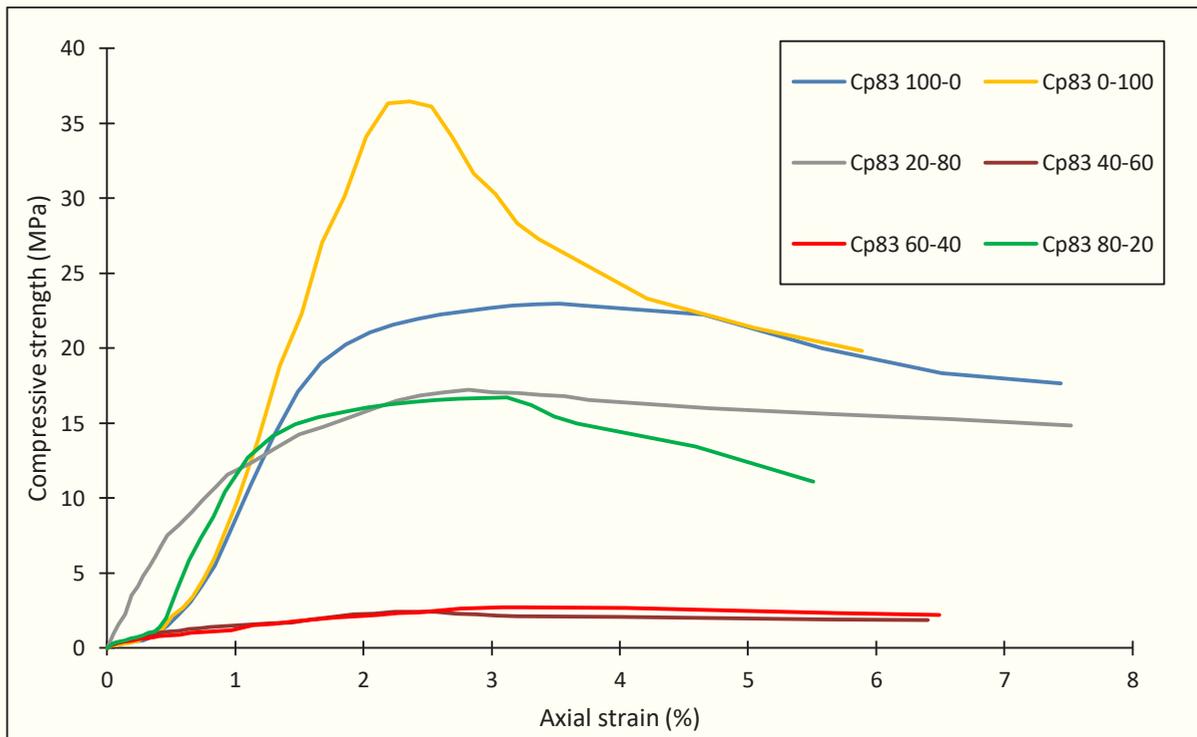


Figura 12 Curvas esfuerzo deformación de los geopolímeros creados

De estos resultados se puede mencionar que los geopolímeros que obtuvieron mayores resistencias a la compresión son los cuales tienen un solo tipo de reactivo alcalino, y no una combinación de estos. Por otro lado, una alta cantidad de SS sumado a una baja cantidad de NaOH, así como una alta cantidad de

NaOH y una baja cantidad de SS en la solución alcalina generaron geopolímeros de resistencias similares. Por último, se obtuvo que cantidades similares de ambos reactivos en la solución alcalina generaron geopolímeros de bajas resistencias.

5 CONCLUSIONES

Se puede mencionar que, de acuerdo a la metodología utilizada para la creación de los geopolímeros, a las composiciones utilizadas, y a las temperaturas y tiempos de curado, estas variables estuvieron en los rangos correctos debido a que, en todos los casos, se obtuvieron geopolímeros endurecidos, obteniendo en la mayoría buenas propiedades mecánicas, lo cual es la variable más importante a analizar debido al posible uso que se le quiere dar a estos materiales.

La caracterización del relave de cobre utilizado fue fundamental, ya que así se pudo demostrar que este se componía principalmente de Si y Al, elementos los cuales son esenciales para la formación de los geopolímeros. Además, la caracterización mineralógica y el grado de molienda de las partículas también fue un parámetro importante a considerar, ya que con esto se obtuvo un indicio de la posible reactividad de la fuente de aluminosilicatos. Por otro lado, se tuvo que la composición de las mezclas geopoliméricas creadas se encontraba dentro del rango estudiado por otros autores previos.

Dentro de las mezclas geopoliméricas creadas, para el análisis de la reología, se tuvo que las que menores límites de fluencia fueron para las mezclas Cp83 40-60 y Cp83 20-80, ambas con relativamente altas cantidades de SS. No ocurriendo este mismo comportamiento con la muestra activada con 100% silicato de sodio, la cual presentó una gran disminución en el esfuerzo necesario para deformar esta pulpa posterior a su elevado límite de fluencia.

Se tuvo que las mezclas que poseían NaOH en su solución alcalina presentaron mayores valores de pH y temperatura durante la agitación de esta, debido a la reacción exotérmica de disolución de este reactivo en contacto con el agua, la cual genera calor y además libera iones OH⁻. En cambio, la mezcla activada con 100% SS obtuvo menores valores de pH y de temperatura, debido a que este no es un reactivo tan alcalino como el NaOH, además no presenta reacciones exotérmicas durante su disolución.

En base a los resultados de compresión uniaxial, se obtuvo que el geopolímero que mayor resistencia obtuvo fue el Cp83 0-100, obteniendo 34,46 MPa, y posteriormente el activado con NaOH, obtenido 23 MPa aproximados de resistencia a la compresión. Las menores resistencias a la compresión la obtuvieron los geopolímeros Cp83 60-40 y Cp83 40-60.

Al realizar un análisis cruzado entre el pH y la resistencia a la compresión, se puede comentar que en la medida de mayor cantidad de NaOH mayor será su pH y para una mayor cantidad de NaOH será mayor su resistencia, sin embargo, los datos mostraron todo lo contrario para el caso del SS, ya que este presentó un muy bajo pH pero a su vez la más alta resistencia a la compresión simple, debido principalmente a que las mezclas han sido curadas en un horno a 90°C haciendo que la reacción del SS se produzca en este periodo de curado.

6 REFERENCIAS

- [1] H. Castillo *et al.*, “Methodologies for the Possible Integral Generation of Geopolymers Based on Copper Tailings,” *Minerals*, vol. 11, no. 12, p. 1367, 2021, doi: 10.3390/min11121367.
- [2] H. Castillo, H. Collado, M. Vesely, P. Garrido, and S. Palma, “State of the art of geopolymers : Review,” *DE GRUYTER*, vol. 22, pp. 108–124, 2022, doi: <https://doi.org/10.1515/epoly-2022-0015>.
- [3] H. Castillo *et al.*, “Factors affecting the compressive strength of geopolymers: A review,” *Minerals*, vol. 11, no. 12, pp. 1–28, 2021, doi: 10.3390/min11121317.
- [4] B. Singh, G. Ishwarya, M. Gupta, and S. K. Bhattacharyya, “Geopolymer concrete: A review of some recent developments,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 85, pp. 78–90, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.03.036.
- [5] K. Z. Farhan, M. A. M. Johari, and R. Demirboğa, “Assessment of important parameters involved in the synthesis of geopolymer composites: A review,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 264, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120276.
- [6] Y. Li, X. Min, Y. Ke, D. Liu, and C. Tang, “Preparation of red mud-based geopolymer materials from MSWI fly ash and red mud by mechanical activation,” *Waste Manag.*, vol. 83, pp. 202–208, 2019, doi: 10.1016/j.wasman.2018.11.019.
- [7] J. Dang, X. Shen, A. Castel, and J. Aldred, “Monitoring apparent pH value in geopolymer concrete using glass electrode,” *ISARC 2016 - 33rd Int. Symp. Autom. Robot. Constr.*, no. Isarc, pp. 547–554, 2016, doi: 10.22260/isarc2016/0066.
- [8] D. Khale and R. Chaudhary, “Mechanism of geopolymerization and factors influencing its development: A review,” *J. Mater. Sci.*, vol. 42, no. 3, pp. 729–746, 2007, doi: 10.1007/s10853-006-0401-4.
- [9] M. Dineshkumar and C. Umarani, “Effect of Alkali Activator on the Standard Consistency and Setting Times of Fly Ash and GGBS-Based Sustainable Geopolymer Pastes,” *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/2593207.
- [10] N. W. Chen-Tan, A. Van Riessen, C. V. Ly, and D. C. Southam, “Determining the reactivity of a fly ash for production of geopolymer,” *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 92, no. 4, pp. 881–887, 2009, doi: 10.1111/j.1551-2916.2009.02948.x.
- [11] Y. Rifaai, A. Yahia, A. Mostafa, S. Aggoun, and E. H. Kadri, “Rheology of fly ash-based geopolymer: Effect of NaOH concentration,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 223, pp. 583–594, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.028.
- [12] M. Jafari Nadoushan and A. A. Ramezani-pour, “The effect of type and concentration of activators on flowability and compressive strength of natural pozzolan and slag-based geopolymers,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 111, pp. 337–347, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.086.
- [13] J. W. Phair and J. S. J. Van Deventer, “Effect of silicate activator pH on the leaching and material characteristics of waste-based inorganic polymers,” *Miner. Eng.*, vol. 14, no. 3, pp. 289–304, 2001, doi: 10.1016/S0892-6875(01)00002-4.
- [14] A. Kashani, J. L. Provis, G. G. Qiao, and J. S. J. Van Deventer, “The interrelationship between surface chemistry and rheology in alkali activated slag paste,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 65, pp. 583–591, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.127.
- [15] G. Görhan, R. Aslaner, and O. Şinik, “The effect of curing on the properties of metakaolin and fly ash-based geopolymer paste,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 97, pp. 329–335, 2016, doi: 10.1016/j.compositesb.2016.05.019.
- [16] Y. Ding, J. G. Dai, and C. J. Shi, “Mechanical properties of alkali-activated concrete: A state-of-the-art review,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 127, pp. 68–79, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.121.
- [17] X. Guo, W. Hu, and H. Shi, “Microstructure and self-solidification/stabilization (S/S) of heavy metals of nano-modified CFA-MSWIFA

- composite geopolymers,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 56, pp. 81–86, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.01.062.
- [18] M. Lahoti, K. K. Wong, K. H. Tan, and E. H. Yang, “Effect of alkali cation type on strength endurance of fly ash geopolymers subject to high temperature exposure,” *Mater. Des.*, vol. 154, pp. 8–19, 2018, doi: 10.1016/j.matdes.2018.05.023.
- [19] R. Obenaus-Emler, M. Falah, and M. Illikainen, “Assessment of mine tailings as precursors for alkali-activated materials for on-site applications,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 246, p. 118470, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118470.
- [20] S. Ahmari and L. Zhang, “Production of eco-friendly bricks from copper mine tailings through geopolymerization,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 29, pp. 323–331, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.10.048.
- [21] L. Manjarrez, A. Nikvar-Hassani, R. Shadnia, and L. Zhang, “Experimental Study of Geopolymer Binder Synthesized with Copper Mine Tailings and Low-Calcium Copper Slag,” *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 31, no. 8, p. 04019156, 2019, doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002808.
- [22] K. Juengsuwattananon, F. Winnefeld, P. Chindapasirt, and K. Pimraksa, “Correlation between initial SiO₂/Al₂O₃, Na₂O/Al₂O₃, Na₂O/SiO₂ and H₂O/Na₂O ratios on phase and microstructure of reaction products of metakaolin-rice husk ash geopolymer,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 226, pp. 406–417, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.146.
-

PREDETERMINACION DE SISMOS DE SUBDUCCION: UN PUNTO DE VISTA TEORICO

Sergio Irrarrazaval Z.¹

RESUMEN

La principal fuente de actividad sísmica en los grandes sismos de Chile, son los sismos interplaca de subducción. Estos se caracterizan por la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, en la fosa mar-afuera frente al litoral de Chile, CSN-UCH (2016). Los sismos interplaca de subducción tienen lugar cuando la interacción entre placas causa una gran deformación en ambas placas, alcanzando grandes tensiones las que en algún momento se relajan, y ambas se deslizan, liberando energía. Existe un cierto estado del arte con intentos para predecir actividad sísmica en importantes sismos de subducción. Algunos de esos intentos no están listos para usarse. Ante esa carencia, se propone un mapeo superficial de la Placa de Nazca, al oeste de la zona de subducción, para la predeterminación de grandes sismos, de manera de detectar y describir asperezas en posición y dimensiones. Considerando la velocidad promedio de dicha placa, y su distancia de la fosa del Pacífico, se puede estimar el instante del contacto de la aspereza con la Placa Sudamericana, y entonces, con un modelo tensión-deformación-tiempo se podría calcular aproximadamente el tiempo para el evento sísmico y su magnitud. Pero la idea es demoler las rugosidades, antes del contacto entre placas, y de esta forma un importante evento sísmico no puede ocurrir. Por otra parte, el presupuesto de la mencionada tecnología, puede ser un pequeño porcentaje del costo de la devastación sísmica, y en consecuencia esta técnica respalda la idea. Esta idea que nunca se ha propuesto antes, debe ser estudiada.

¹ Ingeniero Consultor Geotécnico. E-mail: sirarrazavalz@gmail.com

INTRODUCCION

El estado actual del conocimiento, relacionado con actividad sísmica, y específicamente con sismos de subducción, es tal, que no se puede predecir, cuándo y dónde ocurrirán. Sin embargo, ha habido muchos intentos de predeterminación, respondiendo el cuándo y dónde del evento.

Pero ninguna de estas ideas ha sido exitosa. Hay algunas tendencias generales relacionadas con la ocurrencia de sismos de subducción, en posición y tiempo, pero no son precisas. Los casos sísmicos, la tectónica de placas y la descripción del inicio de un sismo en función de las asperezas de la placa de Nazca, se mencionan a continuación.

CASOS SISMICOS

El terremoto de Tohoku en Japon, en 2011, con $M_w=9.0$, fue un movimiento fuerte producto de asperezas localizadas cercanas a la costa, que además causó un gran tsunami.

En Chile, el sismo de 27/febrero de 2010, con $M_w=8.8$, provocó una gran devastación en el territorio nacional. Fue un evento de subducción, constituyéndose en uno de los más importantes terremotos a nivel mundial. En nuestro país también destaca el sismo de 1960, terremoto de Valdivia, de $M_w=9.5$, uno de los más grandes registrados en el planeta.

TECTONICA DE PLACAS

Desde el siglo XVII existe preocupación por las similitudes entre líneas de costa y geología entre distintos continentes.

Y desde el siglo XX existe la teoría “tectónica de placas” de Alfred Wegener. Nos referiremos a esta última a continuación.

Según esta Teoría, la capa más externa del planeta está, en todas partes, en movimiento incesante, moviéndose a velocidades promedio medibles, de varios centímetros por año. Esta capa sobre la que vivimos es una delgada piel de costra sólida, llamada “litosfera terrestre”. La litosfera se compone de capas litosféricas o “placas tectónicas”. Durante el siglo XX emergió la “Teoría de tectónica de placas”, para explicar por qué y

cómo se mueven estas placas, e interactúan. Esta teoría es ampliamente aceptada por la comunidad científica, aunque algunos de sus aspectos son todavía debatidos.

Alfred Wegener demostró que la distribución dispersa de ciertos fósiles de plantas y animales en la actualidad, en todos los continentes, formarían “patrones coherentes”, si son juntados formando el supercontinente preexistente de Gondwana. Como aspecto relacionado, se menciona que la velocidad de movimiento de las placas está en un rango entre 1 a más de 15 cms/año.

Esta teoría, es ampliamente aceptada desde 1960.

ASPEREZAS EN PLACA DE NAZCA

Ya se ha mencionado, la importancia de las asperezas de la placa de Nazca. Una aspereza es un área sobre una falla que está atascada. Es una rugosidad de la falla. La ruptura de un sismo generalmente comienza en una aspereza. Estas son causadas por rugosidades o salientes sobre la falla, actuando como contactos soldados entre los lados de la falla. “Fallas jóvenes” tienen superficies rugosas con más asperezas. Como la falla, repetidamente se rompe, las asperezas pueden ser desgastadas, o “excavadas” naturalmente, suavizando la falla. Gran parte de la energía liberada por sismos viene de la destrucción de estas asperezas.

Los sectores de la falla que producen grandes sismos, pueden permanecer bloqueados muchísimos años, mientras aumenta la deformación; posteriormente, la deformación se relaja al alcanzar un máximo de la misma, produciendo un gran sismo.

Los sismos son episodios de deslizamiento; son seguidos por periodos de no-deslizamiento, durante los cuales la deformación elástica se incrementa sin cesar.

SISMOS DE SUBDUCCION

Como conocimiento general, la génesis de sismos de subducción se describe aquí. Este tipo de sismos, resulta de la introducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. El mecanismo es como sigue: la Placa de Nazca avanza hacia la costa de Chile, a cierta velocidad, introduciéndose siempre bajo la placa

Sudamericana, pero, cuando la primera muestra una aspereza, la penetración de la placa de Nazca se detiene por un tiempo. Por un lapso de tiempo, la rugosidad comienza a deformarse, hasta el instante en que la aspereza es destruida y repentinamente toda la energía de deformación es liberada, acompañada de una gran fisura, de algunos kilómetros; esa energía es la energía del sismo, que comienza a propagarse en varias direcciones, en forma de ondas P y S, en particular hacia la costa, y luego en tierra firme.

Figura 1. Las placas tectónicas del planeta.

PROPOSICION PARA EVITAR UN SISMO EN TIERRA FIRME

El autor de este artículo propone una idea para disminuir la magnitud del sismo o que éste no se produzca.

Previamente al evento potencial, la superficie de la placa de Nazca puede ser mapeada, localizándose las asperezas y sus dimensiones. Si la idea es evitar el sismo, se sugiere destruir las asperezas antes que lleguen a la fosa del Pacífico, para no producir deformación cuando aquella placa se subducta bajo la Sudamericana. El resultado de lo anterior es que, no se induce sismo o, se produce un evento de menor magnitud.

FUNDAMENTO DE LA PROPOSICION

Todo lo mencionado requiere un buen reconocimiento de la placa de Nazca. Esto es posible con tecnologías actuales, o se deben desarrollar. Luego, se dispone de un buen mapa topográfico del fondo oceánico, y también posición y distancia de las asperezas a la fosa del Océano Pacífico, como también el lapso de tiempo en que las asperezas alcanzaran aquella fosa.

DESEMPEÑO PRACTICO

El desarrollador de la tecnología para eliminar las asperezas, puede efectuar todo el trabajo, cuyo valor económico, debe ser menor que el costo económico del daño potencial de edificios de ciudades e infraestructura en tierra. El costo total del daño económico en todos los sectores económicos chilenos, fue del orden de 30.000×10^6 USD \$, en el sismo del

27/F 2010. También incluye el costo del daño del tsunami. Es muy probable que, el valor de extracción de las asperezas sea inferior al costo total enunciado de los daños.

CONCLUSIONES

Todo el trabajo de mitigación del sismo, o su eliminación, significa una mejor vida para los habitantes de la zona de daño potencial. El riesgo sísmico, al menos en sismos de subducción sería bajo. Los antiguos problemas con sismos se dejan de lado en gran parte, al menos respecto a sismos de subducción. Lo anterior sería un gran avance en el control de cierto tipo de sismos. Chile, y las zonas afectadas de subducción en general, se verían beneficiadas.

REFERENCIAS

- 1.- USGS, UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE.
- 2.- Mw = 8.8, Terremoto en Chile, 27 de febrero de 2010. Departamento de Ingeniería Civil, FCFM de la Universidad de Chile, 2012.
- 3.- Apuntes curso de postgrado, Sismología, FCFM UCH, 2006.
- 4.- Centro Sismológico Nacional – UCH, 2016.

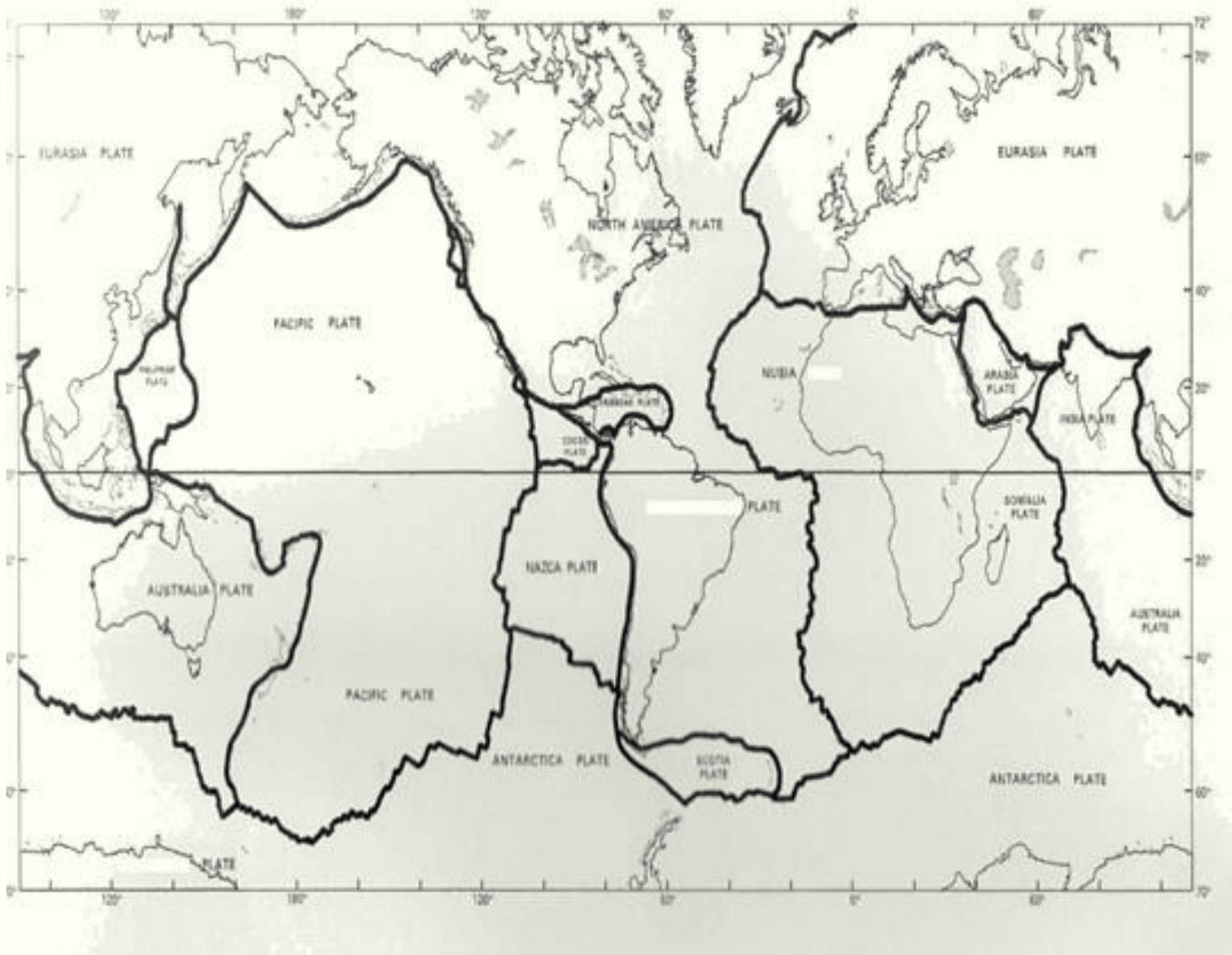


Figura 1. Placas tectónicas del planeta.

OPINIÓN. PROYECTOS DE ENERGÍA EN UN MUNDO SOBRECALENTADO.

Hernán Salazar Zencovic
Ingeniero Civil - UTFSM / Máster en Gestión de Riesgos

Más de alguna vez se escucha que los ingenieros aborrecen de la incertidumbre, pero también gastan no poca energía para imaginar los escenarios futuros determinísticos a los que se verá enfrentado un proyecto de energía, que por lo general requieren de más de una década para recuperar las inversiones. En parte hay algo de razón en aquello, especialmente si se aprecia más de lo necesario, una fiel visión científica de los modelos matemáticos que intentan anticipar el futuro sobre algoritmos multifactoriales en que se confía haber descubierto la ley que gobierna las correlaciones entre esos factores. Es que en ese empeño se debe comenzar por lo subjetivo y una sensibilidad especial para observar la naturaleza humana, lo cual no es objetable especialmente, para los que compartan plenamente la clarificadora visión de Ludwig Von Mises de la economía. Pero si en el esfuerzo de predecir se termina por pensar que ese intento de modelar el futuro se constituye solamente como la resultante de los equilibrios entre las variables objetivas, determinísticas conocidas y concretas, sencillamente se corre el riesgo de caer en un error que expone seriamente el futuro de los proyectos y la promesa de valor del negocio. ¿Por qué ocurre esto?, pues porque en los modelos matemáticos, sobre bases objetivas, no se pueden predecir, en condiciones de equilibrio, las actuaciones humanas que interactúan en la sociedad en una dinámica de intercambio de necesidades sociales y cosmogonías muy diversas, entendiendo por éstas aquellas de naturaleza de innovación, demandas sociales de todo orden, evolución de las estructuras de poder, crisis de medios de subsistencia, afanes ideológicos, fenómenos macroeconómicos adversos, entre otros.

Mantenerse en una posición subjetiva para evaluar las incertidumbres requiere cierta disciplina y acopio de inteligencia, ir más allá y salirse del rol científico y la mirada de ingeniero, para evaluar las contingencias y las reservas que ella requiere para asegurar el éxito del proyecto. Exige una mirada holística, informada, veraz, multidisciplinaria y por qué no decirlo, conocer

el alma humana y social del entorno dentro de un marco histórico y sus carencias en aquellos factores con capacidad de incidir en la incertidumbre. Por cierto, todo riesgo trae consigo en el reverso de su moneda una oportunidad, y es en esta última donde aparecen más actores y factores frecuentemente inesperados y ajenos al mundo empresarial. Proyecto, significa un salto hacia el futuro y en el caso de los proyectos de energía, por el alcance e importancia para la sociedad, se cuenta con un sector normado que regula condiciones técnicas y ambientales, concitando además el interés de las comunidades que participan directamente, atrayendo la presencia de autoridades del ámbito fiscalizador como del sector político y también de competidores del proyecto. Si, además, el Estado como entidad jurídica, está en régimen de transformaciones, en sí aporta escenarios futuros que deben ser escudriñados adecuadamente, pues los ingenieros no cuentan con un manual para leer el “espíritu de los tiempos”.

No es menor el hecho que el Project Management Institute (PMI) informa en un estudio realizado durante varios años, con alcance global de proyectos, que solo el 26% de todos los proyectos tienen éxito en cumplir su promesa a la Alta Dirección. Eso significa que la mayoría de los proyectos fallan en la gestión de los riesgos que pueden gatillarse durante su ciclo de vida. Por cierto, se incumple el plazo y el presupuesto, que se suman la pérdida de reputación, presencia de mercado y desvalorización de marca, entre otros. Varios de estos impactos se pueden atribuir a fallos en la gestión y resulta sorprendente que - con frecuencia - se ha fallado precisamente en la gestión y evaluación temprana de los riesgos de proyecto, lo que involucra a toda la organización y no solamente al ejecutivo responsable del proyecto. En un mundo “sobrecalentado” en todo sentido, los riesgos exhiben una capacidad de mutar su naturaleza y gatillarse en secuencias en cadena donde se debe agudizar la atención sobre los mismos, pues, riesgo que no se evalúa y estudia como mitigarlo con anticipación

sencillamente implica que la empresa lo está asumiendo y castigará – tarde o temprano - sus resultados.

Así, en este mundo hiperconectado y con síntomas de excesos de variado tipo, abundan las circunstancias que afectan a todos los países, donde inevitablemente se ven impactados los proyectos de infraestructura, de energía y en general toda la cadena de prestaciones sectoriales de valor de la cual se sirven. Nada más elocuente que lo informado en enero 2022 en el Informe de Riesgos Globales (Global Risks Report - 17th Edition) por el Foro Económico Mundial (Davos), que enumera los 10 riesgos que se espera sean los de mayor severidad a escala global los próximos 10 años, según lo siguiente:

- Falla en acción climática
- Clima Extremo
- Pérdida de biodiversidad
- Erosión de cohesión social
- Crisis de subsistencia de poblaciones
- Enfermedades infecciosas
- Deterioro de salud mental
- Crisis de recursos naturales
- Crisis de deuda de los países
- Confrontación geoeconómica.

Los 10 riesgos que más han empeorado entre el año 2021 y 2022 a nivel global, según preferencias de los participantes en el foro:

- Erosión de la cohesión social (27,8%)
- Crisis de subsistencia de poblaciones (25,5%)
- Fracaso de la acción climática (25,4%)
- Deterioro de la salud mental (23%)
- Clima extremo (22,7%)
- Crisis de deuda de los países (13,8%)
- Fracaso de la ciberseguridad (12,4%)
- Enfermedades infecciosas (10,9%)
- Desigualdad digital (10,5%)
- Reacción negativa a la ciencia (9,5%)

Ante este panorama, surge de inmediato la necesidad de una mirada local como país, en cuanto a cuál será la severidad y naturaleza con que estos riesgos podrían amenazar a Chile y sus proyectos, en un horizonte de 10 a 15 años y que abarcará prácticamente el ciclo de vida completo de implementación y un plazo importante de recuperación del capital. El conjunto de ellos es preocupante, ya que sus correlaciones además son complejas y necesariamente podría poner al

proyecto en competencia con otros escenarios alternativos “menos duros”, dependiendo de las interpretaciones que haga el poder concedente.

¿Cómo se expresa esta incertidumbre del factor humano como riesgo para un proyecto, sea que éste pertenece a la organización del proyecto, a la sociedad del entorno o a la globalidad mundial en torno a estos riesgos? Pues, se expresan desde lo subjetivo y básicamente desde ideas o expectativas de parte interesada que se verbalizan y presentan en defensa de su particular interés, normalmente matizadas en una estructura ideológica que se esmera en darle coherencia a la demanda. Lo que ocurre es que, no obstante que el proyecto cumple con las leyes locales aplicables, tiene buenas prácticas del diseño, ha abordado los impactos desde el saber científico y los ha evaluado con razonado criterio, eso es puramente objetivo. Aparece entonces esta brecha omnipresente, que consiste en que un proyecto evaluado muchas veces en un ambiente de insaciable escrutinio en base a criterios objetivos y científicos, debe salvar la barrera de lo subjetivo, pues aparecen en los entornos valoraciones que están subsumidas en la contingencia social o política, donde la necesidad urgente de tener la razón irrumpe desde insospechados vértices y con multiplicidad de matices. El ser humano es impredecible porque idealiza e ideologiza y eso siempre es un riesgo; esto es lo que da origen a la necesidad de evaluar tempranamente y gestionar en el ciclo de vida de proyectos lo que se podría denominar la Factibilidad Ideológica.

La dificultad y desafío que ofrece evaluar la factibilidad ideológica de un proyecto para valorar incertidumbre o severidad de estas categorías, es que normalmente hay restricciones de tiempo para el desarrollo del ciclo de vida del proyecto, un entorno jurídico cambiante que deviene del forcejeo de intereses de poder o bien sujeto a instancias más allá de lo técnico y ambiental (no excluyendo fabulaciones), y por otra parte, a expectativas de partes interesadas que deben ser identificadas en alcance y contenido formalmente, si es que el proyecto puede darles cabida adecuadamente en su propuesta de valor, desde lo cualitativo y lo cuantitativo para todo el ciclo de vida.

Hace 40 años se enseñaba que todo proyecto debía pasar por una adecuada Factibilidad Técnica y Económica y que todo Ingeniero o economista de la

especialidad sabía cómo ejecutarla. Luego, con la promulgación de la Ley de Bases del Medioambiente surgió la necesidad de incorporar la factibilidad Medioambiental a estas iniciativas. Hoy, en la era de la comunicaciones y de una sociedad hiperconectada y globalmente expuesta a fenómenos de polarización, el creciente empoderamiento de la sociedad y las pugna de fuerzas que afecta la evolución (o crisis) de las estructuras del poder de las sociedades, postulo que la Factibilidad Ideológica es una variable que parece estar enmascarada por la denominada Gestión Social, matiz interpretativo y clima en que el poder concedente y el promotor del proyecto se encuentran, para asumir la tarea de delinear adecuadamente las posibilidades de llevar a la práctica una iniciativa de proyecto de inversión con fluidez y en un ambiente de predictibilidad dentro de un marco jurídico, que es el desvelo de los inversionistas e ingenieros y a quienes no les resulta fácil enfrentar argumentos con un aliado terrible: más allá de la certeza jurídica, la necesidad humana de haber tenido razón y seguir teniendo razón, sobre todo si su marco ideológico lo justifica. Así, el marco jurídico existente como fundamento ordenador, parece ser rebasado por nuevos factores o cosmogonías emergentes de insondable horizonte.

Por ejemplo, hay otros elementos de la institucionalidad que también representan muy asertivamente esta necesaria Factibilidad Ideológica en nuestro país, por causa de la incertidumbre jurídica que dimana desde otras interpretaciones particulares, no obstante, ésta objetiva y previamente satisfecha desde la ciencia y la legislación pertinente. A este respecto podemos citar, que un proyecto puede conseguir la resolución de calificación ambiental otorgada por órganos técnicos del Estado, pero si posteriormente un Comité de Ministros que es esencialmente político - basado en su criterio y en conformidad con las atribuciones que le confiere la Ley - decide no permitir

la materialización del proyecto justificado en una apreciación particular de un mejor interés del país, entonces subordina la ciencia y la ingeniería a una decisión ideológica, en que tratándose de la misma entidad que evalúa aprobando por una parte, luego paradójicamente prohíbe por la otra.

Una adecuada y oportuna ejecución de la evaluación de riesgos que debe realizar el promotor de un proyecto de inversión de entidad mayor, debe entonces estar consciente de la necesidad de incorporar en sus preparativos también una cuidadosa Factibilidad Ideológica que es una suerte de indagación más allá del marco jurídico y requiere una aguda mirada cultural del país, de los agentes responsables de la administración y el grado de madurez de la evolución del Estado para miradas de largo plazo. Este tipo de factibilidad, entendida como medida tendiente a incorporar medidas de tratamiento oportunas a un evento inesperado de naturaleza ideológica, está al servicio de dar claridad y entender que se asumen conscientemente las consecuencias del gatillar de un riesgo estratégico para el proyecto. Este tipo de riesgos complejos en sus correlaciones y composición como identificados en los 10 riesgos que han empeorado según el Foro de Davos, si bien pueden tener una baja probabilidad de ocurrencia, tiene la particularidad de contener severidad alta o catastrófica para el proyecto y sus promotores.

Como experiencia cognitiva de las partes y actores que intervienen en este análisis de viabilidad del proyecto, la Factibilidad Ideológica exitosa para el proyecto se encuentra a medio camino entre el ideologismo y el pragmatismo, en un lugar común en que la ética prevalece no obstante las diferencias y que es encontrado en plazo razonable y satisface expectativas en beneficio del bien común, del cual también es parte el proyecto y el mejor interés del poder concedente.

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Empresas Socias

AGUAS ANDINAS S.A.

ALSTOM CHILE S.A.

ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.

ANTOFAGASTA MINERALS S.A.

ASOCIACIÓN DE CANALISTAS SOCIEDAD DEL CANAL DE MAIPO

BESALCO S.A.

CÍA. DE PETRÓLEOS DE CHILE COPEC S.A.

COLBÚN S.A.

CyD INGENIERÍA LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

EMPRESA CONSTRUCTORA GUZMÁN Y LARRAÍN LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA PRECON S.A.

EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES S.A.

EMPRESAS CMPC S.A.

ENAEX S.A.

ENEL GENERACIÓN CHILE S.A.

FLUOR CHILE S.A.

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SIGDO KOPPERS S.A.

SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A.

SUEZ MEDIOAMBIENTE 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.

ZAÑARTU INGENIEROS CONSULTORES LTDA.



Hoy puede ser diferente



Junto a nuestros clientes hemos **co-creado** la plataforma digital para empresas, casi perfecta.

¿Y por qué casi perfecta?

Porque **evoluciona** en base a las necesidades y experiencias de nuestros clientes y usuarios.

360 | Connect

Plataforma 100% digital que entrega una experiencia simple, ágil e intuitiva permitiendo ahorrar tiempo al realizar las operaciones financieras de tu empresa.



Conócenos



Infórmese sobre la garantía estatal de sus depósitos en su banco o en www.cmfchile.cl