# Revista Chilena de INGENIERIA

ISSN 0370 - 4009 - N° 491 - Diciembre 2020



# Anales del Instituto de Ingenieros

Vol. 132, N° 3 - ISSN 0716 - 2340

# INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

# Fundado en 1888

Miembro de la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros (UPADI) Miembro de la American Society of Civil Engineers (ASCE)

# **JUNTA EJECUTIVA**

Presidente

Ricardo Nicolau del Roure G.

Primer Vicepresidente

Luis Nario Matus

Segundo Vicepresidente

Carlos Mercado Herreros

Tesorera

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Protesorero

Jorge Pedrals Guerrero

Secretaria

Ximena Vargas Mesa

Prosecretario

Germán Millán Valdés

### **DIRECTORIO 2020**

Iván Álvarez Valdés

Elías Arze Cyr

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Juan E. Cannobbio Salas

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Alex Chechilnitzky Zwicky

Raúl Demangel Castro

Andrés Fuentes Torres

Roberto Fuenzalida González

Javier García Monge

Rodrigo Gómez Álvarez

Cristian Hermansen Rebolledo

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Valdés

Rodrigo Muñoz Pereira

Ricardo Nanjarí Román

Luis Nario Matus

Ricardo Nicolau del Roure G.

Jorge Pedrals Guerrero

Humberto Peña Torrealba

Luis Pinilla Bañados

Daniela Pollak Aguiló

Miguel Ropert Dokmanovic

Mauricio Sarrazin Arellano

Alejandro Steiner Tichauer

Ximena Vargas Mesa

Luis Valenzuela Palomo René Vásquez Canales

Jorge Yutronic Fernández

Secretario General

Carlos Gauthier Thomas

# SOCIEDADES ACADÉMICAS MIEMBROS DEL INSTITUTO

ASOCIACIÓN CHILENA

DE SISMOLOGÍA E INGENIERÍA

ANTISÍSMICA, ACHISINA.

Presidente: Rodolfo Saragoni H.

ASOCIACIÓN INTERAMERICANA

DE INGENIERÍA SANITARIA

Y AMBIENTAL - CAPÍTULO

CHILENO, AIDIS.

Presidente: Alexander Chechilnitzky Z.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA

HIDRÁULICA, **SOCHID**.

Presidente: José Vargas B.

SOCIEDAD CHILENA

DE GEOTECNIA, SOCHIGE.

Presidente: Gonzalo Montalva A.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA

DE TRANSPORTE, SOCHITRAN.

Presidenta: Carolina Palma A.

PMI SANTIAGO CHILE CHAPTER.

Presidente: Alfonso Barraza San M.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN

EN INGENIERÍA, **SOCHEDI**. **Presidente**: Raúl Benavente G.

# **COMISIONES DEL INSTITUTO**

ECONOMÍA CIRCULAR.

Presidente: Javier García M.

INGENIERÍA Y ÉTICA.

Presidente: Elías Arze Cyr.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Y EL BIG DATA.

Presidente: Juan Carlos Barros M.

INGENIEROS EN LA HISTORIA PRESENTE.

Presidente: Ricardo Nanjarí R.

INGENIERÍA Y CIENCIAS DE LA VIDA.

Presidente: Alejandro Steiner T.

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

Presidente: Ricardo Nicolau del Roure G.

PROSPECTIVAS DE LA INGENIERÍA.

Presidente: Jorge Yutronic F.

VISIÓN DEL NEGOCIO DEL COBRE.

Presidente: Andrés Fuentes T.

# **CONSEJO CONSULTIVO**

Raquel Alfaro Fernandois

Elías Arze Cvr

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Bruno Behn Theune

Sergio Bitar Chacra

Mateo Budinich Diez

Juan Enrique Castro Cannobbio

Jorge Cauas Lama

Joaquín Cordua Sommer

Luis Court Moock

Alex Chechilnitzky Zwicky

Raúl Espinosa Wellmann

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Tristán Gálvez Escuti

Alejandro Gómez Arenal

Tomás Guendelman Bedrack

Diego Hernández Cabrera

Jaime Illanes Piedrabuena

Agustín León Tapia

Jorge Mardones Acevedo

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Pérez

Guillermo Noguera Larraín

Luis Pinilla Bañados

Rodolfo Saragoni Huerta

Mauricio Sarrazin Arellano

Raúl Uribe Sawada

Luis Valenzuela Palomo

Solano Vega Vischi

Hans Weber Münnich

Andrés Weintraub Pohorille

Jorge Yutronic Fernández

# ÍNDICE



Nuestra portada

Los Premios que otorga el Instituto, cada año, sin duda constituyen una honrosa distinción para los destacados miembros de la ingeniería nacional que los reciben. Estos premios son: Medalla de Oro, Al Ingeniero por Acciones Distinguidas, Julio Donoso Donoso, Justicia Acuña Mena, Ramón Salas Edwards, y los premios a los egresados destacados de Ingeniería Civil, premios Marcos Orrego Puelma, Ismael Valdés y Roberto Ovalle Aguirre.

# REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA N° 491, diciembre de 2020

Dirección: San Martín N° 352, Santiago

Teléfonos: 22696 8647 - 22698 4028 - 22672 6997

www.iing.cl • e-mail: iing@iing.cl

# **DIRECTOR**

Raúl Uribe S.

# CONSEJO EDITORIAL

Álvaro Fischer A.

Roberto Fuenzalida G.

Tomás Guendelman B.

Jaime Illanes P.

Germán Millán P.

Mauricio Sarrazin A.

# REPRESENTANTE LEGAL

Ricardo Nicolau del Roure G.

Dirección: San Martín Nº 352, Santiago

### SECRETARIO GENERAL

Carlos Gauthier T.

# **SECRETARÍA**

Patricia Núñez G.

# DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN

versión productora gráfica SpA

EDITORIAL	Pág. 2
EL ROL DEL GAS NATURAL EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA: CHILE 2020-2050. Conferencia de los Sres. Klaus Schmidt- Hebbel, Jorge Quiroz y Felipe Givovich.	Pág. 3
LA PARADOJA DEL CIERRE DE MINA INVIERNO. UNA OPERACIÓN CON UN ALTO ESTÁNDAR AMBIENTAL. Conferencia del Sr. Guillermo Hernández, Gerente General de Mina Invierno.	Pág. 22
PREMIO "MEDALLA DE ORO – AÑO 2020". Al Sr. Álvaro Fischer Abeliuk.	Pág. 46
PREMIO "AL INGENIERO POR ACCIONES DISTINGUIDAS – AÑO 2020". Al Sr. Juan Manuel Casanueva Préndez.	Pág. 54
PREMIO "JULIO DONOSO DONOSO – AÑO 2020". Al Sr. Carlos Mercado Herreros.	Pág. 59
PREMIO "JUSTICIA ACUÑA MENA – AÑO 2020". A la Sra. Viviana Meruane Naranjo.	Pág. 66
PREMIO "RAMÓN SALAS EDWARDS – AÑO 2020". Al trabajo: "SUCHAI: Nanosatélite de la Universidad de Chile para la Investigación Aeroespacial".	Pág. 71
PREMIO A LOS ALUMNOS DESTACADOS DE INGENIERÍA CIVIL – AÑO 2020.  – Premio Marcos Orrego Puelma.  – Premio Ismael Valdés Valdés.  – Premio Roberto Ovalle Aguirre.	Pág. 87
ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS.  - Sr. Nicolás Majluf Sapag.  - Sr. Jorge Yutronic Fernández. Comisión de Ingenieros en la Historia Presente Presidente: Ricardo Nanjarí R.	Pág. 92
RECONOCIMIENTO A NUESTROS SOCIOS.	Pág. 98

# **EDITORIAL**

En esta edición de la Revista Chilena de Ingeniería, el Instituto hace un reconocimiento a sus socios quienes, desde hace más de un siglo, colaboran en las posibles soluciones de los diferentes problemas que pueden afectar a nuestro país y a su sociedad. Hoy, más que nunca antes, el país –y el mundo– se encuentran en una situación de pandemia de enorme magnitud e incertidumbre, por lo que el pensamiento analítico de individuos rigurosamente formados en disciplinas científicas, a lo que suman el acervo alcanzado en extensas actividades profesionales, abren luces de esperanza en la búsqueda de soluciones a este problema.

Sin embargo, y a pesar del efecto paralizante que esta pandemia pueda provocar en las diversas actividades del país, el Instituto ha continuado desarrollando sus tareas habituales, en modalidad online, contribuyendo así a que, una vez superada esta emergencia, la fase de recuperación pueda realizarse en forma expedita y eficiente.

En ell mes de septiembre, los destacados economistas señores Klaus Schmidt-Hebbel, Jorge Quiroz y Felipe Givovich. dictaron la conferencia "El Rol del Gas Natural en la Transición Energética: Chile 2020-2050". En su exposición, se refirieron a la descarbonización global, enfatizando el problema del Calentamiento Global y en los acuerdos internacionales sobre la materia. Destacan de manera preferente, el rol del gas natural en los sectores eléctrico e industrial, entre otros. Hacen ver que el salto definitivo hacia una matriz limpia requiere resolver problemas tecnológicos y económicos, que plantean un periodo de transición de entre 10 y 20 años. Se preguntan cómo se podría avanzar en forma más rápida, afirmando que el gas natural ofrece una solución de transición muy significativa.

En el mes de noviembre, don Guillermo Hernández, Ingeniero Civil Estructural de la Universidad de Chile y Gerente General de Mina Invierno. dictó la conferencia "La Paradoja del cierre de Mina Invierno. Una operación con un alto estándar ambiental". El señor Hernández desarrolló una minuciosa descripción general de Mina Invierno –hoy paralizada— que representa la mayor inversión privada realizada en la región de Magallanes en los últimos 20 años. Su objetivo fue la promoción de la explotación de pertenencias mineras de carbón, propiedad de CORFO. Su presentación, y el posterior debate que se llevó a cabo, dan pie a la discusión con respecto a los efectos económicosociales que se desprenden de un excesivo celo en la aplicación de las medidas ambientales contempladas en la legislación nacional.

Debido a las restricciones derivadas de la crisis ambiental, las entregas de los Premios 2020 a ingenieros destacados se realizaron en forma virtual, pero fueron ampliamente seguidas a través de la plataforma Zoom.

Recibieron estos Premios los ingenieros señores Álvaro Fischer Abeliuk, Premio "Medalla De Oro"; Juan Manuel Casanueva Préndez, Premio "Al Ingeniero Por Acciones Distinguidas"; Carlos Mercado Herreros, Premio "Julio Donoso Donoso"; Viviana Meruane Naranjo, Premio "Justicia Acuña Mena"; Alex Becerra, Alexandre Bergel, Marcos Díaz, Claudio Falcón, Marcos Flores, Carlos González, Susana Jorquera, Miguel Martínez, Viviana Meruane, José Ogalde, Tomáas Opazo, Marcos Orchard, Javier Rojas, Camilo Rojas y Juan Cristóbal Zagal, Premio "Ramón Salas Edwards".

Del mismo modo, se entregaron los Premios "Marcos Orrego Puelma", "Ismael Valdés Valdés" y "Roberto Ovalle Aguirre", a los alumnos de Ingeniería Civil egresados el año 2019 de las siguientes Casa de Estudio: 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.

Por último, y continuando con la tarea que se ha impuesto el Instituto, de preservar los perfiles de ingenieros destacados, la Comisión de Ingenieros en la Historia Presente realizó entrevistas a los señores Nicolás Majluf Sapag y Jorge Yutronic Fernández. En esta edición se presentan extractos de dichas entrevistas, que posteriormente serán objeto de una publicación especial.

# EL ROL DEL GAS NATURAL EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA: CHILE 2020-2050

Conferencia de los Sres. Klaus Schmidt-Hebbel, Jorge Quiroz y Felipe Givovich







Sr. Jorge Quiroz.



Sr. Felipe Givovich.

El día miércoles 9 de septiembre de 2020 a las 9:00 horas vía Zoom, se dio inicio, ante una gran concurrencia, a la conferencia "El Rol del Gas Natural en la Transición Energética: Chile 2020-2050", exposición que estuvo a cargo de los Sres. Klaus Schmidt-Hebbel, Jorge Quiroz y Felipe Givovich.

Klaus Schmidt-Hebbel es Ingeniero Comercial, Licenciado en Economía y Magister en Economía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, tiene un Ph.D. en Economía del Massachusetts Institute of Technology. Consultor y Asesor Internacional de distintas organizaciones y corporaciones internacionales, bancos centrales, gobiernos y muchas universidades. Tiene un gran número de publicaciones científicas en los campos de finanzas internacionales, macroeconomía, política monetaria, crecimiento y desarrollo económico. Es Profesor investigador del Centro de Investigación de Empresa y Sociedad, Facultad de Economía y Negocios de la Universidad del Desarrollo.

Fue Economista Jefe de la OCDE y Gerente de Investigación Económica del Banco Central de Chile, y Economista Principal del Departamento de Investigación del Banco Mundial en Washington. En el año 2008 fue elegido "Economista del Año" por sus pares en Chile.

El Sr. Jorge Quiroz es Ingeniero Comercial Universidad de Chile (1991) y Doctor en Economía Duke University (1991). Socio principal de Quiroz y Asociados, empresa con veinte años de trayectoria que asesora a múltiples empresas en temas de economía y finanzas aplicadas, cubriendo una amplia gama de sectores económicos del país. En 2012 fue nombrado integrante de la Comisión Asesora Presidencial para el Desarrollo Eléctrico y desde 2018 forma parte del directorio de la Bolsa de Comercio de Santiago.

Felipe Givovich es socio de Quiroz & Asociados. Ingeniero Comercial de la Universidad de Chile (2003). Tiene una amplia experiencia en microeconomía, organización industrial, mercados regulados y econometría. Asesora a compañías en varias industrias, incluyendo el sector sanitario, energía, telecomunicaciones entre otras.

# Sr. Klaus Schmidt-Hebbel.

—Me corresponde iniciar este encuentro y agradezco la invitación cursada por el Instituto de Ingenieros de Chile, para conversar sobre lo que, estimamos, es un tema de gran relevancia para el país.

El título es: "El rol del gas natural en la transición energética: Chile 2020-2050".

En nuestra exposición nos referiremos a los siguientes temas:

- 1. Contexto: descarbonización global
- 2. Objetivo: rol del gas natural
- 3. El rol del gas natural:
  - i. Eléctrico
  - ii. Industria
  - iii. Otros sectores
- 4. Conclusiones

En el contexto de la descarbonización global tenemos que mencionar necesariamente el Calentamiento Global y los acuerdos internacionales sobre la materia.

Así, podemos señalar que, con el calentamiento global, se estima un aumento promedio mundial de 1,1°C, respecto a los registros históricos (IPCC).

También una mayor inestabilidad climática, pudiendo incluso amenazar la biodiversidad del planeta.

Todo esto implica un problema global, que exige cooperación y esfuerzos coordinados.

Y, que el Acuerdo de París (COP 21), uno de los más importantes, Chile fue uno de los 197 países firmantes.

El último NDC aprobado asume los siguientes compromisos 2020 (Figura 1).

Implica un presupuesto de emisiones de GEI de 1.100 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente entre 2020-2030, con un máximo de emisión que alcanzaría Chile el 2025 y luego alcanzar un nivel de emisiones anuales brutas de GEI de 95 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente hasta el 2030.

Además, esto viene acompañado por otro compromiso. La recuperación de 200.000 hectáreas de bosque nativo. Mayor forestación por 200.000 hectáreas de bosque adicionales,

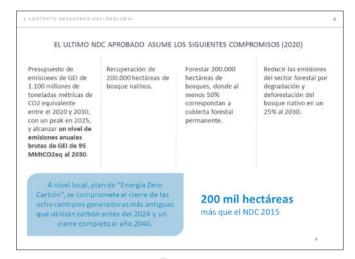


Figura 1

la mitad de ello con cubierta forestal permanente, vale decir, en gran medida nativa. Y reducir las emisiones en el sector forestal por degradación y desforestación del bosque nativo en un 25% el 2030.

Y ciertamente, muy importante, el Plan de Energía Zero Carbón anunciado el año pasado que compromete al Gobierno con la industria, con las termoeléctricas, el cierre de las generadoras más antiguas que utilizan carbón, antes del 2024 y con un cierre completo el año 2040.

Estos son compromisos muy importantes y significativos (Figura 2).

Ahora bien, en cuanto a energías renovables no convencionales, el mundo ha comenzado a transitar hacia la electromovilidad y la generación en base a la energía renovable.

Hoy día hay 1.180 GBh instalados en el mundo en materia de generación eléctrica. Y hay 5 millones de vehículos eléctricos circulando en el mundo, muy pocos todavía en Chile, pero muchos ya en otros países, especialmente los desarrollados. Pero en Chile esto va a crecer exponencialmente. Y eso aporta a la discusión, respecto a la rapidez con la cual nosotros nos acercamos al año 2050.

Esa rapidez no es instantánea y en los distintos sectores tenemos los siguientes desafíos (Figura 3).

En generación eléctrica, adaptar la RNC y especialmente la Energía Solar y la Energía Eólica, tiene un desafío enorme que es la intermitencia. Hoy día por razones tecnológicas



Figura 2



Figura 3

y económicas, el costo de almacenamiento la energía que nosotros producimos durante el día, cuando corre viento o cuando hay sol, todavía hace impracticable que dichas baterías entreguen la energía generada durante el día. Entonces, hay un gran desafío, y ciertamente implica mayor innovación tecnológica que la que estamos teniendo hoy en día ya, pero implica que recién hacia el 2040, 2050, estará disponible, de manera que se resuelva el tema de la intermitencia a través de una generación eléctrica no intermitente y con baterías más baratas.

En la industria, nosotros tenemos también un alto costo de almacenamiento de la energía para, por ejemplo, los camiones mineros que son enormemente pesados y requieren una significativa carga. Y eso, hoy día, con las

baterías no lo pueden resolver aún; se anticipa que hacia el 2040 pueda estar resuelto.

En otros sectores del transporte (Figura 4), tenemos también un alto costo de almacenamiento y por lo tanto una autonomía aún baja en automóviles; por ejemplo, se anticipa que hacia el 2025, 2030, esto ya se va a generalizar con mayor autonomía, con baterías más baratas y que duren eventualmente más también, esto por el costo de reemplazo de éstas que aún es altísimo, por unidad de automóvil.



Figura 4

En transporte público y de carga, nuestro reto es ciertamente un alto costo de almacenamiento y recién hacia el 2025, 30, si es que, tendremos este problema tecnológico y económico algo más encaminado.

Esto abre una ventana muy grande e importante entre los siguientes 10 a 20 años. Porque el salto definitivo hacia una matriz limpia requiere resolver problemas tecnológicos y económicos, que plantean un periodo de transición de entre 10 y 20 años, digamos 15 años, hasta el 2035, ahí, estos temas tecnológicos y económicos no estarán resueltos y por lo tanto esto da una oportunidad (Figura 5).

Entonces, ¿Hay un espacio para avanzar más rápido que lo que se anticipa en las tecnologías puramente limpias? ¿Hay una forma más rápida para avanzar en las metas de reducción de emisiones que el Gobierno puso el año pasado? La respuesta que nosotros encontramos es mucho



Figura 5



Figura 6

más fuerte y positiva de lo que anticipábamos antes de empezar el estudio y es que el gas natural ofrece una solución de transición muy significativa. Y eso está basado en los siguientes hechos (Figura 6).

En la generación eléctrica, que es el primero de los 4 sectores que yo mencioné, el gas natural emite 50% menos de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), que es el gas de efecto invernadero más importante que contribuye al cambio climático, que es el carbón. Entonces eso es una oportunidad de menor contaminación muy significativa.

En la industria, el Gas Natural emite un 99% menos que el SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre), que los petróleos pesados que se usan en algunos procesos industriales.

En el transporte, el Gas Natural emite 90% menos de NOx (óxidos Nitrosos) que el diésel y, en la calefacción, es aún más dramático todavía, el eventual switch hacia el gas natural porque emite un 99% menos, emite solamente el 1% del material particulado que emite la leña. Y tenemos un problema de uso de leña masivo a nivel domiciliario, de hogares en la zona centro sur y sur de Chile, que genera contaminaciones locales muy significativas, además de contribuir a través del carbono negro a la contaminación y el calentamiento global.

Entonces déjenme ahora ahondar un poco sobre el objetivo, el Rol del Gas Natural (Figura 7), que es el segundo tema de nuestra exposición. El gas natural como solución global ya existe hoy día, tecnológicamente es una tecnología madura y además las condiciones de oferta han sido muy significativamente favorecidas por la nueva oferta mundial de Shale gas concentrado en Estados Unidos, pero, además, muy disponible el Shale gas en muchísimos otros lugares del mundo incluyendo nuestros vecinos argentinos. Y esto ha implicado perspectivas muy favorables de precios.



Figura 7

Y como ya dije, la tecnología y la infraestructura ya están disponibles por países productores y grandes exportadores de Gas Natural, de Shale gas como es Estados Unidos. Y esto ayuda y facilita la transición hacia matrices renovables, entregando flexibilidad y seguridad al sistema. Y también, como ya dije, genera un importante ahorro de emisión de gas efecto invernadero y también contaminantes locales, al remplazar los combustibles más contaminantes como son el fuel, el diésel y el carbón en partículas.

Si ustedes ven la gráfica (Figura 8), ésta representa la evolución del precio gas en 3 lugares internacionales importantes; como referentes muy importantes: el Henry Hub de Estados Unidos, donde ha bajado por debajo de 2 dólares a partir de enero de este año (US\$2 x millón de BTU) en precio del Shale gas. Y una convergencia muy significativa de los precios de referencia del Báltico Norte NBP, la línea roja y el Spot GNL en Asia la línea amarilla hacia los US\$2 o incluso por debajo de los US\$2 en los últimos meses.



Figura 8

Se proyecta que para los próximos años podría subir algo, pero muy poco y ciertamente vamos a estar por debajo de un precio internacional relevante y referente por debajo de US\$5, con la capacidad productora y exportadora que tienen cada vez más productores de Gas Natural desde Estados Unidos hasta Argentina. En Argentina la oferta trasandina Vaca Muerta es muy significativa, Ahí ustedes ven una foto y eso es un potencial también referente para estos mercados internos.

Ahora (Figura 9), la otra ventaja que tiene el gas natural que es las inversiones ya han sido realizadas. En Chile nosotros tenemos una infraestructura disponible para la "gasificación" del gas que viene en forma líquida importada y la distribución de gas natural, extraordinaria. Son 12 mil millones de dólares que nosotros tenemos en infraestructura realizada, tenemos 2 terminales de gasificación, 4 gasoductos importantes, 4.700 MG (Megawatt) de capacidad instalada en generación eléctrica que puede hacer el uso del gas en forma virtualmente

instantánea y 8.800 kilómetros de redes de distribución. Es una base realmente muy buena, que hace que el gas natural sea el combustible idóneo para la rápida y eficiente reducción de emisiones en la transición de los siguientes 15 años.



Figura 9

Estados Unidos plantea un ejemplo notable porque si ustedes miran la gráfica izquierda, esta es la reducción de emisiones acumuladas año por año y que va creciendo por supuesto. Y la barra amarilla presenta simplemente el switch que hicieron los americanos después de desarrollar el Shale gas desde el carbón al uso del gas natural y eso ha aportado un 20% a la reducción total de emisiones en Estados Unidos, ese solo cambio (Figura 10).

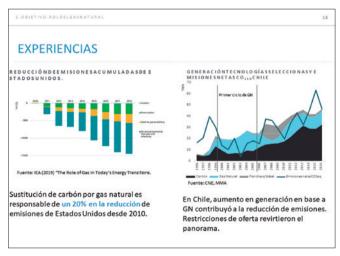


Figura 10

Si ahora hacemos un switch a Chile, en la gráfica del lado derecho, ustedes ven como el aporte del gas natural en la generación eléctrica creció enormemente con la importación de gas argentino, que es el área celeste. El área celeste que era 0 el año 1996 crece y aporta más del 50% por el 2000-2004, 2005, 2006. Y después disminuye en el 2007, 08, 09 y después crece de nuevo a niveles significativos, pero porcentualmente menores. ¿Por qué? Porque el carbón ha crecido muchísimo en Chile desde 10 Tera aproximadamente hasta hoy día aproximadamente 30 y significando el 70% el uso del carbón en el año 2016. Esto a su vez ha sido reflejado en las emisiones, fíjense como la línea azul oscura, media negruzca, grisácea, las emisiones netas de CO<sub>2</sub> equivalente. ¿Cómo bajaron en los años en los cuales hicimos un switch desde carbón hacia gas? Vale decir en los años 98, 99 hasta el año 2002, 2003 cuando se llegó al peak del gas natural y después como subieron nuevamente con el switch de vuelta al carbón. Y eso es algo muy importante de desatacar, hemos vivido en la práctica en Chile como en Estados Unidos, como el switch del carbón al gas genera una reducción en emisiones muy notable reflejada en esta gráfica en el caso de Chile.

Entonces, ¿cuáles son los grandes aportes que hace el gas natural en la descarbonización con medidas muy concretas en los próximos 20 años? (Figura 11).



Figura 11

Primero reduce los gases efecto invernadero que se acumulan en la atmósfera y por tanto aporta para un menor calentamiento global. Pero segundo, también muy importante, reduce los contaminantes locales y esto significa básicamente transitar en lo que nosotros proponemos, sin costo fiscal y, también neutral desde el punto de vista privado, en la sustitución de los combustibles más contaminantes. ¿Cuáles son esos? Son el Carbón especialmente para energía eléctrica, el FO6, especialmente en calderas en regiones, el Diésel, por ejemplo, en los camiones mineros y la leña usada fundamentalmente en los hogares, reemplazando esto por gas natural en forma acelerada hace un aporte notable.

Entonces (Figura 12), en la generación eléctrica si el carbón lo reemplazamos por gas natural, se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> y contaminantes locales. El reemplazo del Diésel en transporte público, por ejemplo, en los buses de Transantiago, podría reducir las emisiones de óxido nitroso sin material particulado. Con el reemplazo del Fuel Oil N° 6 en las calderas y en otras plantas industriales emitiríamos mucho menos dióxido de azufre, óxido nitroso y material particulado. Y, en el caso de la leña se reducen emisiones y contaminantes locales y carbono negro.



Figura 12

Así, ante situaciones localmente muy contaminantes y muy negativas para la salud de la población local, como son las zonas industriales saturadas y las ciudades del sur que, en invierno especialmente, y no solo en invierno, están metidas en una nube densa del humo producto del uso de la leña, se puede resolver rápida y eficientemente con una emisión muchísimo menor que llega entre un 50% hasta un 99% en la reducción de material particulado.

Con eso yo cierro mi parte que plantea en términos generales, el ámbito, los objetivos y las medidas propuestas en el estudio que hemos realizado y Felipe Givovich sigue ahora identificando en forma muy concreta y cuantitativamente el Rol del Gas Natural en los distintos sectores, en los cuales nosotros creemos que habría una sustitución de las otras fuentes energéticas de combustible fósiles, muchísimo más contaminantes.

# Sr. Felipe Givovich.

—Muchas gracias por la invitación. Vamos entonces ahora a detallar cuáles son los alcances que tiene la sustitución de gas natural por los distintos combustibles en el sector eléctrico industrial y también vamos a hablar de lo que ocurre en el sector residencial en el sector transporte, cuáles son los efectos económicos y también, a nivel de la contaminación que genera esta sustitución.

Partiremos por el sector eléctrico (Figura 13) que es donde la participación del gas natural es más clara. ¿Y por qué es más clara y es más evidente? Primero porque en la experiencia que tuvimos con el gas argentino muy barato, durante la primera mitad de la década de los 2000, nos dejó con una capacidad instalada muy relevante en generación, en transporte de gas natural, que unido a perspectivas muy favorables de precio, que se encuentran plenamente vigentes y la existencia de múltiples oferentes. Es distinto a lo que pasó en los años 90 donde dependíamos únicamente del gas argentino. Hoy día tenemos 2 facilidades de gasificación importantes, que nos permiten estar expuestos a mucho menos riesgo de suministro. Esas dos condiciones nos permiten hoy día, a diferencia de lo que estaba ocurriendo hace 3 o 4 años, acelerar el reemplazo del carbón y además dar seguridad y estabilidad al sistema y por lo tanto reducir las contaminaciones de gases efecto invernadero y contaminantes locales.

Hay un tema importante acá que se ha hecho más evidente, producto de la Pandemia. La volatilidad que está mostrando la demanda por energía, sumada a la volatilidad que tiene la oferta creciente de energías renovables no convencionales que, por características intrínsecas, son intermitentes. Esto hace también que tenga más sentido hoy día tener tecnologías de respuesta rápida como el gas natural, que se pueda ajustar rápidamente a los desbalances que se están produciendo entre la oferta y demanda en el sector eléctrico.



Figura 13

Hablemos un poco de la relevancia que tiene el sector eléctrico dentro del balance de emisiones de CO<sub>2</sub>. El sector eléctrico aporta 34,58 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Estas emisiones representan el 31% de las emisiones brutas de gas **efecto invernadero** y se ubica en torno a los 105 millones de toneladas. Y un 75% del balance de emisiones que están en torno a 46 millones de toneladas (Figura 14).



Figura 14

¿Por qué el balance de emisiones es inferior a las emisiones brutas? Porque tenemos afortunadamente en el caso de Chile, no ocurre lo mismo, por ejemplo, en los países del Medio Oriente, un sector de uso de la tierra, que son básicamente el sector agrícola y el forestal, que captan

muchas emisiones. Entonces por eso hay una diferencia entre las emisiones brutas y el balance de emisiones.

Ahora, ¿qué permite el gas acá? Permite primero, reducir gases de efecto invernadero, que al final del día es un beneficio que generaría Chile al resto del mundo que no es apropiable, pero también genera también impactos locales inmediatos en mejora de la calidad de vida, especialmente en las poblaciones que están expuestas a estos contaminantes. Estoy hablando de localidades como Mejillones, Puchuncaví que tienen grandes generadoras a carbón instaladas que contaminan su área de influencia, los impactos son especialmente relevantes en NOx y material particulado en estos casos.

¿Cuál es la situación base y por qué decimos que esta es una oportunidad? (Figura 15). Hoy día la capacidad instalada en carbón bordea los 5 mil Megawatts, son exactamente 4.911 MW. Esa capacidad de generación es equivalente a la que hoy día está instalada en base a gas natural que está en 4.783 MW.



Figura 15

A pesar de que estas capacidades son equivalentes, el año pasado, por condición de precio básicamente, el carbón generó casi el doble que el gas natural. Generó 28.372 Gw hora, en circunstancias que el gas natural generó 14.127 GW hora. Eso tiene consecuencias por lo que vemos abajo: Las emisiones totales de CO<sub>2</sub> asociadas a generación en base a carbón y *petcoke*, fueron de 26,28 millones de toneladas. La generación en base a gas natural fueron 5 millones de toneladas y en base a petróleo Diésel 0,07 millones de toneladas.

Esto último básicamente porque el petróleo diésel participa muy poco de la generación del sistema y solamente entra en funcionamiento en periodos de alta escasez.

Este perfil de generación, unido a lo que ya describió Klaus, que es el gas natural, tiene emisiones unitarias, que son aproximadamente la mitad de las que genera el carbón, nos abre una oportunidad muy importante para que, el reemplazo del carbón por gas natural, en este contexto de mejores precios, nos permita reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. El potencial es aproximadamente un 50% de reducción de emisiones y lo que podríamos hacer en definitiva es llevar estas emisiones, que están entorno de 26 millones de toneladas anuales, a una cifra equivalente a 13, 14, dependiendo de la intensidad del uso del gas natural (Figura 16).

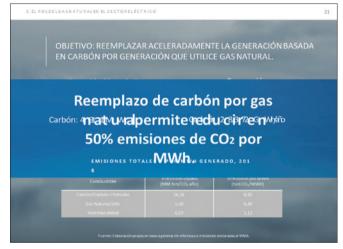


Figura 16

Nosotros tomamos las características del sistema eléctrico, su conformación e hicimos simulaciones de largo plazo, que permitieron dimensionar cuáles son efectos de esta sustitución considerando varios escenarios (Figura 17).

Primero, consideramos tres escenarios de crecimiento del PIB en el largo plazo, esto es importante porque repercute en la demanda por energía eléctrica. 3,5% un escenario de crecimiento alto de largo plazo, 2,5% un escenario de crecimiento medio y 1,5% un escenario de crecimiento bajo.

Consideramos también tres escenarios hidrológicos húmedo, intermedio y seco. Estos estándares están en las simulaciones que se hacen en el sector eléctrico.





Y el precio del gas natural a largo plazo lo identificamos en una senda en torno a los 5,5 dólares por millón de BTU, que es un precio que está en línea con el futuro de gas natural en Asia y está muy por encima de los precios actuales que están en torno, como mencionó Klaus, a 2,5 o 3 dólares el millón de BTU y se ha visto que en Chile, incluso considerando los costos de gasificación, está a 5 dólares el millón de BTU en planta.

Además, para el desarrollo del sistema eléctrico, supusimos que la energía solar y eólica siguen concentrando el crecimiento marginal del sistema hasta el año 2030, no estamos considerando almacenamiento, pero después del año 2030, sí estamos considerando la incorporación gradual de tecnologías que permitan almacenar.

¿Qué es lo que muestran estos escenarios? (Figura 18).

En el gráfico que está a mano izquierda de la lámina, vemos la evolución de la capacidad instalada conforme a los supuestos que desarrollé en la lámina anterior y a mano derecha está la generación asociada a la capacidad instalada que está expresada a mano izquierda.

¿Qué es lo que se ve en cuando a capacidad instalada? Primero, que el crecimiento de la oferta se sigue concentrando en energía solar y energía eólica, que son las barras que están en amarillo y en verde respectivamente. Ahora, el gas natural aumenta ligeramente su participación entre el 2020 y el 2030, en cuanto a capacidad instalada. El gas natural está representado por la barra en color naranja y el carbón disminuye su participación en la matriz, a causa

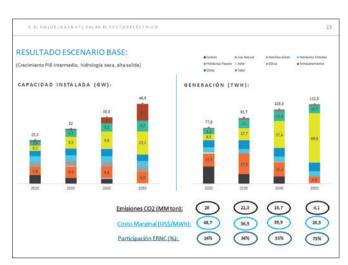


Figura 18

de las medidas que está proponiendo el Gobierno y a las que ha suscrito la industria que aceleran el retiro de las centrales.

Junto con lo anterior, ¿qué pasa con la generación? La generación que hoy día tiene un mix térmico ERNC (energías renovables no convencionales) que es más o menos 50 y 50 y dentro del térmico donde la participación del carbón, como vimos en la lámina anterior, era mayoritaria, se va primero balanceando a partir de este año, cosa que ya está ocurriendo, lo verificamos ayer viendo los datos de generación del año y, posteriormente se produce un desplazamiento masivo de carbón por gas natural, lo que permite a su turno un despliegue más acelerado de las tecnologías intermitentes en base a paneles fotovoltaicos y generación eólica.

Las emisiones, como consecuencia de este cambio en el mix de generación bajan, primero de 28 millones de toneladas, a 22,3 millones de toneladas al año 2030 y llegan al año 2050 a 4,1 millones de toneladas.

Esto se produce en un contexto en que el costo marginal no crece mucho, primero pasa en torno a los 48,7 dólares el MWh a 56,9 al 2030 y posteriormente a medida que se va incorporando el almacenamiento, baja a 39,9 dólares el MWh y 20,5 que son costos marginales extremadamente bajos en línea con respaldo de ERNC y de almacenamiento.

La participación de las renovables no convencionales en la matriz sube el 2020 a un 24%, que son las cifras que se están viendo hoy día, un 36% hacia el 2030, un 53% de la matriz hacia el 2040 y un 75% hacia el año 2050.

¿Qué nos permite este cambio en el perfil de generación, en el cumplimiento de las metas que tenemos suscritas como país? (Figura 19). Primero, nos permite disminuir las emisiones del sector eléctrico desde los 34,58 millones de toneladas iniciales, a 23,19 millones de toneladas hacia el 2030. Esta disminución está sustentada en 2 grandes cambios. Primero, la sustitución del carbón por gas natural, genera una reducción de 5,26 millones de toneladas y el apalancamiento que permite el GN y su mayor flexibilidad para la entrada de ERNC. Esto último permite otra reducción de 6,13 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

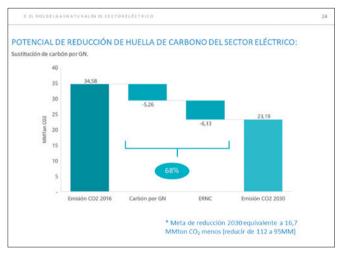


Figura 19

Esto equivale, al final del día, reducir a 16,7 millones de toneladas la reducción de CO<sub>2</sub> equivalente, desde las 112 a 95 millones de toneladas brutas de emisiones.

En definitiva, el cambio del mix de generación nos permitiría cumplir un 68% de la meta de reducción de emisiones que estaba comprometida al año 2030.

Ahora, el gas también tiene un rol en la industria. Nuevamente está amparado este rol en el uso de la capacidad instalada, las perspectivas de precios, los múltiples oferentes y en la red que se encuentra desplegada. Acá el rol del gas natural se concentra en reemplazar el Diésel y los petróleos pesados (Figura 20).

Y en ese contexto, las reducciones más importantes están asociadas a material particulado, a dióxidos de azufre y a NOx.



Figura 20

Vamos primero a ver la relevancia que tiene el sector industrial en las emisiones. Las emisiones totales del sector son 23 millones de toneladas, estas emisiones no contabilizan el uso que el sector industrial hace de la electricidad, que ya lo vimos en la sección anterior (Figura 21).



Figura 21

Esta energía, que es distinta a la electricidad, genera 16 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. El 49% de estas emisiones se concentran en la minería y básicamente, lo vamos a ver después, en los camiones mineros. La otra mitad está concentrada en calderas y hornos industriales de usos varios.

También hay un 41% que está en procesos industriales de refrigeración.

Acá tenemos varias propuestas. La propuesta 1 consiste en promover la sustitución del diésel por un combustible más limpio en los camiones mineros, que es el gas natural licuado. El principal impacto en este caso es la reducción de gases efecto invernadero (Figura 22).

Propuesta 1:
Promover la sustitución del diésel por un combustible más limplo en camiones mineros.

Principal impacto:
Reducción de GEI.

Propuesta 2:
Promover la sustitución del petróleo N°6 por gas natural en calderas industriales.

Principal impacto:
Reducción de GEI.

Propuesta 2:
Promover la sustitución del petróleo N°6 por gas natural en calderas industriales.

Principal impacto:
Reducción de contaminantes locales (SO<sub>2</sub>).

Figura 22

Y la propuesta N° 2, que tenemos es promover la sustitución del petróleo N° 6 por el gas natural en las calderas industriales, especialmente en la 8va región que aún sigue haciendo uso intensivo de este combustible. En este caso, el principal impacto es la reducción de contaminantes locales y en particular los dióxidos de azufre.

Vamos a partir revisando las consecuencias que tiene el reemplazo del diésel en camiones mineros por el gas natural licuado (Figura 23). Acá la mirada es bien parecida a lo que ocurre en el sector eléctrico. Nosotros sabemos que hay un horizonte largo de evaluación, donde probablemente el futuro va a estar marcado por el Hidrógeno. Cuando se desarrolle suficientemente el hidrógeno y se solucione el problema de almacenamiento que está presentando, es un desafío enorme tecnológico de reducir el costo de almacenamiento; cuando eso se solucione el hidrógeno va a ser probablemente la tecnología que va a permitir que los camiones hagan uso de la electricidad, es el vector que permite al final del día que un camión que es muy pesado, que no puede añadir costo de batería, pueda usar directamente la electricidad para su funcionamiento. Hay recién en el caso del uso del hidrógeno en camiones mineros, unos proyectos que está desarrollando Anglo American, que están partiendo este año y se espera que tengan los primeros resultados recién el 2025 y que entren en funcionamiento o alcance su madurez tecnológica por ahí por el año 2040, está en etapa muy inicial. Esa va a ser la solución definitiva.



Figura 23

Pero ya tenemos hoy día tecnología muy madura en el caso del gas natural licuado. Hay un piloto que se implementó el año 2013 por Fresnillo en México, que ya ha mostrado después de casi 10 años de funcionamiento que el gas natural permite un reemplazo de hasta un 70% del consumo de diésel en camiones mineros, lo que produce una reducción de un 30% de las emisiones de CO<sub>2</sub> que generan estos camiones. ¿Cómo se hace esto? Un mecanismo muy sencillo, en donde se está implementando un kit de reemplazo, bastante parecido al que se está ofreciendo hoy día para los automóviles particulares que participan del transporte local, en el que se reemplazan los inyectores y se incorporan nuevos almacenamientos, un estanque de gas natural licuado. Y lo que hace este kit que se está incorporando en camiones mineros como decía, en México, en Turquía –está llegando a Chile también– es reemplazar hasta el 70% del consumo de diésel y concentrar el uso de diésel únicamente en los momentos donde el motor del camión minero requiere mucho torque, en las partidas básicamente.

Esta tecnología que ya está madura y está siendo ofertada por los proveedores de camiones mineros de manera directa y con garantía, permite el reemplazo del diésel, lo que genera impacto directo en las emisiones como veíamos de hasta un 70%. Nosotros estimamos que dadas las

condiciones que tiene el Norte de Chile, la cercanía que tiene Mejillones y la posibilidad del despliegue de camiones por GNL, que ya están circulando puede permitir reducir de manera muy sustancial las emisiones (Figura 24).

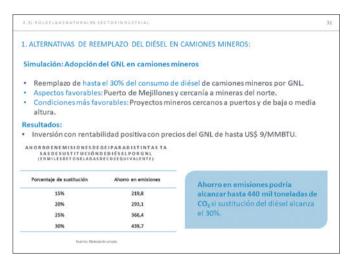


Figura 24

Acá hicimos algunos ejercicios donde estamos simulando distintos porcentajes de sustitución, que van entre un 15% y un 30% y estimamos los ahorros de emisiones que se podrían generar como consecuencia directa de esa sustitución.

Nuestras estimaciones indican que la reducción de emisiones podría alcanzar hasta las 440 mil toneladas de CO<sub>2</sub>eq, si la sustitución alcanza un 30%. Y la buena noticia en este sentido es que esta sustitución es rentable con precios del GNL hasta 9 dólares el millón de BTU, en circunstancia de que hoy día estimamos que la oferta podría llegar en torno a los 7 dólares el millón de BTU.

En cuanto a los petróleos pesados en calderas y hornos industriales, acá lo que proponemos es extender la regulación que hoy día está vigente en la región metropolitana, que permitió reducir de manera drástica las emisiones de dióxido de azufre, como se ve en el gráfico que está a mano derecha, al resto de las regiones que todavía no incorporan estas restricciones en los planes de contaminación. ¿Esto qué es lo que permite? Permite el desplazamiento definitivo del dióxido de azufre en el uso que se le hace en las calderas industriales y una disminución en los niveles de contaminación local (Figura 25).

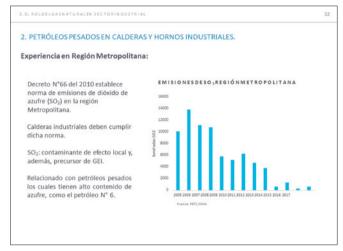


Figura 25

¿Dónde se concentran los efectos de esta medida? (Figura 26). Se concentran básicamente en la región del Biobío que es donde se hace un uso mucho más intensivo del Petróleo N° 6, hasta un 46,1% del total. Pero también genera disminución en Antofagasta y en la región de los Ríos.



Figura 26

Y como decía, la propuesta es simplemente implementar la Norma de Emisiones de Dióxido de Azufre que está en la Región Metropolitana a todo el país, y esto se podría hacer en un plazo de 5 años.

Desde el punto de vista de los costos, hicimos los ejercicios y dado que muchas de las calderas industriales de la octava región ya cuentan con quemadores duales, desde el punto económico y los precios del gas natural han tendido a la baja, respecto a los precios del Fuel N° 6, nosotros estimamos que esta medida no genera consecuencia económica, no genera impacto económico negativo en las industrias y permite reducciones, como las que se aprecian en la tabla que está en esta lámina (Figura 27).

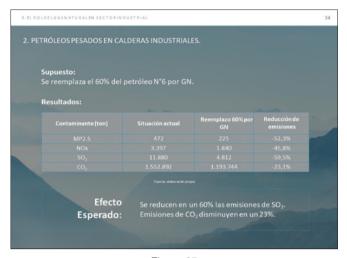


Figura 27

En el caso del material particulado, disminución de emisiones hasta del 52,3%. El NOx 45,8%, en  $SO_2$  un 59,5% y de  $CO_2$  de un 23,1%.

En resumen, se reducen las emisiones en un 60% de  $SO_2$  y las emisiones de  $CO_2$  se disminuyen en un 23%. Estoy hablando acá del sector industrial.

¿Cuáles son las consecuencias? (Figura 28). Que las emisiones de CO<sub>2</sub> en el caso del sector industrial minero, que se ubican en torno a los 5 millones de toneladas, se disminuyen en 220 mil si es que la sustitución es de un 15% y en 440 mil toneladas, si la sustitución es de un 30%.

En el sector industrial calderas y hornos hay disminución de 360 mil y 480 mil toneladas, si es que se produce un cambio en la normativa de emisiones de dióxido de azufre.

En el documento, además de demostrar el impacto que generaba la sustitución de gas natural en el sector de eléctrico y en el sector industrial, profundizamos sobre lo que ocurriría en otros sectores.

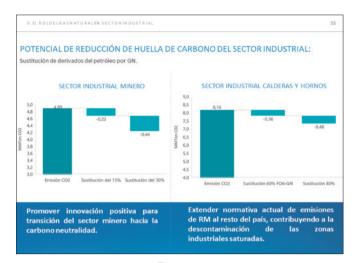


Figura 28

Estos sectores son: el transporte público, la calefacción y el transporte marítimo (Figura 29).



Figura 29

En todos estos sectores la lógica es la misma, incorporar el gas natural, reemplazar un combustible que hoy día está emitiendo más, que es dominante, por un periodo de tiempo relativamente breve. Estamos hablando de 20 años mientras se instala la solución definitiva que estimamos va a ser en base a alguna combinación entre energía renovable no convencional y almacenamiento.

En el caso del sector transporte público lo que estamos proponiendo ahí, es igualar la cancha en el impuesto específico que hoy día está afectando al gas natural respecto al diésel y en ese contexto incorporar de manera acelerada buses de transporte público que ocupen gas natural en sustitución del diésel.

En el sector calefacción estamos proponiendo también incorporar el gas en los programas de recambio de calefactor que hoy día ya se está realizando y que apuntan a la sustitución de leña por pellet. Estamos promoviendo incorporar en ese mismo programa bajo un principio de "no discriminación", al gas natural.

Y en el caso del transporte marítimo, este es un tema nuevo para nosotros, pero que ya se está realizando en algunas rutas de cabotaje en el norte de Europa, incorporar el GNL en el trasporte marítimo y sustituir de esa manera al Petróleo N°6. En este caso que es una conversión relativamente simple y muy rentable desde el punto de vista privado y los riesgos que se evitan, son los de derrames que generan efectos importantes en el ecosistema marino.

Todos los sectores, están detallados en el documento que se puede descargar, como dice Klaus de la página de AGN y los efectos son disminuciones concretas y rápidas en las emisiones de material particulado y de algunos contaminantes de efecto local (Figura 30).

REEMPLAZO	DE DIÉSEL, LEÑA Y HI	EAVY FUEL OIL POR GN	
Sector:	¿A quién reemplaza?	Efectos esperados	Costo Fiscal
Transporte público	Diésel	Emisiones de NOX y MP disminuyen en un 11,7% y 10,5%.	Sin costo fiscal. Neutra desde el punto de vista privado.
Calefacción	Leña	Reduce emisiones de MP de Osorno, Talca y Concepción.	Costo fiscal de US\$ 4,5 millones.
Transporte marítimo	Heavy Fuel oil	Se reducen en un 100%, 95% y 99% las emisiones de 50x, N0x y MP, asociadas al cabotaje. No hay riesgo de derrame de combustible.	Sin costo fiscal.

Figura 30

En el caso del transporte público las emisiones de NOx y material particulado disminuyen en un 11,7% y en un 10,5%. Esta es una medida sin costo fiscal, neutral desde el punto de vista privado. Es simplemente igualar la

cancha en el tratamiento tributario del gas respecto al diésel.

En el caso de la calefacción hay un costo fiscal que es introducir el gas natural dentro del programa de cambio de calefactores, el costo fiscal es muy bajo, son 4,5 millones de dólares y permite reducir sustancialmente las emisiones de material particulado en Osorno, Talca y Concepción.

En el caso del transporte marítimo la incorporación del gas natural licuado, la sustitución del Fuel Oil permite reducir en un 100%, en un 95% y un 99% las emisiones de SOx, NOx y material particulado, asociadas al cabotaje. Y lo que es mucho más importante es que reduce a 0 los riesgos de derrame de combustible.

Todas estas medidas apuntan a contribuir a la descontaminación de las ciudades del sur o el entorno marítimo y son, como hemos señalado, intensivas en el uso de capacidades que hoy día ya existen y tienen una lógica de optimizar el uso de activos que hoy día ya existen, durante este período de transición.

Bueno, dejo con ustedes ahora a Jorge Quiroz para que nos presente las conclusiones y algunas reflexiones finales.

# CONCLUSIONES.

# Sr. Jorge Quiroz.

—Bueno en términos generales esta propuesta si uno la mira desde el punto de vista económico, lo que hace es bien sencillo. Aquí hay un futuro respecto del cual existe bastante consenso, que de aquí a 20 años más, de esta transición energética, el mundo entero va a descansar en las ERNC, en la medida en que se resuelvan los problemas de almacenamiento de energía y en esa transición hay mucho por hacer.

Lo que nosotros hemos recabado acá son 2 temas: cuando hay mucho por hacer en el intermedio, la pregunta económica es, bueno ¿Cuánto cuesta? Y el cuánto cuesta tiene dos partes: el CAPEX el costo del capital, y el OPEX que es cuánto me cuesta operar.

En caso de Chile tenemos las dos circunstancias muy favorables. La primera, es que el CAPEX, el costo de capital, ya está hecho. Ya están hechos los gaseoductos, ya están

hechas las redes de distribución, muchas calderas ya tienen los dobles quemadores, tenemos una capacidad instalada de generación eléctrica y por lo tanto el CAPEX con un mínimo se puede tener en disposición.

El OPEX, debido a la baja del costo del gas natural en el mundo y nuestra disposición de terminales para poder recibir este gas y regasificarlo en GNL, nos permite acceder a precios tremendamente atractivos. Es eso lo que nos permite en el tiempo, mientras llegamos a la transición final, en los próximos 20 años, avanzar bastante en términos de disminuir efectos de gas efecto invernadero y contaminantes de alcance local, como se ha indicado.

Este cuadro muestra primero la reducción de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>eq. Partiendo por un inicial de 111 millones de toneladas y que llega según la última barra a 95 millones de toneladas (Figura 31).

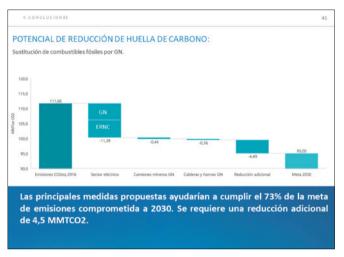


Figura 31

El sector eléctrico es por lejos el más importante, tanto por efecto directo como se ha señalado, como por la disminución de la operación de las centrales a carbón y reemplazándolas por las GN (Gas Natural) y éstas apalancan mayores efectos en las ERNC.

Este apalancamiento es tremendamente importante y Felipe ya hizo una alusión a eso. Hemos estado viendo datos bien interesantes, ahora con la Pandemia y cómo ha cambiado el comportamiento. Tenemos *Ramp-up* en el consumo de energía mucho más rápido del que teníamos antes y, definitivamente, el sector eléctrico va a tener que

ser mucho más preciso en la coordinación de las centrales que se deben hacer cargo de esos crecimientos de demanda acelerados durante la operación diaria. Ello requiere un respaldo que debe ser remunerado ya que permite el respaldo a las ERNC y la estabilidad del sistema. Hoy día, estas remuneraciones están concentrado un pago en potencia y tenemos que converger rápidamente a un pago por respaldo en el *Ramp-up*.

Generar *Ramp-up*, ustedes saben, las centrales están basadas en gas natural tienen una capacidad de respuesta mucho más rápida que las de carbón, por tanto, ahí hay un apalancamiento y flexibilidad importante adicional que prestan las centrales a GN respecto de las de Carbón.

Después tenemos los otros efectos básicamente en camiones mineros, calderas y hornos que también contribuyen a rebajar de los 111 a 95 millones de toneladas, que ayudan a cumplir ese 10% de la meta.

Y hay algo bien importante, estas emisiones que ustedes ven al lado izquierdo son las emisiones brutas. A esto hay que restarle del orden de 70, 80 millones de toneladas que Chile capta por el sector de Usos de la Tierra y Cambio de Usos de la Tierra (UTCUTS), básicamente bosque.

Por lo tanto, si ustedes le restan los 80, lo que podemos lograr al 2030 es prácticamente neutralidad o vamos a estar muy cerca de la neutralidad completa del país en 10 años, usando el CAPEX que ya tenemos y aprovechando un OPEX mucho más bajo, producto del menor precio del gas natural en el mundo.

Esto es totalmente pivotal con lo que uno pueda pensar del futuro. Alguien puede pensar que, en el futuro es el hidrógeno verde; perfecto, ningún problema. Ese futuro está a más de 10 años plazo. En esos 10 años podemos hacer mucho con el CAPEX que hay hoy día. No estamos proponiendo nuevas inversiones, el país ya hizo las inversiones, tiene "costos hundidos" y tenemos un OPEX que hoy día está favoreciendo el uso del GN.

Eso lo estamos viendo en el sector eléctrico, de hecho, está ocurriendo hoy día, este año los costos variables de muchas centrales son menores las de gas natural que las de carbón, por lo tanto, están siendo despachadas y estamos teniendo esa transición de modo relativamente normal y natural.

Y acá tenemos los costos de abatimiento. Y aquí quiero hacer un alcance. Ustedes muchas veces han visto costos de abatimiento, una cifra que se presenta muy a menudo (Figura 32). Cuánto cuesta abatir en términos de dólares por toneladas de CO<sub>2</sub>. Muchos gráficos que ustedes han visto, muchas presentaciones son costos de abatimiento que se espera ocurran en 20 años más, va a haber hidrógeno verde y otras opciones.



Figura 32

Este es un costo de abatimiento que nosotros tenemos hoy día. Hoy en día tenemos costos de abatimiento negativos en minería. En minería hoy día podemos abatir lo que hemos señalado que se podía abatir sin costos, sino más bien con rentabilidad.

¿Qué es lo que ha impedido hacer esto ahora? Bueno, básicamente que los cambios tecnológicos requieren que alguien lo haga primero y que después el otro siga. Tenemos una compañía, la Compañía Minera Fresnillo, que dicho sea de paso es una con el mejor desempeño bursátil en el mundo hoy día, que además está presente en Chile, en campañas de exploración minera y ya hizo esta experiencia, tiene 10 años de madurez. Es algo que la minería podría hacer.

Después, tenemos la siguiente barra larga que es el efecto de sustitución de carbón por GN, que también tiene un costo de abatimiento negativo. De nuevo, no tenemos CAPEX, el CAPEX ya está hecho, tenemos un menor OPEX y eso lo estamos viendo hoy día en la Operación del

sistema interconectado un mayor despacho de centrales que usan GN.

Finalmente, tenemos el tema de calderas y hornos que hoy usan petróleos pesados pero que tienen capacidad de cambiar rápidamente al uso de GN. En estos casos, para los niveles de precio actuales, se observan beneficios asociados al cambio lo que se traduce en costos de abatimiento hoy día, para lo que se está proponiendo, negativos. Distinto el caso con las otras medidas, hay otras medidas con el tema de la leña, donde sí hay un costo de abatimiento tanto en CAPEX, que serían los calefactores, como eventualmente en OPEX. Ese es un tema que requiere un desafío mayor.

Estos 3 sectores, minería básicamente, después el sistema eléctrico, y después calderas y hornos, tienen en general costos de abatimiento negativos hoy.

Y de ahí viene el énfasis nuestro, el rol que puede jugar el gas natural en la transición. No estamos proponiendo un gran plan de inversión para grandes infraestructuras en gas natural, no señor, las inversiones ya están hechas. No estamos proponiendo subsidios porque el OPEX ya está más bajo producto de los precios internacionales, por lo tanto, tenemos hoy día una coyuntura particularmente favorable para Chile. Ya hizo las inversiones, ya tienen el CAPEX y además tiene las inversiones para acceder al gas natural: Los terminales de gasificación, los gaseoductos y las redes de distribución van a jugar un rol en Chile ya que nos permiten un OPEX competitivo con las alternativas tradicionales basadas en combustibles más contaminantes.

Por lo tanto, las medidas propuestas en su conjunto, las principales, las más gruesas, las de mayor impacto no tienen costo fiscal, son en el mejor de los casos neutrales desde el punto de vista privado y yo diría que, en general, son positivas. No requieren una recarga adicional tributaria y una medida particular, sino sencillamente promover este cambio y estar atento con micro regulación.

Por micro regulación, me refiero, por ejemplo, al pago por los servicios complementarios para poder apalancar mejor la ERNC, que como dije hoy día está centrado más que nada en la regulación por potencia y que estimamos que en función de los *Ramp-up* acelerados en la operación diaria que estamos viendo, debiese evolucionar a un pago por flexibilidad, atributo en que las Centrales a gas

natural son mucho más aptas y costo efectivas que las centrales a carbón.

En definitiva, nuestras conclusiones y hallazgos son que el gas natural puede jugar un rol relevante en el periodo de transición entre 10 a 20 años, principalmente en la siguiente década; el principal elemento es la dinámica en el sector eléctrico al cual ya habíamos hecho referencia (Figura 33).



Figura 33

Después, la opción del gas natural en minería que requiere un esfuerzo de innovación o más que innovación, de adaptación, innovaciones que ya están hechas, incorporación de kits de camiones que ya existen.

Después tenemos la sustitución de petróleo pesado en las calderas, muchas calderas ya tienen quemadores múltiples.

Luego modificar la cancha, nivelar la cancha en materia de tributación y hemos propuesto en el documento que, si esto es muy duro hacerlo a nivel nacional completo, a lo mejor se puede hacer al interior de los sistemas de trasporte público, de tal modo qué al interior de las redes de trasporte público en distintas ciudades, partiendo por la Región Metropolitana, se viva en ese entorno de una cancha nivelada en términos tributarios, en lo que se refiere a los impuestos específicos. Y finalmente, una cosa un poco más ambiciosa que probablemente va a requerir algo más de OPEX, es el recambio de leña por gas natural en el sector residencial.

Ahora (Figura 34), todo esto tiene un contexto que va más allá de estas obligaciones que tiene Chile con las cuales se ha comprometido en términos de reducción de gases efecto invernadero, que es el entorno mundial. Existen múltiples señales en el sentido de que la recuperación que vamos a tener post pandemia va a tener un carácter marcadamente verde. La recuperación va a ser más consiente ambientalmente, existe un movimiento general mundial, salvo Estados Unidos que no ha suscrito los últimos acuerdos en materia de medio ambiente, pero sí muchos estados han sido entusiastas en abrazar muchas de estas medidas.



Figura 34

Y aquí Chile tiene un desafío. Chile es una economía cuyo motor principal son las exportaciones y estamos a mucha distancia de nuestros países de destino y eso corre para la minería, para la agricultura, para los salmones etcétera.

Y en ese sentido prevemos que aun cuando no sea vía legislativa, si ya está ocurriendo vía consumidor y vía mercado en términos de discriminar o mirar con detención la huella de carbono.

Nosotros tenemos una huella de carbono relevante derivada de las distancias que tenemos que compensar en el origen. Uno se puede preguntar, bueno si yo en mi origen, aprovechando la posibilidad que tiene Chile de energías renovables no convencionales, más lo del gas en origen, por ejemplo, en el tema agrícola, muy poco dañino en términos de gases efecto invernadero, eso me puede compensar el efecto de trasporte con que tengo que competir respecto a los productos locales que se venden en los mercados

de destino. Y ese es un tema que yo creo que viene, hay muchas compañías que ya lo están asumiendo.

Hemos visto compañías pesqueras que llaman a licitación de energía eléctrica y que exigen una cantidad relevante de ERNC, que van a tener que ser apalancados a nivel de sistema con el tema del gas natural y este es un desafío exportador chileno que va más allá o que agrega más bien el compromiso de los efectos de gas invernadero, a un tema de competitividad país. En tal sentido, pensamos que estamos en una alternativa y un camino que se debiese considerar seriamente y con algún sentido también de urgencia.

Ese, básicamente es el mensaje que tenemos en este estudio que realizamos con Klaus y Felipe, gracias por la invitación y gracias por la atención.

Al término de la Conferencia, los expositores respondieron consultas y comentarios de los asistentes. A continuación, reproducimos lo más relevante de estas intervenciones.

# Sr. Ricardo Nicolau del Roure.

—Muchas gracias, Klaus, Jorge y Felipe, por esa interesante presentación de un tema que ha estado un poco dejado atrás. Creo que el impacto que produjo el corte de gas que nos hizo Argentina hace algunos años, dejó muy marcado que éramos muy vulnerables respecto al gas natural, sin embargo, nos hemos olvidado de las tremendas inversiones que ustedes han señalado que se hicieron en infraestructura para utilizar el gas natural.

Con éstas, los puertos de Mejillones y Quinteros con las instalaciones para regasificación que son muy grandes, el mercado ya está intuyendo que el gas natural puede volver renacer fuertemente, porque hay indicios de que hay otros privados que están pensando en aumentar la capacidad de regasificación en Chile, así que por supuesto es un tema interesante.

También, es muy interesante escuchar sobre el costo de abatimiento, en que todo esto se puede lograr sin costo fiscal, lo que hace mucho más factible estas medidas y es neutral desde el punto de vista del privado.

Así que les agradecemos esta interesante exposición y trabajo y un punto que mencionó Jorge al final, esto de la huella de carbono, en realidad es un tema que se viene muy fuerte y Chile por la distancia que está respecto de donde vende sus productos de exportación, tiene una vulnerabilidad muy fuerte, por lo tanto, nuestros productos tienen que salir con muy poca huella de carbono local.

Una pregunta dice: ¿Cómo se hace viable la expansión al 2050 con costos marginales de 20,5 dólares por megawatt hora?, esa es la primera. Y después, una que está ligada ¿Qué costo de inversión utilizan en el 2050 para energía solar, eólica y batería, para que se puedan sostener con 20,5 dólares megawatt hora?

# Sr. Givovich.

—Lo que ocurre es que esos costos como bien se señala en la pregunta, son costos marginales. No son los ingresos que percibe el dueño de la infraestructura. El dueño de la infraestructura normalmente, lo que ocurría ya hace mucho tiempo, financia su infraestructura a partir de contratos de largo plazo con clientes libres o clientes regulados, que se alejan bastante de la varianza que están mostrando los costos marginales. Entonces, se sostienen en general en base a contratos y el costo marginal es únicamente el precio de la trasferencia de energía que el mercado spot, que representa una porción ya muy baja de la mayoría de los negocios de los generadores, esa es la repuesta.

# Sr. Ricardo Nicolau del Roure.

—Tengo otra pregunta. Los resultados del sector generación se hicieron suponiendo una hidrología seca para todos los años. ¿Cómo esto podría impactar en las proyecciones de participación del gas natural?

# Sr. Givovich.

—En los escenarios secos, en general la participación de las fuentes térmicas es mucho más importante. Hay una exigencia adicional para el gas natural en todos los escenarios de hidrología seca de participación, especialmente en el periodo de invierno. ¿Cómo lo afecta? Bueno incrementa la participación de todo lo térmico y el gas natural naturalmente y hace más necesario en ese caso la permanencia, primero de la infraestructura que ya está instalada como parte del parque generador y también la

ampliación marginal, por lo menos hasta el año 2035, de alguna instalación que permita, como señalamos, modular de buena manera la oferta intermitente de renovables no convencionales, que estimamos seguirá creciendo, sobre todo en base a energía fotovoltaico y eólica.

### Sr. Ricardo Nicolau del Roure.

—Hay otra pregunta del Sr. Juan Carlos Pérez, que señala: Buenos días, soy de El Salvador, yo entiendo que es de la República de El Salvador, no del Mineral de El Salvador. Y pregunta, ¿cómo han mejorado los agujeros de la capa de ozono o cómo aportaría esta incorporación de gas natural a este efecto?

# Sr. Schmidt-Hebbel.

—Respondo muy brevemente Ricardo, si me permite. Número 1, los agujeros de la capa de ozono que particularmente afectaban a las zonas ártica y antártica se han ido cerrando en los últimos años en forma muy significativa por la no emisión de otros gases como el cloro-fluorocarbono, porque esos gases se emitían básicamente a través de aerosoles de todo tipo, de uso industrial y también uso en refrigeración, aire acondicionado y también en usos personales. Y, en realidad, el gas natural, que reemplaza en forma muy importante gas efecto invernadero que afecta el calentamiento global y también gases de efecto local, no hace un aporte adicional porque precisamente no abate ni tampoco emite su quema y tampoco sustituye la emisión de cloro-fluoro-carbono que, como ya dije, creo que a nivel global han bajado mucho.

# Sr. Ricardo Nicolau del Roure.

—Una última pregunta desde México, ¿por qué no se incluye la geotermia?

# Sr. Quiroz.

—Aquí hay un concepto que es como la columna trasversal de este estudio y es ser muy pivotales respecto al futuro lejano. El futuro lejano puede tener geotermia perfectamente bien, puede tener hidrógeno verde, puede tener mecanismos de almacenamiento que a lo mejor será el nitrógeno verde o a lo mejor son otros. Sabemos que hay una senda acelerada de reducción de costos generales, tanto de generación como de almacenamiento de estas energías renovables no convencionales y mientras llegamos allá lo que nosotros hemos hecho es ser pivotales y no jugarnos diciendo, va ser esta tecnología o esta otra. ¿Qué podemos hacer mientras llagamos a ese futuro que todavía está algo difuso? Ahí donde juega un rol esta tecnología. Porque nosotros vemos que hay un impacto que se puede lograr con 0 costo fiscal muy inmediato actuando de modo muy neutro o sin pronunciarnos respecto de cuál de todas las que están en competencias van a ser las soluciones que van a tener alguna relevancia de aquí a 20 años más. Es muy distinto después de habernos hecho una pregunta decir: "impulsemos la geotermia..., impulsemos el hidrógeno verde, no, nosotros estamos siendo muy pragmáticos, muy pivotales respecto al futuro y yéndonos a lo que es costo efectivo hoy día, que, como hemos señalado, de hecho, tiene costo de abatimiento negativo.

Fin de la conferencia.

# LA PARADOJA DEL CIERRE DE MINA INVIERNO. UNA OPERACIÓN CON UN ALTO ESTÁNDAR AMBIENTAL

Conferencia del Sr. Guillermo Hernández, Gerente General de Mina Invierno



Sr. Guillermo Hernández.

El día jueves 12 de noviembre de 2020 a las 11:00 horas vía Zoom, se dio inicio, ante una gran cantidad de asistentes, a la conferencia "La Paradoja del cierre de Mina Invierno. Una operación con un alto estándar ambiental" a cargo de don Guillermo Hernández, Gerente General de Mina Invierno.

El Sr. Hernández es Ingeniero Civil Estructural de la Universidad de Chile.

A partir del año 2008 integra Mina Invierno como parte del equipo responsable del desarrollo del proyecto minero portuario, desde sus fases iniciales de exploración e ingeniería, para luego continuar con la tramitación y aprobación ambiental. Asume posteriormente la Gerencia de Construcción del proyecto y seguidamente la Gerencia Regional. Actualmente ocupa la Gerencia General.

Anteriormente se desarrolló en diversos cargos gerenciales en empresas del sector sanitario, Aguasquinta, Aguas Andinas y Esval, como gerente de ingeniera, de gestión de redes y de operaciones respectivamente, entre los años 1995 y 2008.

También en Magallanes participó en la Compañía de Carbones de Magallanes, donde ocupó varios cargos entre ellos, Superintendente de Abastecimiento y Proyectos y Superintendente de Mina (1990-1995).



# Sr. Hernández.

—Una descripción general de Mina Invierno nos permite señalar que fue la mayor inversión privada realizada en la región de Magallanes en los últimos 20 años y cuyo origen fue la promoción de la explotación de pertenencias mineras de carbón, propiedad de CORFO. La operación minero-portuaria fue desarrollada con los más altos estándares medioambientales de la industria minera, en una zona despoblada y altamente intervenida por el hombre en Isla Riesco.

Fue generadora de más de 1.000 puestos de trabajos directos de calidad, con altos estándares de seguridad y fuerte énfasis en la capacitación y formación de capital humano, incorporando a la mujer en labores mineras.

Era proveedora de carbón flexible para acompañar a los generadores nacionales, en la transición desde despacho permanente (energía base) a despacho flexible (complementando la variabilidad solar y eólica), en un escenario de descarbonización por todos deseable, pero cuya gradualidad debe estar dirigida por la racionalidad y el pragmatismo.

La Formación Loreto es la unidad geológica que contiene los mantos de carbón de Mina Invierno (y del resto de las antiguas minas de carbón en la región).

Aflora de forma natural en distintos puntos de la región desde Tierra del Fuego a Puerto Natales (Figura 1).



Figura 1

Fue posible establecer, a través de distintas labores de sondaje, que solo en Isla Riesco, la Formación Loreto ocupa una superficie de aproximada de 36.240 Ha. La zona donde se encuentra mejor expuesta, de manera natural, se localiza en el Valle del Rio de las Minas, a 3 km al noroeste de Punta Arenas.

Aquí se muestra una foto (Figura 2), un cajón natural que se ha construido en el río a lo largo de miles y miles de años.



Figura 2

La componente paleobotánica, y que más adelante van a encontrar la conexión del por qué me extiendo en este punto, se ha venido conociendo a través de distintas investigaciones, desde el año 1898 a la fecha. Investigaciones en de las cuales también participó Harafumi Nishida, que es un paleobotánico de reconocido prestigio mundial. A esto se agrega el conocimiento que fue incorporando Mina Invierno desde el inicio de su explotación, hasta antes de su cese de la operación, mediante la presentación de informes anuales que nosotros teníamos que hacer sobre la aparición de elementos paleobotánicos en la Formación Loreto de Mina Invierno. Vale decir, Mina Invierno desde un inicio fue una empresa que dentro de sus distintos compromisos ambientales tuvo presente hacer investigación y hacer un aporte al conocimiento. Evidentemente que la cantidad de información que fuimos nosotros capaces de recolectar es infinitamente más grande que aquella que se hizo a lo largo de todos estos años en investigación ya que ustedes comprenderán que la forma en que un paleobotánico hace investigación, es cuando tiene acceso a una formación como esta que se produce de manera natural

# LA PARADOJA DEL CIERRE DE MINA INVIERNO. UNA OPERACIÓN CON UN ALTO ESTÁNDAR AMBIENTAL

y los volúmenes de material que es capaz de extraer para investigar, son los que puede sacar prácticamente con una pala y una picota, a diferencia de la cantidad de material que nosotros éramos capaces de poner a disposición de la investigación, que eran miles y miles de metros cúbicos de material.

¿Dónde está ubicada Mina Invierno? (Figura 3).



Figura 3

Está ubicada en Isla Riesco en la Décima Segunda Región o Región de Magallanes. La Isla tiene una superficie de 500 mil Ha, es la cuarta isla más grande de Chile, con un área que está colonizada de aproximadamente 180 mil Ha. En Isla Riesco viven de manera permanente menos de 200 personas.

Aquí, un plano para ubicarnos respecto de la ciudad de Punta Arenas.

Para llegar a Isla Riesco, nosotros tenemos que recorrer una distancia de aproximadamente 120 kilómetros hacia el noroeste de Punta Arenas con un cruce en barcaza en el Canal Fitz Roy. La parte colonizada es aquella en la cual se extiende la ruta Y500 por el lado del Seno Skyring y la ruta Y560 al lado del Seno Otway. La componen en total 33 estancias dedicadas fundamentalmente la ganadería (Figura 4).

Tal como he dicho, Isla Riesco no es un lugar prístino, intocado, como muchas veces se ha dicho.



Figura 4

Estas fotos muestran la realidad (Figura 5). Es una isla fuertemente intervenida por el hombre. Hay que pensar que hace un siglo o por lo menos varias décadas, que para dar espacio a la ganadería, se produjeron extensas quemas de bosques; con esto no estoy recriminando a quienes en su momento lo hicieron, porque hay que entender que en aquel contexto, era la forma de hacer lo que se estimaba era el desarrollo.



Figura 5

Acá tienen fotos de la estancia Rio Cañadón (Figura 6) que es vecina a la estancia donde se ubica Mina Invierno, lugar donde está ubicado el Puerto.

Y estas son fotos que muestran los vestigios de palizadas de antiguos bosques de lo que es Estancia Invierno (Figura 7).

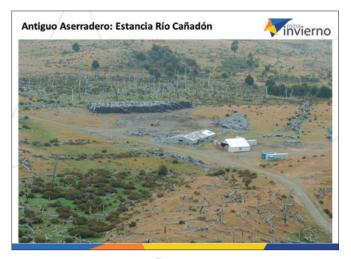


Figura 6



Figura 8



Figura 7



Figura 9

Esta foto (Figura 8), es del año 52 aproximadamente y muestra un caserío donde se hizo una explotación de Mina Elena que estaba ubicada por el Sector del Seno Skyring. Llegaron a vivir casi 500 personas en Isla Riesco en aquel tiempo, con una producción máxima de carbón en el año 43 que alcanzó las 100 mil toneladas de carbón.

Eso es lo que hoy queda de lo que fue ese antiguo muelle (Figura 9).

Mina Invierno, como decía, es la mayor inversión privada en décadas en la región (Figura 10).

Fue hecha por capitales privados en una sociedad en partes iguales entre Ultraterra ligada a la familia Von Appen y



Figura 10

empresas Copec. Iniciamos los trabajos de exploración hacia el año 2006. El proyecto portuario fue aprobado en 2009 y el de la Mina fue aprobado el 2011 por el Servicio de Evaluación Ambiental. Iniciamos la construcción del Puerto en mayo del año 2011, los equipos mineros llegaron en septiembre de 2011. Iniciamos el pre-Ssripping en abril de 2012, haciendo un primer embarque en marzo del 2013, un mes antes de lo que teníamos originalmente programado en la etapa de construcción. También es importante destacar que, no obstante haber trabajado en la etapa de construcción un total de casi 1.600 personas, a Dios gracias, nunca tuvimos que lamentar un accidente grave y menos obviamente un accidente fatal, lo que evidentemente es un gran orgullo para quienes hemos estado en Mina Invierno.

En abril del 2020 finalmente hicimos el último embarque, alcanzamos a embarcar 18,2 millones de toneladas de carbón, esto es aproximadamente un 26% del total de las reservas autorizadas a explotar mediante la Resolución de Calificación Ambiental que aprobó la operación de la Mina.

En términos generales, nosotros ocupamos una envolvente dentro de la cual se ubican el rajo total de la Mina que se pensaba desarrollar para extraer 72 millones de toneladas de carbón autorizado, en una superficie aproximada de 487 Ha, a lo cual se agregan sectores dedicados a botaderos, instalaciones de mantención, de alojamiento etc. y un camino que conecta la mina con el puerto, que está aproximadamente a 8,5 kilómetros de la mina. En total la envolvente del área directamente intervenida en Isla Riesco por Mina Invierno totalizaba 1.509 Ha, es decir el 0,3% de Isla Riesco y evidentemente emplazada en una zona en que ya había sido fuertemente intervenida con quemas de antiguos bosques.

Es una operación de minería mediana de alto estándar con equipos mineros idénticos a lo que se usa en la gran minería del cobre.

La flota de extracción de estéril estaba compuesta por 15 camiones de 240 toneladas de capacidad y 3 palas 6060, Para la extracción y transporte de carbón una flota de 11 camiones de 100 toneladas de capacidad y 2 palas 6018. El carbón una vez extraído se acopiaba en la zona del puerto donde teníamos una cancha de acopio con capacidad para 350.000 toneladas de carbón rodeada por una barrera eólica de 12 metros de altura (Figura 11).



Figura 11

Un muelle cuyo puente de acceso tiene 440 metros de extensión, alcanzado un calado de 17,7 metros lo que nos permitía cargar el carbón en naves desde 35 mil hasta 180 mil toneladas de desplazamiento (Figura 12). Disponíamos de dos cargadores de barcos con una capacidad nominal de carga de 3 mil ton/hora alimentados por correas transportadora cubiertas para tratar de minimizar el impacto ambiental asociado e emisión de material particulado.



Figura 12

En cuanto a los embarques (Figura 13) realizados durante la operación, alcanzamos a hacer 218 embarques con 18,2 millones de toneladas de carbón. 65% de ese carbón producido fue vendido en Chile a las centrales termoeléctricas nacionales, 9% a Europa y 26% a Asia. Las 2

empresas nacionales que ocupaban nuestro carbón eran AES Gener y Engie.



Figura 13

Respecto de empleos (Figura 14), llegamos a tener una dotación de trabajo directo entre personal propio y personal de terceros de 1.100 personas. Es importante mencionar que el nivel de renta de las personas que eran contratadas directamente por Mina Inverno, y aquí solamente coloco las rentas promedio del rol operativo, es decir se excluyen profesionales, supervisores, jefes de área, gerentes, solo los operativos de producción, mantención y operación del puerto, en promedio, era una cifra del orden de 1millón 300 mil pesos, cifra que no considera beneficios de salud ni bono de producción entre otros. Esa cifra, si uno la compara con el ingreso medio tributable de todas las personas que cotizan en el sistema de pensiones de la región de Magallanes, que son algo así como 800 mil pesos, en que evidentemente se incluye todo tipo de personas, inclusive profesionales, resulta ser un 60% superior, lo que es relevante. Es importante mencionar que si uno compara la renta promedio de las personas de Mina Invierno con la mediana nacional esta resulta ser poco más de 3 veces.

Teníamos instalaciones (Figura 15) para alojar a nuestro personal de rol operativo, de alta calidad, pueden ver una foto del casino, áreas de descanso, áreas de recreación, gimnasio, etcétera.

Desarrollamos una alta integración y apoyo a la familia (Figura 16), a través de beneficios vinculados a la educación, a la salud y también una integración de las esposas de los

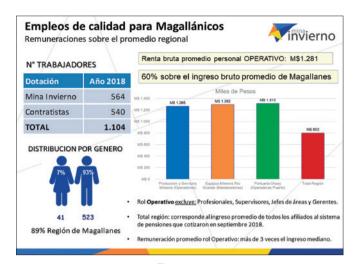


Figura 14



Figura 15



Figura 16

trabajadores, para que conocieran de primera fuente cuáles eran los distintos beneficios que otorgaba la empresa.

Y también eso lo hicimos con fuerte énfasis de vincular a la familia para que apoyaran el buen descanso de los trabajadores, para así evitar accidentes.

Respecto a los compromisos ambientales y nuestra presencia regional. Tres fueron las resoluciones de Calificación ambiental que administrábamos.

Resolución de Calificación Ambiental vinculada al puerto, a la mina y también una última vinculada a unas obras de mejoramiento en el manejo de las aguas de los chorrillos en la cuenca de Chorrillo Invierno 2, que es donde desarrollamos la mina.

¿En qué se traduce esto? (Figura 17). Esto se traducía en que teníamos que atender 58 considerandos de esta resolución de calificación ambiental vinculados a distintos temas. Como agua, aire, arqueología, biodiversidad, medio humano, paleontología, suelo, medio marino, etc. El resumen de ello son 90 reportes anuales que se traducían en un costo medioambiental de 1.800.000 dólares anuales, esto sin considerar los costos que significan los trabajos de reforestación, revegetación y construcción de canales y obras complementarias, que son las principales medidas de manejo de mitigación ambiental.

A modo ilustrativo voy a presentar varios de los planes de seguimiento desarrollados por Mina Invierno.

Primero un Plan de Conservación del carpintero negro (Figura 18).

Un plan de manejo integrado de la Cuenca de Chorrillo Invierno 3 (Figura 19). Se trata de un chorrillo que pasaba cerca de la Estancia no intervenido por la mina, pero en que sí hubo un compromiso de recuperarlo, restaurarlo a su origen natural retirando las distintas obras y elementos que habían introducido los antiguos ganaderos sobre el cauce.

A ello se agregó un área de compensación integrada (Figura 20), que es una superficie de aproximadamente 680 Ha, de las cuales hubo que retirar todo uso ganadero, de manera tal que la naturaleza se recuperara a su origen, lo más natural posible. Tuvimos que implementar un programa de seguimiento de Galáxidos (estos son puyes). Esto estuvo



Figura 17



Figura 18



Figura 19



Figura 20

vinculado al hecho que parte del desarrollo de la Mina, tenía que desaguar una laguna de pequeña superficie en la cual habitaban estos Galáxidos. Dentro del Estudio de Impacto Ambiental tuvimos que hacer un estudio de ADN de los "puyes" para comprobar que no eran especies únicas en la Isla, sino que había otras lagunas donde había "puyes" de similares características. Nuestra tarea y compromiso fue que antes de desaguar la laguna, tuvimos que capturar los "puyes" y relocalizarlos. Para relocalizarlos tuvimos que hacer un trabajo de "destruche" de un chorrillo, en el cual los tuvimos que relocalizar. Destruchar significaba hacer "pesca eléctrica" para recolectar las truchas y esas truchas uno no las podía consumir, cosa que uno habitualmente hace cuando es pescador, aquí teníamos que recuperar esas truchas e ir a dejarlas a Rio Grande, que queda a 60 kilómetros de distancia de la mina.

Eso es un ejemplo de la preocupación ambiental vinculada a la gestión de Mina Invierno (Figura 21).

También tuvimos que hacer trabajos de investigación vinculado al rescate y relocalización del coipo; en el sector donde nosotros estábamos había presencia de "coipos", aproximadamente 20 a 23 "coipos", que hubo que capturarlos, relocalizarlos en un chorrillo aledaño a la mina, construirles unos habitáculos para que se pudieran acostumbrar en su nuevo hábitat.

Aquí tenemos un coipo con su collar telemétrico, porque evidentemente también hubo que hacer seguimiento por varios años de cuál era la conducta de los coipos (Figura 22).



Figura 21



Figura 22

También hicimos un estudio para determinar la presencia del Huemul (Figura 23), este estudio se hizo entre el año 2012 y 2016 y evidentemente la conclusión del estudio fue la que uno esperaba, sin tener que haber hecho el estudio. No había presencia de huemul ni en estancia Invierno ni en las estancias vecinas a Mina Invierno. ¿Por qué razón? Porque el huemul es un animal muy tímido que se aleja de la presencia humana. Huemules hay en Isla Riesco, pero están muy lejos de la zona en que hay presencia del hombre.

También tuvimos que hacer un monitoreo de la presencia del delfín austral (Figura 24). En el origen, cuando nosotros aprobamos el estudio ambiental del puerto plateamos construir un muelle cuyo puente de acceso transparente, estaba montado sobre pilotes, con una extensión de



Figura 23



Figura 24

aproximadamente de 440 metros. Una de las aprensiones del proceso de evaluación ambiental, era que la construcción de ese muelle iba a interrumpir la continuidad de los bosques de Macrocystis., que consisten en bosques de algas que están a todo el largo de extensas zonas del borde costero en el Seno Otway. Supuestamente, iba a haber una interrupción y, por lo tanto, los delfines no iban a poder pasar de un lado a otro en el Seno Otway debido a la interrupción generada por el puente de acceso del puerto, y eso iba a poner en riesgo la alimentación de ellos. Pues bien, se construyó el puerto, se hizo el seguimiento y los delfines siguen felices en el Seno Otway.

Calidad y manejo de aguas (Figura 25), este ha sido un gran tema. Nosotros tuvimos que construir una red de canales que modificó un canal natural denominado Chorrillo Invierno 2. Cuando hablo de un canal intervenido no se imaginen un canal como el Canal San Carlos, aquí estamos hablando de pequeños chorrillos. La cuenca intervenida tiene aproximadamente 15 km² y los chorrillos por los que escurre la escorrentía superficial de un caudal muy variable, tanto así, que en verano, de manera natural casi se secan.



Figura 25

En Mina Invierno cuando hay lluvias, puede tomar volúmenes de 2, 3, 4 mt³ por segundo, que duran horas, porque son cuencas de muy rápida respuesta. Como decía, tuvimos que intervenir esta cuenca y para ello fue necesario construir esta red de canales, para el manejo de las aguas. No bastaba con hacer un canal con la lógica del ingeniero, que es hacer práctica e idealmente una línea recta con una mínima pendiente. No, acá los canales construidos fueron diseñados haciendo meandros y además revegetando la parte inferior del canal. Ustedes ven en la imagen que en la parte inferior del canal hay vegetación, eso son champas de pasto que fueron colocadas a mano (Figura 26).

También hay una serie de obras menores (Figura 27), de colocación de fardos, retenedores de sólidos, piscinas de decantación complementadas con obras que permiten la incorporación de coagulantes y floculantes biodegradables, todo con el objeto de que las aguas lluvias que escurren sobre los botaderos, que inicialmente están sin cubierta vegetal, arrastran agua con sólidos suspendidos y con esas obras se busca minimizar la incorporación de sólidos suspendidos en el chorrillo.



Figura 26



Figura 27

Para poder administrar todo este sistema, tuvimos que habilitar un equipo de trabajo con laboratorio dedicado al manejo y control de calidad de las aguas de Mina Invierno.

También tenemos monitoreo de calidad del aire (Figura 28), porque cuando inicialmente partimos, nuestros detractores indicaban que se iba a producir tal cantidad de emisión de material particulado que iba poco menos que sepultar las praderas de la Isla. La verdad es que nosotros hemos monitoreado y teníamos una norma de referencia que establecía como umbral 200 mg/m²/día para el material MPS y todos los monitoreos demuestran que ni siquiera alcanzamos a la mitad de esos valores. Esa es una norma de referencia de Suiza porque no hay norma chilena para material particulado sedimentable.



Figura 28

Respecto a lo que es rehabilitación ambiental (Figura 29), nuestro compromiso fue evidentemente por cada Ha cortada de bosque o bosquete, reponer una Ha, con la diferencia que se nos impuso de que cada Ha tenía que contener una densidad de 2.000 plantas por Ha y tener un prendimiento mínimo de un 75%. Nosotros hemos plantado poco más de 300 Has, obviamente cumpliendo con las 2000 plantas/Ha y hemos tenido un prendimiento superior al 90%. Para ello tuvimos que habilitar unos invernaderos que importamos desde Francia, en los cuales tenemos una capacidad de producción de 250 mil plantas/año.



Figura 29

Aquí ustedes pueden ver el proceso. Hay una foto superior que muestra cómo van creciendo estas plantas. Todas estas

plantas que ustedes ven ahí tienen su origen en semillas que hay que ir a capturar a los bosques acá en Isla Riesco. Luego se realiza un proceso de selección de las semillas, se plantan en estos estuches Patrick, con una cantidad adecuada de material nutriente y así van creciendo, con riego, luz y temperatura controlada en los invernaderos, donde permanecen un año, después las sacamos a lo que se llama un sombreadero, vale decir las plantas quedan expuestas a la temperatura natural y todas aquellas plantas que sobreviven el invierno, al año siguiente se plantan a mano en terreno.

Otro compromiso era el de minimizar los volúmenes de material estéril (Figura 30) que se depositan en el exterior y para ello comprometimos hacer relleno interior, una vez que habíamos extraído el carbón, dejando un especio de seguridad entre el frente de trabajo y el pie de botaderos interiores. Alcanzamos a hacer un 15% de relleno interior. Vale decir alcanzamos a depositar al interior de rajo aproximadamente, 12,5 millones de mt³.



Figura 30

Para lo que es botaderos exteriores, el compromiso fue hacer revegetación y aquí ya hemos avanzado en 85 Ha revegetadas (Figura 31). Para ello, una vez que que el botadero alcanzaba una altura máxima de 60 metros sobre el terreno natural, tenemos que generar taludes cuyo ángulo no supere los 26° para posteriormente incorporar capa vegetal y sobre esa capa hacer la plantación de semillas de pasto mediante hidrosiembra. Es una técnica que hemos perfeccionado bastante y ha sido muy exitosa.



Figura 31

Como dije anteriormente, en algún minuto también las aprensiones fueron que el material particulado generado por la Mina Invierno iba a afectar la calidad de los pastizales de las praderas vecinas y con ello la actividad ganadera de la Isla. Atendido eso, nosotros siempre dijimos que era posible compatibilizar la minería con la ganadería cosa que habíamos visto en otras experiencias fuera de Chile, como Australia y Nueva Zelanda.

Pues bien, nosotros dijimos, hagamos lo mismo y demostremos que nuestra operación es compatible con la ganadería y fue así como, a través de un contrato de **mediería** hicimos una sociedad con un ganadero regional y llegamos a tener 1.800 vacunos, 600 ovinos inclusive alguno de estos animales se han ganado premios en Expogama acá en la región de Magallanes (Figura 32).

Nuestra vinculación con la sociedad evidentemente tenía como foco relevante, entre otros, la educación, la cultura y el deporte.

En educación generamos un Programa en el cual nos involucramos con el Instituto Don Bosco y con el Instituto Santo Tomás (Figura 33). Ahí dimos espacio a prácticas de vacaciones y finalmente terminamos dando también espacio para trabajar a jóvenes egresados más destacados, llegando a tener 25 exalumnos del Instituto don Bosco trabajando en el área de mantención en Mina Invierno.

Hicimos un Programa de Educación sobre la parte medioambiental, trajimos aproximadamente 600 alumnos de 24 establecimientos a conocer cómo era el proceso de



Figura 32



Figura 33

generación de plantas en nuestro invernadero y cómo hacíamos el proceso de revegetación (Figura 34).

En el deporte (Figura 35), hicimos 6 o 7 campeonatos Copa Invierno, en la cual terminamos involucrando a 1590 alumnos, más sus familias, un Campeonato que era muy demandado por los colegios de Punta Arenas.

En la parte cultura (Figura 36), generamos varios libros, dentro de ellos "El carbón en Magallanes. Historia y Futuro", libro que fue escrito por don Mateo Martinic, premio nacional de historia. También hicimos un libro de muy alta calidad "Isla Riesco: La naturaleza y el hombre", por Claudio Almarza, naturalista y fotógrafo que también ha realizado publicaciones para el National Geographic.



Figura 34



Figura 35



Figura 36

Esta foto en particular (Figura 37), es muy importante. Como parte de nuestra integración con la comuna de Río Verde, contribuimos a una idea que no fue nuestra, fue idea de la Municipalidad de Río Verde, pero que contó con todo nuestro apoyo. Y fue el apoyo a la alfabetización digital. Esas personas que ustedes ven aprendiendo a usar un computador son algunos ganaderos, unos estancieros y trabajadores de estancias, y estuvieron acá en Mina Invierno aprendiendo y perdiéndole el temor a poner los dedos sobre el teclado de un computador.



Figura 37

La capacitación (Figura 38), fue una tarea muy importante en Mina Invierno, porque nosotros tratamos de incorporar a la operación el máximo número de personas que fueran de la región y aquí evidentemente no había una gran experiencia de lo que es manejo de grandes equipos mineros ni tampoco su mantención, por lo tanto, compramos un simulador de camiones para capacitar a nuestros operadores. Capacitamos hombres y mujeres; la operadora estrella de palas 6060 fue una mujer que antes de ingresar a Mina Invierno el móvil más grande que habían conducido había sido un taxi. Obtuvimos un Premio al Desarrollo de Capital Humano otorgado por INACAP el año 2014.

También impactamos (Figura 39) fuertemente en mejorar la conectividad de Isla Riesco. Aquí aparece una foto de la barcaza "El Pingüino". Era una barcaza que podía transportar máximo 4 camionetas. A nuestra llegada colocamos una barcaza, el ferri "Bahía Azul", en la cual pueden caber hasta 40 camionetas, tiene una capacidad de desplazamiento de 180 toneladas, por lo tanto, todos los estancieros ahora



Figura 38



Figura 39

cuando trasladan sus animales desde la isla al continente para faenarlos o venderlos, evidentemente pueden pasar con camiones cargados con animales, no como antes que tenían que pasar los animales en pié y una vez cruzado el canal Fitz Roy volver a cargarlos con otro camión, lo que se traduce en eficiencia y menores costos en beneficio para los ganaderos de la isla.

También con nuestra llegada se incorporó la telefonía celular y evidentemente durante los años que estuvimos operando, nos hicimos cargo de hacer la mantención de las rutas Y50 e Y560, vale decir mantuvimos rutas de camino de tierra con un muy alto estándar, permitiendo la continuidad de tránsito seguro, especialmente en la época de invierno, en beneficio de todos los vecinos.

¿Cuál fue nuestra importancia en la economía de Magallanes? (Figura 40).



Figura 40

Nosotros teníamos una venta potencial de 200 millones de dólares si hubiésemos pasado una explotación de 4 millones de toneladas de carbón por año. La cifra más alta que alcanzamos fue de aproximadamente 3,9 millones de toneladas en el año 2014.

Nosotros representábamos el consumo entre el 20 y el 25% del petróleo que suministraba ENAP en la región. Hicimos un importante aporte al fisco, incluyendo la compra de pertenencias mineras, pagando a CORFO 64,7 millones de dólares, ahí se incluye la regalía que había que pagar por cada tonelada de carbón extraída y vendida; 4,5 millones de dólares en pago de patentes municipales, 2 millones de dólares por pago de concesiones marítimas.

Es importante destacar en este contexto, que el año 2017 obtuvimos el premio de la SONAMI por nuestra destacada contribución al desarrollo de la industria minera en el país.

A nivel regional (Figura 41), y esto es un ejemplo, el año 2018 nosotros generamos pagos con 228 empresas regionales, 199 eran PyMES o mini PyMES, a las cuales se les facturaron casi 8 millones de dólares y a 29 empresas grandes de Magallanes, poco más de 5 millones de dólares, excluyendo pagos por consumo de combustible.

En cuanto al proceso de incorporación de tronaduras como método complementario de extracción de estéril

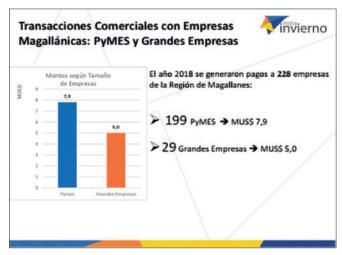


Figura 41



Figura 42

(Figura 42). Aquí voy a abordar el largo proceso que hemos tenido y a la condición a la cual hemos llegado como consecuencia de lo resuelto por el Tribunal Ambiental de Valdivia. Luego de casi 4 años de operación concluimos que era imprescindible incorporar tronaduras, porque había una presencia masiva de areniscas, de una dureza más allá de lo que los equipos podían operar en forma eficiente.

Ejemplo de ello (Figura 43), los equipos nuestros tuvieron fallas estructurales importantes, aquí pueden apreciar una pala 6060, que es un equipo que tiene una capacidad de extracción de estéril de aproximadamente 1.800 mt³/hora con un balde de 34 mt³ de capacidad, un peso de 640 ton. Y ahí ustedes pueden apreciar parte del brazo de la pala que sufrió una rotura catastrófica. El espesor de esa pared que

ustedes ven ahí en la foto ampliada es casi 5 centímetros de acero. Evidentemente fallas de este tipo son catastróficas porque significa sacar un equipo por meses de la operación. Nosotros teníamos 3 de estos equipos operando, por lo tanto, significaba reducir en 1/3 la capacidad productiva de la Compañía.



Figura 43

Iniciamos el proceso de tramitación para incorporar tronaduras, que utiliza menos de 1/3 de la carga habitualmente usada en minería metálica. Partimos en noviembre de 2015 y como ustedes pueden ver esta línea de tiempo aparecen 4 ministros y no es que los ministros duren poco, sino que el proceso de aprobación ambiental ha sido muy extenso. Partimos con el Ministro Badenier, pasamos por el Ministro Mena, la Ministra Marcela Cubillos y la Ministra Carolina Schmidt que todavía está en su cargo (Figura 44).

Aprobamos la declaración de impacto ambiental en julio del 2016, vale decir, en prácticamente 7 meses, un periodo bastante razonable para aprobar una Declaración de Impacto Ambiental en el sistema de evaluación. Nuestros detractores argumentaron que no se les otorgó participación ciudadana, decisión que evidentemente en su momento adoptó el Servicio de Evaluación Ambiental, toda vez que de acuerdo con el reglamento del sistema de evaluación ambiental, dadas las características del proyecto, no correspondía participación ciudadana. Hicieron las reclamaciones ante la Dirección Ejecutiva del SEA, les fue mal y perseveraron en la Corte Suprema y en marzo de 2017 el máximo tribunal dictaminó que había que abrir procesos de participación ciudadana con lo cual se anuló el permiso ambiental que



Figura 44

había obtenido Mina Invierno. Luego de esto, lo hicimos nuevamente, respondimos todas las consultas hechas por parte de participación ciudadana, se obtuvo por segunda vez un informe consolidado de evaluación, hecho por el Servicio de Evaluación Ambiental, que recomendó la aprobación sin condiciones para las tronaduras. Hay que considerar que fue exactamente el mismo proyecto que se devolvió al sistema, operando dentro de la misma área y con las mismas características. Pero en esta ocasión, a diferencia de la anterior, hubo claramente una votación de carácter político y no porque esta sea una interpretación mía, sino porque explícitamente fue dicho y reconocido por quien presidió la comisión de evaluación ambiental que es el intendente regional, que en su momento públicamente dijo que efectivamente la votación de ellos había sido política. En esta ocasión los mismos actores que en julio de 2016 habían aprobado las tronaduras, esta vez en una votación dividida lo rechazaron.

Ante esta situación hicimos una reclamación a la Dirección Ejecutiva; organismo que en septiembre de 2018 aprobó nuevamente el proyecto y acto seguido nuestros detractores levantaron una reclamación ante el Tribunal Ambiental, esto fue en noviembre del 2018. A la semana de ingresada esta reclamación ante el Tribunal ambiental este dictó una medida cautelar que dejó sin efecto la aprobación ambiental teniendo ello como consecuencia que no podíamos hacer tronaduras.

Luego de hacer presentaciones ante el tribunal ambiental, nos autorizaron a hacer una primera tronadura supervisada por la superintendencia de medio ambiente, Sernageomin y también el Consejo de Monumentos Nacionales. Hicimos la tronadura en febrero de 2019 enviándose Informes emitidos por la Superintendencia de Medio Ambiente, incluyendo la opinión técnica de SERNAGEOMIN y del Consejo de Monumentos Nacionales, luego de lo cual nos permitieron hacer tronaduras en la medida que de cada una de ellas se enviara un informe que tenía que ser respaldado por la presencia permanente de paleobotánicos en terreno.

Hicimos 43 tronaduras, una de esas inclusive contó con la presencia e informe de este connotado paleobotánico que trajimos de Japón, Harafumi Nishida. Y ¿por qué trajimos a Harafumi Nishida? Porque precisamente nuestros detractores durante el proceso de participación ciudadana incorporaron como parte de sus preguntas antecedentes que extractaron de estudios que él había realizado en Isla Riesco. No obstante eso, finalmente en agosto del 2019 y previamente haber limitado el uso de tronaduras que comprometían la explotación del 97,5% de las reservas remanentes, el Tribunal Ambiental de Valdivia dictaminó en una votación dividida, que se anulaba el permiso ambiental luego de lo cual, en septiembre del 2019 nosotros presentamos un recurso de casación conjuntamente con el Servicio de Evaluación ambiental para intentar revertir esta decisión tema que aparece acá en la lámina con un signo de interrogación. Este proceso partió en septiembre del 2019, y lo pongo con signo de interrogación porque hasta la fecha, no ha sido nombrado el relator de la causa, vale decir, ha pasado más de un año y aún estamos esperando que esta causa la vea la Corte Suprema.

Las controversias que levantaron nuestros detractores fueron 5, cuatro de ellas se presentan (Figura 45). La primera fue si debió el servicio de evaluación ambiental evaluar el impacto del proyecto tronaduras sobre el cambio climático. Si hubo una evaluación integra del proyecto tronaduras sobre el componente hidrogeológico. Si se subestimaron las emisiones de ruido del Proyecto tronaduras. Si se encuentra fraccionado el proyecto trobaduras respecto al Proyecto Mina Invierno. Todas estas controversias levantadas por nuestros detractores fueron rechazadas por los 3 jueces del Tribunal Ambiental.

Pero hubo una quinta que decía relación con que si faltaba o no información esencial para descartar los efectos del proyecto tronaduras en el componente paleobotánico (Figura 46).

# Controversias: 5 fueron las controversias presentadas por los detractores ante el Tercer Tribunal Ambiental 1. ¿ Debió el SEA evaluar el impacto del Proyecto Tronaduras sobre el cambio climático? 2. ¿ Hubo una evaluación integra del Proyecto Tronaduras en relación con el componente hidrogeológico? 3. ¿ Se subestimaron las emisiones de ruido del Proyecto Tronaduras? 4. ¿ Se encuentra fraccionado el Proyecto Tronaduras respecto del Proyecto Mina Invierno? ✓ Todas estas controversias fueron descartadas de manera unánime por los 3 jueces del Tribunal

Figura 45



Figura 46

Aquí el planteamiento era que nosotros al estar haciendo extracción del material estéril con las palas hidráulicas evidentemente estábamos interviniendo la Formación Loreto, estábamos extrayendo estéril en el cual habían improntas de hojas que es el material paleobotánica de interés y la duda era si al incorporar tronaduras el material se iba a pulverizar y por lo tanto se iba a perder toda la riqueza paleobotánica y no iba a ser posible continuar adquiriendo conocimientos sobre esa materia, trabajo que veníamos haciendo desde el año 2012 y eso fue lo que, todos los organismos técnicos como particularmente el Consejo de Monumentos Nacionales descartaron.

En este caso lo que ocurrió respecto de esta controversia fue que en una votación dividida en que 2 jueces acogieron la reclamación de los detractores y hubo un tercer juez, que era el presidente del tribunal, que lo rechazó. Y esto como les decía, desconociendo las recomendaciones de los reiterados pronunciamientos del Consejo de Monumentos Nacionales y sin considerar adecuadamente los resultados y conclusiones asociados a 43 tronaduras realizadas, las que confirmaron la compatibilidad entre las tronaduras y la exploración de muestras paleobotánicas realizadas por paleontólogos nacionales. Un informe de un especialista en paleobotánica de reconocida trayectoria internacional, Harafumi Nishida, que estuvo en terreno y presenció una tronadura, declaró en su informe que se generaba un círculo virtuoso entre la minería y la investigación paleobotánica. Un informe de la Superintendencia de Medio Ambiente que entre uno de sus párrafos decía que "el tamaño de los fragmentos producidos tras dicha actividad permite evidenciar que no existen mayores riesgos de pérdida de información o daño a material paleontológico respecto de lo generado en las faenas de extracción desarrolladas en forma previa".

Y aquí también destaco que la decisión que tomaron los jueces ocurrió sin haber ido a terreno para conocer la mina, presenciar una tronadura y así corroborar los favorables pronunciamientos de especialistas en paleobotánica y organismos técnicos competentes Y digo esto porque sorprende, por lo menos a mí, que 3 jueces tomen una decisión que tiene las consecuencias que hoy día estamos viendo, sin haberse involucrado lo suficiente para conocer adecuadamente de qué estábamos hablando, y qué estábamos discutiendo.

El rajo en el cual nosotros aplicaríamos tronaduras tiene una superficie menor inclusive a 487 Ha porque esta era la superficie completa bajo la cual está el carbón y ya habíamos intervenido un poco más de 80 Ha. Eso representa el 1,34% de la formación Loreto identificada en Isla Riesco que tiene 36.200 Ha es importante tener en consideración que esta formación presente en Isla Riesco, es una fracción de la Formación Loreto que se extiende entre Tierra del Fuego y Puerto Natales.

¿En qué consistía el monitoreo y prospección paleontológica que nosotros iniciamos el año 2012? (Figura 47).



Figura 47

Aquí trabajamos juntamente con Inach (Instituto Antártico Chileno), que es donde nosotros guardábamos todas estas muestras. Dado que había sectores en los cuales existía una presunción de que podría haber un material paleobotánico después de los distintos sondajes. Cuando llegábamos a esas áreas nosotros teníamos especial cuidado de traer paleobotánicos y que tuvieran acceso al material estéril que se estaba extrayendo. Ellos lo que hacían, miraban el material y de repente encontraban algunas muestras en las cuales había hojas impresas que podían ser recuperadas y catalogadas. Esto se llevaba a un inventario, se preparaban las muestras, se hacía traslado de material fósil, se hacía una descripción y se almacenaba en el Inach.

Las hojas de las que estábamos hablando son hojas de antiguos bosques de lenga (Figura 48). Y ustedes pueden apreciar dentro de algunos bloques de arenisca la impresión de estas hojas. Son hojas de 5 cm. De eso es lo que estamos hablando. Y de estos ustedes comprenderán que como la formación del carbón tiene su génesis en antiguos bosques que fueron sepultados por miles de millones de metros cúbicos de tierra la probabilidad de encontrar estas hojas evidentemente es alta y la repetitividad del tipo de hojas que uno encuentra también es altísimo. Por lo tanto, aquí no se trata de que uno vaya intentando recuperar cada una de las hojas que encuentra. El mismo paleobotánico, al remover el material independientemente de con qué medio lo haga produce una alteración y evidentemente que hay hojas que salen en buen estado y otras no tanto. Y son algunas las que les interesa recuperar, otras evidentemente las descartan.



Figura 48

Aquí tenemos a Harufimi Nishida (Figura 49), trabajando en terreno inspeccionando una tronadura, generando un informe y también declaraciones en las cuales habla, que en su opinión, las tronaduras al fracturar el material generan un número de bloque de distinto tamaño, incrementando sustancialmente la posibilidad de encontrar restos de este tipo de material para su recuperación y análisis científico. Se genera un circulo virtuoso entre la minería y la investigación paleobotánica. Esto dicho por un experto de estatura mundial, un paleobotánico que estuvo en terreno en Mina Invierno, presenciando una tronadura.

Comentario final respecto del fallo (Figura 50). El voto de mayoría, se sustentó en una supuesta falta de información que impediría descartar los efectos adversos significativos sobre los fósiles vegetales o material paleobotánico presente en la Formación Loreto. En cambio, el voto de minoría basado en la misma información argumentó que no había afectación significativa al componente paleobotánico y existiendo medidas de resguardo, protección y rescate de los hallazgos, no cabe si no que conservar la resolución de calificación ambiental. Esa fue la conclusión del tribunal ambiental que nos dejó en la situación en que estamos.

¿Cuáles fueron las consecuencias del dictamen del tribunal ambiental? (Figura 51).

Lo primero, la imposibilidad técnica y operacional de extraer estéril para desarrollar nuevas expansiones, se tradujo en que Mina Invierno no pudo participar en licitaciones de suministro de carbón para el año 2020 lo que nos llevó a paralizar la flota de extracción del estéril en

### Harufumi Nishida: visita Mina Invierno y Laboratorio del INACH; mayo de 2019







¿En definitiva, la tronadura contribuye al hallazeo de muestras paleobotánicas

"En mi opinión, las tronaduras, al fracturar el material, genera un gran número de bloques de distinto tamaño, incrementando sustancialmente la posibilidad de encontrar restos de este tipo de material para su posterior recuperación y análisis científico. Se genera así un circulo virtuoso entre la mineria y la investigación paleobotánica" (247000 Mater 848648)

Figura 49

### Fallo TTA, agosto 2019



5) ¿ Faltó información esencial para descartar las efectos del proyecto Tronaduras en el componente paleobotónico?

### Jueces Michael Hantke Domas y Sibel Villalobos Volpi

Voto de mayoría se sustentó en una supuesta falta de información que impediría descartar efectos adversos significativos sobre fósiles vegetales o material paleobotánico presente en la Formación Loreto.

### Iván Hunter Ampuero; Presidente del Tribunal

Por otra parte, el Presidente del Tribunal Ambiental, en su voto de minoria, ha expresado que con los mismos antecedentes concluye: no habrá afectación significativa al componente paleobotánico de la Mina Invierno, y existiendo medidas de resquardo, protección y rescate de los hallazgos, no cabe sino que canservar la RCA, pues resultará innecesario cualquier evaluación que se quiera efectuar respecto de este componente ambiental, si se llega a las mismas conclusiones.

Figura 50

### Consecuencias del Dictamen del Tercer Tribunal Ambiental



- Imposibilidad técnica y operacional de extraer estéril para desarrollar nuevas expansiones, se tradujo en que Mina Invierno no pudo participar en licitaciones de suministro de carbón para el año 2020.
  - ✓ Paralización de la flota de extracción de estéril en junio de 2019.
  - Paralización flota extracción de carbón en marzo de 2020.
  - ✓ Paralización terminal portuario en abril de 2020.
- Pérdida de 1.000 puestos de trabajo directos en la operación, considerando dotación propia y de servicio de terceros.
- La empresa debió poner en marcha una paralización temporal aprobado por Sernageomín.
- Cierra la puerta al aporte de la ciencia, ya que sin la operación, no será posible continuar aumentando el conocimiento paleobotánico generado desde el año 2012 en Mina Invierno.
- Julio 2020 Directorio toma decisión de proceder al cierre definitivo de Mina Invierno.

Figura 51

junio de 2019, la flota de extracción de carbón en marzo de 2020 y el terminal portuario en abril de 2020 con el último embarque que realizamos.

Se cierra también con esto la puerta a un aporte a la ciencia ya que sin la operación no será posible continuar aumentando el conocimiento paleobotánico. La pérdida de más de 1.000 puestos de trabajo directo de calidad en la operación. La empresa debió poner en marcha un Plan de Paralización aprobado por SERNAGEOMIN y en julio de este año el directorio tomó la decisión de proceder al cierre definitivo de Mina Invierno, independientemente de cúal sea el fallo respecto del cual se pronuncie la Corte Suprema.

Imágenes que hablan por sí solas (Figuras 52 y 53). Aquí ustedes puedan ver fotos de nuestro terminal portuario, el día que se fue el último embarque que fue el 3 de abril del año 2020.

Aquí está la mina absolutamente paralizada (Figura 53). Ahí ven una flota de camiones HD785 que transportaban carbón. La foto inferior derecha la flota de camiones 830, son 15 camiones y nuestras 3 palas 6060 que eran para la extracción y transporte de estériles.

Por esas paradojas de la vida, el lunes 9 de noviembre se inició el traslado de los 15 camiones 830 que fueron vendidos a la Mina Foxleigh, que es una mina que explota carbón en Queensland, Australia. Este país el año 2019 produjo 503 millones de toneladas de carbón, vale decir, el 6,3% de la producción mundial y de las cuales exportó 393 Millones de toneladas de carbón, vele decir el 28% de las exportaciones mundiales (Figura 54).

### Comentarios Finales (Figura 55).

Evidentemente que el carbón seguirá siendo una fuente de energía relevante en el mundo y también presente en la matriz energética chilena. Y estas son conclusiones que uno saca luego de leer informes de la Agencia Internacional de Energía.

La paralización de Mina Invierno evidentemente cierra la puerta a la ciencia, como dije anteriormente, no será posible continuar aumentando conocimiento paleobotánico con la intensidad que se venía desarrollando en Mina Invierno, trabajo que veníamos realizando sostenidamente desde el año 2012.



Figura 52



Figura 53



Figura 54

### Comentarios Finales



- El carbón seguirá siendo una fuente de energía relevante en el mundo y presente en la matriz energética en Chile, al menos por lo que resta de esta década, pero sin utilizar recursos propios.
- El cierre de Mina Invierno se traduce en la pérdida de un importante actor económico, social y ambiental para la Región de Magallanes, comprometiendo la utilización futura de un importante recurso energético: más de 200 millones de toneladas de carbón identificadas solo en Isla Riesco.
- De confirmarse el fallo del Tercer Tribunal Ambiental por parte de la Corte Suprema, se sentaría un delicado precedente que podría limitar el uso de tronaduras en la minería en Chile.

Figura 55

El cierre de Mina Invierno se traduce en una pérdida importante de un actor económico social y ambiental para la región, comprometiendo la utilización futura de más de 200 millones de toneladas de carbón que nosotros teníamos identificadas en Isla Riesco, vale decir el país está condenando con esto el buen uso de un importante recurso minero del país.

Hay que tener presente que aún con la aparición y participación de las Energías Renovables variables y sin nuevos desarrollos de las centrales térmicas, el carbón seguirá siendo importante para entregar un respaldo económico confiable a la matriz de generación eléctrica de Chile. Nuestro país importa anualmente aproximadamente 12 millones de toneladas de carbón.

Y aquí un tema relevante, de confirmarse el fallo del tercer tribunal ambiental por parte de la Corte Suprema se sentaría un delicado precedente que podría perfectamente bien, el día de mañana, limitar el uso de las tronaduras en la minería en Chile.

El mal uso y abuso de la legislación ambiental (Figura 56) acompañadas de instancias de decisión alejadas del ámbito técnico, de una excesiva judicialización y demoras, que desestiman acuciosas y extensas evaluaciones técnicas, terminan causando un daño irreparable a iniciativas de inversión y desarrollo. Es por eso hemos dicho públicamente que Mina Invierno es un ejemplo de libro de cómo se destruye valor en nuestro país.

Muchas gracias.

### Comentarios Finales (continuación)



El mal uso y abuso de la legislación ambiental, acompañada por instancias de decisión alejadas del ámbito técnico, de una excesiva judicialización y demoras, que desestiman acuciosas y extensas evaluaciones técnicas, terminan causando un daño irreparable a iniciativas de inversión y desarrollo.

Mina Invierno, es un ejemplo de libro de cómo se destruye valor en nuestro país.

Figura 56

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

### Sr. Ricardo Nicolau del Roure.

—Muchas gracias, Guillermo, por la exposición muy detallada y completa y que obviamente nos deja cavilando si realmente estamos haciendo lo correcto con estas estrictas y muchas veces incomprensibles medidas ambientales, que por lo que uno puede apreciar de tu exposición, en este caso, obviamente no se sustentarían. Por supuesto es un tema polémico, lo más probable es que haya personas que piensen distinto, pero si uno como ingeniero racional se atiene a los hechos y a la evidencia, por lo menos yo concluyo que tú tienes razón.

Corresponde que don Jorge Pedrals seleccione preguntas, y que tú puedas tener la oportunidad de responderlas.

### Sr. Jorge Pedrals.

—Gracias Guillermo, tu presentación fue muy buena, muy clara. Hay varias preguntas. La primera tiene relación con una foto que mostraste respecto del stock de carbón. A una persona le llama la atención que las persianas que hay, que se muestran al costado, podrían no impedir un material particulado que salga del stock de carbón y que llegue a sectores colindantes. Yo creo que algo dijiste respecto del monitoreo de la calidad del aire. ¿Nos puedes comentar algo?

### Sr. Hernández.

—Esa barrera eólica tiene 12 metros de altura y, adicionalmente a eso, en la zona de exposición al viento, estaba revestida por el interior con una malla raschel muy fina. Todas las mediciones que hicimos de material particulado arrojaron de que no había impacto de ese material de carbón en el exterior y la mejor evidencia de que el resultado de la eficiencia de esa barrera eólica era suficiente, es que luego de 18 millones de toneladas de carbón embarcadas, si uno va al sector del puerto no encuentra carbón ni en el borde de la playa ni en el pasto que está alrededor de la misma.

### Sr. Jorge Pedrals.

—Otra pregunta que me siento un poco tocado, pero te dejo a ti que la respondas. Dice que es claro que el tema paleobotánico debería haberse subsanado dentro del Sistema de Evaluación Ambiental con los trámites habituales que existen, pero que entonces el problema que tuvo el proyecto es en relación con que no logró obtener las licencias sociales para operar, de parte de la comunidad. Y, además, plantea en esta misma pregunta y después te voy a hacer otra que hace la misma persona, si existe alguna autocrítica de parte Mina Invierno respecto de que había planteado que no iba a usar perforación de tronaduras cuando presentó el Estudio de Impacto Ambiental. Entonces tiene dos partes esta pregunta. Una, si se obtuvo o no se obtuvo la licencia social para operar y la segunda ¿qué autocrítica se hace la empresa respecto del uso de tronaduras?

### Sr. Hernández.

—Voy a partir por la segunda, la autocrítica. Evidentemente nosotros cuando hicimos el estudio con todas las muestras de material que tuvimos a la vista, las pusimos en conocimiento de quienes eran los oferentes de las palas y todos ellos, 4 empresas de prestigio mundial dijeron que las palas tenían capacidad de romper el material sin mayores dificultades. La realidad demostró lo contrario. Y en nuestro caso si bien es cierto que nosotros dijimos que no íbamos a utilizar tronaduras, la realidad nos demostró que había que incorporarlas. Pues bien es el propio sistema de evaluación ambiental es el que permite y da herramientas para que uno haga modificaciones a los proyectos. Y fue lo que hicimos, ingresamos al Sistema de Evaluación Ambiental haciendo visible que lo único que estábamos

evaluando en ese minuto eran las tronaduras con todo lujo de detalles. Pero insisto, nosotros lo que hicimos fue hacer la modificación del proyecto y al ingresar al Sistema de Evaluación Ambiental, obtuvimos la aprobación ambiental y que después en la segunda etapa el Servicio de Evaluación Ambiental aprobó. Vale decir, emitió un informe que recomendaba la aprobación de las tronaduras sin condición. Por lo tanto, desde ese punto de vista, creo que el proceso lo hicimos bien, evidentemente si es que si hay una autocrítica, es haber sido demasiado optimistas y haber creído que las palas iban a ser capaces de extraer las areniscas sin vernos enfrentados a los problemas que finalmente tuvimos, y no haber dejado prevista la posibilidad de incorporar tronaduras en el estudio original

Respecto de la licencia social, la verdad que es un tema que da para mucha polémica. Y aquí si uno mira parado desde Santiago, viendo las redes sociales, viendo medios de comunicación, evidentemente que Mina Invierno era uno de los proyectos ambientalmente polémicos a nivel nacional. De hecho, estábamos como uno de los 15 proyectos más polémicos, ejemplo de conflictos socioambientales. Pero cuando uno mira el mundo real y dice ¿cuál es la comunidad directamente afectada, aquella comunidad que podía estar en contra del proyecto? Uno se para acá en la Isla y ve que el vecino más cercano a nosotros está a 4 kilómetros de distancia, donde vive un matrimonio con un cuidador, 3 personas. Entonces cuando uno escucha que se hacen estos rechazos o evidencia de rechazo al proyecto, el mundo real en Punta Arenas mostraba que se juntaban 20 personas en la Plaza en Punta Arenas. El día que aprobamos el Estudio de Impacto Ambiental; cuando no había más de 30 personas que estaban manifestándose en contra del proyecto. Las encuestas en la región de Punta Arenas, por ejemplo, la última que hicimos en mayo de 2018, se hablaba de que casi el 60% de las personas de la región estaban a favor del proyecto, un 27% eran indiferentes y menos de un 20% estaba en contra o muy en contra. Vale decir, por otra parte, si miramos la comunidad de Rio Verde, estaba plenamente en apoyo de nosotros, con la excepción de nuestros más próximos vecinos.

Vamos a insistir, no había una pérdida de licencia social, al contrario. Quizás si uno hace una autocrítica uno debiera decir, que debimos poner más énfasis en incentivar y motivar a que nuestros propios trabajadores hubiesen sido más activos como embajadores, en mostrar a la comunidad lo que era Mina Invierno en el mundo real, de manera tal de desdibujar esa imagen negativa que con tanta facilidad

se construía a través de las redes sociales con información muchas veces inexacta.

### Sr. Jorge Pedrals.

—Casi no tengo nada que agregar, solo decirte que la medición de esas encuestas las hacíamos mes a mes y las hicimos fácilmente durante 2 años. Una encuesta que hacía la misma gente de Adimark y siempre tuvimos una aceptación a favor del proyecto o indiferencia al proyecto que era cercano a un 80, 85%. Cuando el tema de la licencia social quizá no estaba tan maduro como es hoy día, por lo tanto, claramente la Región completa de Magallanes tenía una alta aceptación del proyecto, que además se había logrado gracias a que todos los colegios, todas las universidades de Magallanes, toda la gente que quiso conocer el proyecto, lo conoció por dentro, por lo tanto, era un proyecto que estaba muy abierto a la comunidad.

### Sr. Jorge Pedrals.

—La misma persona hace otra pregunta y yo la quiero vincular con otro tema que está bien vigente. Dice que la operación de Mina Invierno es moderna y responsable, bastante ejemplar diría, pero lamentablemente explota un recurso que día a día se va volviendo obsoleto y poco y nada tiene que aportar en la búsqueda de una economía verde. Es decir, en su esencia no es un proyecto con demasiado futuro. ¿Qué argumentos se puede esgrimir al respecto?

Y yo además te quiero agregar en eso y poner el tema que estamos discutiéndolo en varios ámbitos que tiene que ver con el proceso de descarbonización actualmente en el congreso, en la Cámara de Diputados que se aprobó hace pocos días atrás, una descarbonización acelerada al 2025 cuando el país lo tenía programado al 2040. Entonces, ¿es un proyecto que no tenía futuro, si estuviera resuelto el tema de las tronaduras y el tema paliobotánico? ¿Cómo lo vinculas al tema de la descarbonización en Chile?

### Sr. Hernández.

—Lo primero que diría es que las cosas hay que analizarlas en un contexto un poco más amplio. Si uno se para, por ejemplo, cuando nosotros dimos origen al proyecto. Recordemos que veníamos saliendo de la crisis del gas, que Chile tuvo cortes de energía eléctrica y que aceleradamente se construyeron algunas centrales termoeléctricas. Ahora, adicionalmente a esto, si uno mira lo que ha sido el aporte del carbón a la matriz eléctrica nacional. Si nombro cifras del año 2018, que no son muy distintas a las del 2019, el 39% de la generación de energía eléctrica en Chile fue en base a en base a carbón. A nivel mundial no es muy distinto, 37,8%. Por otro lado, si uno mira las proyecciones de la Agencia Internacional de Energía, solamente lo que significa generación para generación de energía eléctrica, dependiendo del escenario en que se desarrolla, y de cómo evolucionan los compromisos medioambientales en los distintos países, la presencia del carbón que proyecta la Agencia Internacional de Energía iría entre un 33% a un 5,3% en la generación de la energía eléctrica mundial hacia el año 2040, dependiendo si el mundo sigue aplicando las actuales técnicas de generación de energía o bien intensifica fuertemente el uso de recursos renovables variables como la energía solar, la energía eólica. Pero también, y muy importante, si es que se hace una intensiva campaña de eficiencia en el uso de la energía, solo en ese escenario, hacia el 2040 el carbón podría tener una presencia entre un 5 y un 10% en lo que es generación de energía en el mundo.

Particularmente, con la presencia de la COP 25 nos vimos inundados de información que transformaron el carbón en una mala palabra, pero también ayuda en eso el que hay mucho desconocimiento de cuál es la relevancia que el carbón tiene en la generación de energía eléctrica y como energía primaria en el mundo. Como he dicho antes, la descarbonización es por todos deseable, pero con una gradualidad debe estar dirigida por la racionalidad y el pragmatismo.

### Sr. Jorge Pedrals.

—Por esas casualidades, yo hace pocos días atrás organizamos una reunión con varios expertos eléctricos, justamente para entender el tema del proceso de descarbonización, la aceleración del proceso de descarbonización. Tuvimos una reunión ayer y lo que nos decía esta persona muy especialista muy entendida, que el plan que hizo Chile al 2040 es un plan que tiene mucha racionalidad, tiene mucho soporte y además es un plan que en ese lapso permite que el país se vaya ajustando gradualmente a esto. Y cuando aparece el trámite de descarbonización acelerado al 2025 la opinión de esta persona era que era un plan acelerado que no tenía

ningún sustento y uno puede ir al informe de Coordinador Nacional Eléctrico, que es un ente independiente que hizo llegar a la Cámara de Diputados la semana pasada un informe respecto a este tema y plantea justamente que las consecuencias de una aceleración de la descarbonización al 2025 va a tener un serio impacto en las cuentas eléctricas y también en la estabilidad del sistema, porque van a subir los precios marginales de la energía. Y para las personas que creen que con las licitaciones hechas hace algún tiempo atrás con tarifas eléctricas más bajas se va a subsanar ese tema, no es efectivo, porque los precios de esas últimas licitaciones justamente se apoyan en una componente termoeléctrica que tiene el parque nacional. Y lo que planteaba esta persona, la pregunta que le hacíamos idel 2040 se puede acelerar? él decía "yo creo que sí, yo creo que se podría acelerar al 2035, que no habría dificultades, incluso al 2030 podría acelerarse el proceso de descarbonización, pero claramente que al 2025 y lo corrobora el informe del Coordinador Nacional de Eléctrico que está disponible en su página de internet, lo puede bajar cualquier persona, dice que vamos a tener dificultades y que básicamente tienen que ver con una competitividad del país en estos temas, en estas materias.

Dos consultas, ¿tú crees que es posible transformarla en una Mina Escuela lo que se hizo? Y la otra pregunta es, dada la venta de los camiones, más que de las tolvas, ¿significa que entregaron la oreja, que no hay una intención de tratar de reactivar el proyecto?

### Sr. Hernández.

—La decisión adoptada por el directorio, luego de todas estas interferencias que hemos sufrido, en que no hemos podido desplegar la potencialidad del proyecto Mina Invierno, definitivamente es "bajar la cortina". Independientemente de la inversión realizada, hoy día no se ve tranquilidad para seguirse proyectando y por lo tanto la decisión fue cerrar.

Ahora respecto la pregunta sobre escuela. Claramente no podemos seguir operando, entonces no veo cómo podríamos hacer escuela dentro de lo que es la minera propiamente tal. Sí estamos disponibles para mostrar lo que fuimos capaces de hacer, y compartir nuestra experiencia. Tenemos mucho material gráfico que puede ser utilizado para poder mostrar y enseñar. Aquí no lo he hecho por las limitaciones de tiempo.

### Sr. Jorge Pedrals.

—Otra pregunta: ¿Qué va a pasar con todas las instalaciones complementarias? ¿qué va a pasar con los invernaderos? ¿qué va a pasar con ese conocimiento que se adquirió respecto de un tema que en Chile también es un gran tema que la reforestación del bosque nativo es un desafío gigantesco? Recordemos los incendios que hubo en las Torres del Paine y no son muchas las empresas que han tenido éxito en la reforestación de bosque nativo. Entonces, ¿qué va a pasar con todo ese conocimiento?, ¿dónde queda?, ¿qué pasa con eso?

### Sr. Hernández.

—Bueno, primero respecto de lo que es el cierre. Nosotros hoy día estamos elaborando el Plan de Cierre definitivo en que tenemos plazo para presentarlo a Sernageomin hasta marzo del próximo año. El objetivo que buscamos en este "cierre racional", evidentemente apunta a minimizar el desmantelamiento de instalaciones, considerando que estas pueden tener un futuro uso alternativo. Cómo, por ejemplo, y sin que esta sea una decisión tomada, está el taller de mantención que el día de mañana puede ser transformado en un galpón de esquila. Alguien dirá cómo se le ocurre este galpón para esquilar ovejas. Bueno, dado que está construido puede dársele ese uso.

Hay un centro de alojamiento de lujo, que el día de mañana puede ser utilizado para turismo. Ahora bien, eso es para poner solo unos ejemplos.

Ahora, en lo que dice relación con el cierre, también uno tiene que pensar que esto no es que en marzo uno presenta el plan de cierre se lo aprueban en un periodo razonable, se cerró la cortina y nos fuimos. No, aquí hay una serie de tareas, compromisos que van vinculados al plan de cierre que nos va a tomar tranquilamente unos 3, 4 años en poder terminar. Vale decir aquí los socios que están involucrados en esto buscan evidentemente hacer las cosas bien. Y eso va a significar que vamos a terminar de reforestar, vamos a terminar de revegetar. etc. Siempre con el foco en el cuidado ambiental.

Ahora, respecto al conocimiento como menciona Jorge, es importante hacer presente que desde un inicio fuimos asesorados por el Dr. Jim Burger, profesor emérito de Virginia Tech y el Dr. Eduardo Arellano de la Facultad de

Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile, por lo tanto, estamos preocupados de hacer un libro en el cual todo este conocimiento quede recogido para después poder difundirlo.

También es importante destacar que asociado a las actividades de reforestación, se generó un círculo virtuoso que dio espacio para que investigadores y estudiantes de las carreras de Agronomía e Ingeniería Forestal, del Magister de Recursos Naturales y del Doctorado de Ciencias de la Agricultura de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal y del Center of Applied Ecology and Sustainability (CAPES) de la Pontificia Universidad Católica de Chile, desarrollaran 4 tesis de grado, 3 tesis de magister y una tesis de doctorado en materias relacionadas con recursos naturales, ingeniería forestal y ciencias de la agricultura, basados en la experiencia de reforestación desarrollada en Mina Invierno.

### Sr. Jorge Pedrals.

—Conforme a tu presentación, iesto quiere decir que el material paleobotánico que es lo que se quiere proteger por el tribunal ambiental va a quedar sepultado para siempre y no se podrá seguir estudiando? Esa es una pregunta y la otra es ¿tiene algún uso ese material paleobotánico enterrado?, o suena ridícula la pregunta, pero pareciera que lo tuviera porque como no se quiere tocar y se quiere cuidar.

### Sr. Hernández.

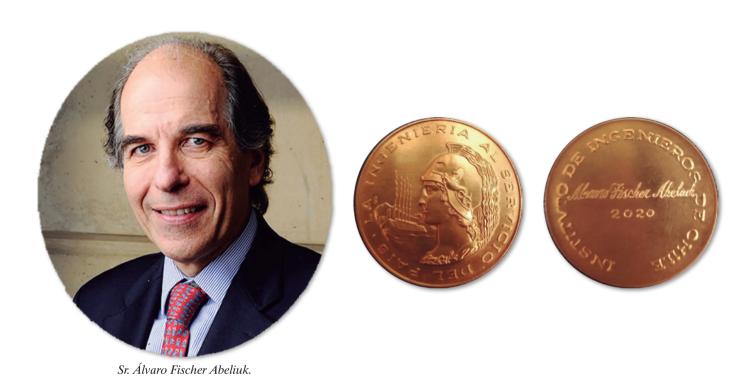
—El material paleobotánico que está en el Rajo de Mina Invierno es como un Tesoro que uno supone existe, pero después nadie va a tener posibilidad de verlo para corroborar que efectivamente esté. No estando Mina Invierno haciendo una explotación en minería con alto estándar ambiental como lo hemos hecho, la probabilidad de que se siga desarrollando o teniendo acceso al yacimiento de manera tan masiva como fue la oportunidad que nosotros pudimos generar no va a existir. Ahora, eso no significa que no se siga haciendo investigación paleobotánica, pero esta va a ser con la capacidad que una persona, y discúlpenme el ejemplo, sea capaz de hacer con la pala y una picota para encontrar material y encontrar vestigios paleobotánicos;

Muchas gracias.

Fin de la conferencia.

## PREMIO "MEDALLA DE ORO AÑO 2020"

Al Sr. Álvaro Fischer Abeliuk



El pasado miércoles 28 de octubre de 2020 a las 11:00 horas vía Zoom, se realizó la ceremonia de entrega del premio "Medalla de Oro – Año 2020" a don Álvaro Fischer Abeliuk, máximo galardón de la ingeniería chilena.

El Presidente del Instituto, Sr. Ricardo Nicolau del Roure, dio inicio a la ceremonia refiriéndose a las especiales circunstancias que este año obliga a realizar la ceremonia en forma online, 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 Jorge Yutronic F.

### El Presidente.

—Hoy 28 de octubre, el Instituto cumple 132 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 en el año 1888, 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 tempranamente en la década de los 30 en informes escritos con la política eléctrica chilena y el plan de electrificación del país; la propuesta de creación de ENDESA también propuesta por el Instituto de Ingenieros y más tarde para las telecomunicaciones de ENTEL; los estudios base del primer código de aguas, luego la política nacional de riego, la ley de medio ambiente y más recientemente solo en las últimas semanas hemos publicado un informe sobre ingeniería Biomédica, ciencia de insospechada proyección para el futuro de la salud del país y del mundo. Y también publicamos el informe "Glaciares. ¿Qué queremos proteger?" tema de extraordinaria relevancia actual y en discusión en el congreso de la nación. Lo que muestra que el Instituto con 132 años a cuestas continúa muy activo y fiel a sus principios fundacionales.

Es importante destacar que estos estudios son el fruto del esfuerzo de grupos de trabajo de profesionales altamente calificados que se reúnen para estudiar las materias que el directorio del Instituto ha estimado como relevantes para el desarrollo del país y de la ingeniería.

Por otra parte, dentro de sus actividades, nuestra Corporación tiene también entre sus labores más importantes, el reconocimiento a aquellos ingenieros que se han destacado por sus contribuciones a la profesión y a la sociedad.

En el día de hoy se da término al proceso de elección y premiación que realizamos cada año, entregando hoy nuestro más importante galardón, la Medalla de Oro en el día del aniversario del Instituto.

Esta ceremonia, tradicionalmente solemne, se celebra en el Salón de Actos de nuestra Sede, pero por las especiales circunstancias que actualmente vivimos, estamos obligados hacerlo por este medio telemático, que esperamos no impida 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 y 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 el año 1931, y que incluye los más selectos ingenieros que ha producido este 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 designa anualmente 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, quienes reunidos en sesión solemne y votación secreta disciernen la persona del premiado. Cabe destacar que los candidatos no tienen que ser socios, basta que sean ingenieros civiles titulados con más de 40 años de profesión.

Este año, al otorgar la Medalla de Oro del Instituto de Ingenieros a don Álvaro Fischer Abeliuk, hacemos honor, por una parte, al aludido prestigio que precede a este galardón, y por otra, a su enriquecimiento, con la incorporación de otro ingeniero de excelencia este exclusivo grupo. Su nombre ya ha sido incorporado en el panel que se luce en el Salón de Actos de nuestra sede.

Una de las tradiciones más respetadas y queridas de nuestra institución es que se delega el honor de presentar formalmente a nuestros premiados, al galardonado con la distinción el año anterior. En esta ocasión, le corresponde a don Jorge Yutronic, premio Medalla de Oro 2019, hacerlo.

Pero antes de darle la palabra al Sr. Yutronic, quisiera, como Presidente del Instituto, manifestarle a Álvaro Fischer, 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 premio que hoy recibe, expresando a la vez una legitima satisfacción porque sus merecimientos le están siendo reconocidos en esta ocasión por nuestro Instituto.

Estimado Álvaro, un afectuoso abrazo virtual.

Muchas gracias.

### Sr. Jorge Yutronic F.

—Señor Ricardo Nicolau del Roure Presidente del Instituto de Ingenieros, señor Álvaro Fischer Abeliuk Premio Medalla de Oro 2020 del Instituto, familiares, amigos y colaboradores de Álvaro, estimados colegas.

Es un agrado dirigirme a ustedes y presentar a nuestro premiado en esta ceremonia tradicional.

Álvaro encarna una combinación notable entre la Ingeniería y el afán intelectual de una mejor comprensión de los fenómenos humanos.

Hijo de Exequiel Fischer y de Ana Abeliuk, ambos provenientes de familias europeas y hermano de Ricardo y Marcela, creció en un ambiente familiar orientado al conocimiento y a la superación personal.

Con su esposa Ximena Katz – Médico – formaron familia, unidos además por una gran sinergia intelectual. En ese hogar fértil se nutrieron sus hijos Claudia, Benjamín y Daniela.

Álvaro demostró desde niño su motivación por las matemáticas.

Influido por su madre hacia los pensamientos más abstractos como la filosofía y por su padre hacia la naturaleza y las actividades más aplicadas, logró su propia síntesis en la ingeniería ya que le permitía articular ambas visiones brindándole libertad para actuar.

Realizó su educación secundaria en The Grange School y la educación superior en la Universidad de Chile donde cultivó la Ingeniería Matemática con profundizaciones en Ingeniería Industrial. Por cierto, una combinación muy adecuada para abordar algunos desafíos urgentes del desarrollo económico del país. En particular, en aquellos años. De hecho, su tesis la realizó en Gestión de Portafolios.

Personas destacadas impactaron en su comprensión de los horizontes de los desempeños de las personas.

Entre ellas, el astrofísico Jorge Melnick, el científico Igor Saavedra, el ingeniero Arturo Arias. Con gran profesionalismo en sus respectivos campos a la par de su amplitud cultural y de intereses, ellos hicieron evidente a Álvaro que es posible avanzar bastante más lejos que el mero ejercicio profesional en un ámbito determinado.

Algunos hechos singulares han marcado su vida.

Inmediatamente obtenido su título de la Universidad Chile, con su amigo Raúl Alcaíno lograron el primer premio en una convocatoria del Colegio de Ingenieros, con un proyecto sobre la resina del pino insigne.

Álvaro y Raúl se asociaron y dieron origen a la empresa RESITER, que ha perdurado en el tiempo consagrándose como actor relevante en el manejo y tratamiento de residuos industriales. Tema clave para abordar el desarrollo sostenible de Chile y América.

También, ha desarrollado su actividad como ingeniero emprendedor en otros ámbitos públicos y de personas, desde la recolección de basuras y la limpieza hasta los servicios de salud. Asimismo, como miembro de Directorios de empresas e instituciones.

Esto da cuenta de la riqueza de sus intereses y capacidades.

Mientras avanzaba en sus realizaciones en el mundo profesional y empresarial, Álvaro mantenía su inquietud intelectual sobre el fenómeno humano.

Otro hecho singular, ocurrido aproximadamente en 1994, vino a catalizar este interés. Un relato en The Economist referido a una publicación sobre el denominado "dilema del prisionero" y la reciprocidad, le hizo apreciar cómo

las disciplinas científicas contribuyen a la comprensión del comportamiento humano.

De aquí en adelante, Álvaro aceleró su propio camino Intelectual, transitando desde la curiosidad diligente a la actividad sistemática sobre cómo actuamos las personas y las evidencias científicas que lo explican.

Con su dedicación reflexiva ha contribuido con varias iniciativas tan necesarias en un país como Chile. Entre ellas: la Fundación Ciencia y Evolución, la Senda de Darwin y diversas acciones de divulgación de pensamiento y de formación de opinión pública.

Especialmente reflejadas en sus libros "La mejor idea jamás pensada" y "De naturaleza liberal".

Con este breve relato podemos caracterizar el despliegue de Álvaro y su obra, como: un ingeniero por formación, un emprendedor por profesión y un hombre curioso, explorador y cultivador de ideas en lo intelectual.

Álvaro ha logrado construir una convergencia entre estas rutas emprendedoras e intelectuales: el mundo de la innovación. Una magna síntesis que pocas personas pueden exhibir. Con ello, presidió la Fundación Chile y ahora preside el Consejo Nacional de Innovación.

Valoramos las contribuciones de Álvaro Fischer Abeliuk como ingeniero, emprendedor, cultivador de ideas. Y por su contribución a lo público.

El Instituto de Ingenieros de Chile, aprecia el mérito de su obra y su compromiso. Por ello le otorga el Premio Medalla de Oro 2020. Honrando con esta máxima distinción la decisión de sus pares.

Felicitaciones Álvaro, a ti, a Ximena y a vuestra familia.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Después de la presentación, el ingeniero don Álvaro Fischer Abeliuk, recibió de forma simbólica la Medalla de Oro y Diploma de Honor. A continuación, tomó la palabra para agradecer la distinción recibida en los siguientes términos:

### Sr. Álvaro Fischer A.

—Estimado Ricardo Nicolau, Presidente del Instituto de Ingenieros de Chile. Querido Jorge Yutronic, past President del Instituto y Medalla de Oro 2019, estimados miembros del Consejo Directivo y Consultivo del Instituto, queridos familiares, amigos y socios del Instituto presentes en esta ceremonia:

Con mucha emoción recibo la Medalla de Oro, honrosa distinción que me ha conferido el Instituto de Ingenieros de Chile. Este reconocimiento otorgado por los pares, constituye un premio cuyo valor solo ahora, a una edad madura y tras una larga trayectoria de ejercicio profesional, soy capaz de aquilatar en toda su magnitud. Hace 40 años, cuando recién iniciaba mi vida profesional y participación en el Instituto, no comprendía a cabalidad la importancia que los ingenieros de más experiencia daban, año tras año, a la sesión en que su Consejo Directivo y Consultivo escogía al Medalla de Oro de ese año, y luego, a la ceremonia en que el premiado recibía la distinción.

Ahora que tengo una visión más decantada de su significado, lo primero que me nace es agradecer profundamente al Consejo Directivo y Consultivo que votó otorgarme el premio este año. También quiero agradecer a Jorge Yutronic la tan generosa presentación que hizo de mi persona. A Jorge lo conozco desde la Universidad, y compartimos muchas inquietudes y visiones. Como ya dije, recibo este galardón con mucha emoción, pero también con mucha gratitud. Gratitud hacia quienes, de tantas y distintas maneras, contribuyeron a mi formación y desarrollo profesional, e incidieron con sus enseñanzas y consejos para que en esta ocasión haya sido yo el escogido. Desde luego, agradezco a mis padres, que me concibieron, formaron, quisieron y educaron con permanente cariño, y me inculcaron un criterio abierto para apreciar la realidad. A mi esposa e hijos, que constituyen el núcleo afectivo de mi vida, alimentan emocionalmente mi espíritu y le dan un sentido de trascendencia a mi existencia.

En esta ocasión, también me gustaría hacer un especial recuerdo del ingeniero Raúl Alcaíno Silva, quien fuera mi mentor en el Instituto, que me impulsó a participar en él, me transmitió la importancia de su labor y me convenció de la satisfacción que genera aportar al desarrollo del país desde esta plataforma. Don Raúl fue Presidente del Instituto en dos ocasiones y, además, es, fue, el padre de

Raúl Alcaíno Lihn, el nuevo y flamante Presidente del Colegio de Ingenieros de Chile, con quien me une una larga y fructífera amistad, compartida además a lo largo de nuestra trayectoria profesional y empresarial desde hace más de 40 años, cuando egresamos de Beaucheff, la querida escuela de ingeniería de la Universidad de Chile.

Cuando en 1982 fuimos con Raúl y el Presidente del Instituto de entonces, Carlos Campino, a la reunión anual de la UPADI, Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros, en Puerto Rico, Don Raúl padre nos organizó una cita con Modesto Collados, Medalla de Oro de este Instituto, para que nos preparara para la discusión sobre "Códigos de Ética" que tendría lugar en la UPADI. Don Modesto nos enseñó que los tres pilares en que se funda la actuación del ingeniero son la Lógica, la Técnica y la Ética, y que esta última tiene poder de veto sobre las otras dos.

Un poco después, bajo la presidencia de Don Sergio Silva Bascuñán, y como secretario de su Comité Ejecutivo, Don Sergio me pidió encargarme de las reparaciones que requería la sede del Instituto luego del terremoto del 3 de marzo de 1985. Ese trabajo consolidó mi cariño por el Instituto y su viejo edificio de San Martín 352. Uno de las estructuras más dañadas fue la galería norte del tercer piso del salón de Actos, lugar donde tradicionalmente tiene lugar esta ceremonia. Por eso, el que estas palabras no las pronuncie allí, sino desde mi lugar de trabajo, me resulta doblemente extraño y azaroso. Para recordar la tradición, quise poner como pantalla de fondo de mi computador el muro del Salón donde se encuentra el panel de galardonados con la Medalla de Oro, que siempre ha simbolizado esta ceremonia, pero mi Mac no tiene el procesador apropiado para ello. Queda, lamentablemente, como un deseo frustrado.

También, el Instituto me dio la oportunidad, temprano en mi vida ingenieril, de conocer e interactuar con quienes yo consideraba próceres de la profesión. Fue un aprendizaje de incalculable valor para mi posterior desarrollo profesional y humano. Se vienen a mi memoria innumerables conversaciones –a veces en las sesiones de directorio y otras en los almuerzos mensuales del Instituto en el Club de la Unión– con ingenieros de la talla de Raúl Espinoza Wellman, Efraín Friedman, Raúl Sáez, Fernando Léniz, Pablo Pérez Zañartu, y tantos otros, que iluminaron mi entendimiento sobre las diversas facetas en que se desenvuelve el trabajo profesional.

Gran impacto tuvo en mi vida, las sesiones en las que preparamos, con muchos de esos próceres, la celebración del centenario del Instituto, en 1988, la que culminó en un gran seminario con expertos chilenos venidos de varias partes del mundo.

Seguramente por eso, cuando en 1998 el Instituto cumplía 110 años y yo era su vicepresidente, tuve la idea de invitar a Chile al descubridor de los quarks y Premio Nobel de Física, Murray Gell-Mann, para que hablara de la Ciencia de la Complejidad a la comunidad ingenieril e intelectual del país. Pude concretarla gracias al apoyo que recibí de Roberto Fuenzalida, en ese momento presidente del Instituto. Luego, cuando en 2000 me tocó presidirlo, organicé para el año siguiente un gran seminario titulado "Nuevos Paradigmas a Comienzos del Tercer Milenio", con la participación de grandes intelectuales, científicos y filósofos, para lo que conté con la ayuda de muchos socios del Instituto, entre los que quisiera destacar a Jorge Cauas, también Medalla de Oro del Instituto, cuyas ideas y apoyo resultaron claves para el éxito de la iniciativa, y para que su contenido quedara plasmado en un libro del mismo nombre. No puedo sino destacar la permanente e invaluable colaboración en la organización del seminario y la concreción del libro, del gerente del Instituto, Carlos Gauthier, así como la de todo el personal del Instituto. Mi deuda de gratitud con Carlos y su equipo es y será permanente. Por lo demás, la diligencia con que Carlos ha llevado las riendas de la institución en los últimos 25 años lo ha transformado en un pilar de ella.

Ahora, si me permiten, quisiera aprovechar esta oportunidad para hacer una reflexión más allá de la vida del Instituto. Quisiera referirme a este particular año 2020, que para la humanidad quedará marcado por la pandemia de covid-19 y para nuestro país por el plebiscito del pasado Domingo 25 de octubre.

Respecto de la pandemia, como lo expresé en un artículo que escribí para la revista Anales de la Universidad de Chile, se trata de un fenómeno que no es ajeno a la historia humana, ni menos a la historia de los organismos vivos. Dependiendo si se la analiza macroscópica o microscópicamente, la biósfera puede ser considerada como un gran ejercicio cooperativo o como una despiadada competencia. A escala macro, la mutua dependencia de los diferentes organismos entre sí, y en la que estos basan su subsistencia, ilustra su aspecto colaborativo: la flora microbiana que habita nuestro sistema digestivo y nos ayuda a sobrevivir, tiene, a

su vez, como hogar, a ese sistema digestivo; los sistemas de predadores y presas, complejamente interconectados entre sí, constituyen cadenas tróficas en ecológico equilibrio; la mutua dependencia de animales y vegetales, los primeros alimentándose de los segundos, y estos utilizando el CO<sub>2</sub> que liberan los primeros para efectuar la fotosíntesis que los mantiene vivos, es otra muestra de colaboración.

Pero, por otra parte, a nivel micro, la permanente lucha que libran los patógenos que atacan a los distintos hospederos en los que habitan y florecen, genera una carrera armamentista de adaptaciones, cuya batalla se despliega a nivel genético por selección natural. Es lo que ha ocurrido entre los coronavirus y los humanos. Nuestra especie ha llevado esa carrera más allá de las adaptaciones genéticas, utilizando al conocimiento científico y la tecnología para combatirlos, ya sea farmacológicamente, o, por medio del distanciamiento social digitalmente controlado, que disminuye la velocidad del contagio.

Hay tres aspectos que muestran el impacto que esta pandemia ha tenido sobre la humanidad, los que, a su vez, ilustran facetas específicas del comportamiento humano.

En primer lugar, el miedo al contagio, que ha caracterizado la reacción inicial de las personas en casi todas partes. El psicólogo social y moral Jonathan Haidt, quien trata las emociones y sentimientos morales humanos en su libro "The Righteous Mind", indica que la respuesta evolutiva de la especie al desafío adaptativo de vivir en un mundo plagado de patógenos y parásitos, es el instinto de evitar aquello que tenga aspecto impoluto, sucio o podrido, por medio de la emoción del asco o el disgusto. El antropólogo Pascal Boyer, adjudica a ese rasgo humano el que casi todas las religiones –probablemente de manera inconsciente– pongan tanto énfasis en la polución y la limpieza, así como en el lavado de manos y cuerpos.

Así se entiende qué al interior del repertorio de emociones morales humanas, el miedo al contagio tenga un origen evolucionario, y por eso es tan prevalente entre las personas y tan difícil de evitar sentirlo. De allí que, la población de los distintos países, tiendan a sentirse protegidas cuando los gobiernos decretan cuarentenas, y miren con reticencia cuando estos pretenden levantarlas.

En segundo lugar, la pandemia nos ha permitido constatar la intrincadísima interconexión en la que se desenvuelve la economía mundial. En efecto, en la enmarañada complejidad de las economías contemporáneas, las personas se levantan en las mañanas a realizar sus actividades sin preocuparse por su alimentación, pues asumen, sin siquiera estar conscientes de ello, que otros estarán cultivando, empaquetando, industrializando y transportando los alimentos necesarios para su ingesta, que pueden luego comprar con extrema facilidad. A su vez, quienes participan en la cadena alimenticia, confían que otros serán los que estén preocupados de la provisión de energía, de hacer funcionar los celulares, el internet, los sistemas de pago, y así sucesivamente.

Esta intrincada red de intercambios, basada en la división del trabajo, es la que permite que las personas puedan consumir bienes, recibir servicios, informarse, entretenerse o cultivar el intelecto. Se funda en el trabajo coordinado de todos, sin que haya un comando central que los coordine ni menos que los controle, salvo un sistema institucional que regula los intercambios, protege los derechos y arbitra los conflictos.

Esta pandemia, súbitamente dio relevancia al invisible entrelazamiento que presenta el funcionamiento de la economía. El que se haya impuesto el distanciamiento social para combatir la pandemia, y se haya impedido que el trabajo normal de cada uno siga operando con fluidez, fue lo que disruptó gravemente la vida de las personas. De pronto quedó claro que, la subsistencia de las sofisticadas economías del Siglo XXI, requieren de la interdependencia de todos los miembros de la especie. Nadie es autosuficiente. La constatación de esa realidad, y de las nefastas consecuencias que resultan cuando ella se disrupta, es una de las clarificaciones que ha traído la pandemia, y que más consecuencias ha provocado.

Finalmente, y quizás más cercano a la actividad del Instituto de Ingenieros, esta pandemia relevó de una manera irredargüible la importancia crucial que la ciencia y la tecnología tienen en el mundo contemporáneo.

Las dos formas de combatir la pandemia, la farmacéutica y el distanciamiento social, requieren de conocimiento y aplicaciones científico-tecnológicas para que ese combate resulte eficaz.

En efecto, la secuenciación inicial del virus, lograda a pocos días de descubierto, la identificación de marcadores biológicos que permitieron desarrollar y posteriormente fabricar masivamente los kits de testeo, ya sea del virus



mismo o de los anticuerpos que quedan circulando en la sangre, están basados en conocimiento científico sofisticado y en bío-tecnologías de punta. Lo mismo ocurre con el desarrollo de vacunas y antivirales, que están siendo buscados afanosamente por una multitud de grupos en el mundo, en algunos casos colaborativamente y en otros competitivamente.

A su vez, la fabricación masiva de kits de testeo y de máquinas PCR automatizadas precisa de instalaciones productivas especializadas y de alta sofisticación, que solo equipos de científicos y tecnólogos muy preparados pueden hacer. Asimismo, el distanciamiento social requiere geolocalizar a las personas contagiadas, establecer con quienes ellas estuvieron en contacto, usando aplicaciones digitales que preserven su anonimato, y todo eso necesita de cuidadosos desarrollos de software por parte de grupos tecnológicos experimentados. No hay duda, pues, que la pandemia ha puesto en evidencia la dependencia que tenemos del conocimiento. Por algo se habla en el siglo XXI de la sociedad del conocimiento.

Pero también quisiera referirme en esta ocasión al plebiscito del domingo pasado.

Para quien, como yo, nació en la década de los 50, resulta tan evidente el gigantesco salto que el país ha dado en los últimos 30 años, como inimaginable parecía cuando era un estudiante universitario. La multitud de cifras que conocemos, y que no voy a enumerar para no aburrirlos, así lo refrendan.

Sin embargo, en ese mismo período, y junto con esos éxitos, se fueron acumulando malestares ciudadanos de diversa índole, especialmente entre las generaciones más jóvenes. Ello ha ocurrido, a mi juicio, no porque el país haya fracasado. Por el contrario, esas críticas han surgido justamente por el contraste que esos malestares marcan con el éxito obtenido en tantos otros ámbitos. La generación de chilenos bajo 40 años es la más educada que jamás haya vivido y, por lo tanto, tiene las herramientas para ser más crítica que las anteriores, pero al mismo tiempo, la crítica le resulta más fácil, porque no ha enfrentado los riesgos y problemas de sus antecesores. Conoció un país que solo ascendía y progresaba.

Parte del problema es que la promesa meritocrática implícita en el modelo de desarrollo del país, no se logró cumplir en plenitud. En efecto, a lo largo de los años se fue generando una sensación de que en Chile subsisten bolsones de privilegios inmerecidos, los que se manifiestan en las enormes diferencias en la provisión, calidad y cuantía en educación, salud y previsión, o que ciertos grupos de las élites pueden incumplir las leyes sin que se les castigue como corresponde, o que los políticos financien sus campañas de forma ilegal o corrupta, o que en las Fuerzas Armadas y de Orden haya escándalos financieros, o que se hayan dado casos de colusión en las empresas y estas no sean castigadas como deberían, o que el Estado no entrega los servicios que promete y nada ocurre como consecuencia.

Para las nuevas generaciones, el tejido social se fue hilvanando en una dirección contraria a sus sensibilidades juveniles, y ello fue permeando en la psiquis colectiva del país. La clase política, trabada en disputas ideológicas, no ha querido, o no ha podido, concordar formas para corregirlo. Eso provoca una reacción ciudadana de molestia, acompañada de un juicio moral negativo, que en parte explican el 78% del voto Apruebo. Pero sería un error pensar que ello está ideológicamente fundado, pues tanto el segundo gobierno de Bachelet como el segundo de Piñera, aunque ideológicamente opuestos, perdieron rápidamente apoyo popular luego de elegidos. Hay una insatisfacción que supera las ideologías y que el país necesita enfrentar de una buena vez, porque a medida que pasa el tiempo y las nuevas generaciones se van haciendo más numerosas que las antiguas, el problema solo se agudizará.

Descomprimir las tensiones mediante el rito del voto democrático es un camino civilizado para lograrlo. Si además, se consigue escoger una Convención que redacte una Constitución razonable, el país puede salir de esta crisis fortalecido, y comenzar una nueva etapa de su vida republicana con un renovado espíritu constructivo. La crisis iniciada en octubre de 2019 se habría traducido en una evolución positiva y no en una involución destructiva. Por supuesto que un proceso de este tipo involucra riesgos, sería insensato negarlo. No resulta difícil imaginar escenarios catastróficos. Pero, aun así, no hay que claudicar. Como dijo Winston Churchill: "Un optimista ve una oportunidad en cada dificultad; un pesimista ve una dificultad en cada oportunidad".

Permítanme entonces, queridos amigos, acompañar a Churchill en su mirada, y mantener el optimismo en el destino de nuestro querido país y en sus futuras generaciones.

Y con esa nota de tono más edificante, Sr. Presidente, doy fin a estas palabras, y agradezco nuevamente al Instituto de Ingenieros de Chile el honor con que me ha distinguido.

Muchas gracias.

(Aplausos).

### PREMIO "AL INGENIERO POR ACCIONES DISTINGUIDAS - AÑO 2020"

Al Ingeniero Sr. Juan M. Casanueva Préndez



El pasado 16 de octubre de 2020 se realizó vía Zoom, la ceremonia solemne de entrega del premio "Al Ingeniero por Acciones Distinguidas – Año 2020". Este año recayó en el Ingeniero Sr. Juan Manuel Casanueva Préndez.

Don Ricardo Nicolau del Roure, Presidente del Instituto, inició la ceremonia con una breve intervención relativa a las condiciones especiales de este año, el significado de este premio y explicó el especial merecimiento del galardonado de este año. En seguida, siguiendo la tradición, el Ingeniero Alfredo Moreno C., quien recibiera este Premio el año 2019, presentó una síntesis de los aspectos más destacados de estas acciones distinguidas, en los siguientes términos:

### El Presidente.

—La labor del Instituto, que el 28 de este mes, cumple 132 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 profesional.

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 pocos años después desde su fundación tomó la iniciativa de distinguir a algunos de los ingenieros que se han destacado en determinados aspectos de su ejercicio profesional.

Sin embargo, no debemos olvidar que la mayor importancia que tienen estos reconocimientos es que a través de los mismos, la sociedad y en nuestro caso la comunidad de los ingenieros civiles, proponen un modelo y ejemplo a seguir por las nuevas generaciones de profesionales.

El Premio "Al Ingeniero por Acciones Distinguidas", que se otorga desde 1984, este año ha recaído en don Juan Manuel Casanueva Préndez, y como es nuestra tradición, los atributos personales y profesionales de nuestros homenajeados serán dados a conocer por quien los antecedió en este galardón el año 2019, don Alfredo Moreno Charme, de modo que ello me impide referirme a los especiales merecimientos del galardonado. Sin embargo, quiero decir que lo conozco muy bien porque fuimos compañeros en la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile y hemos mantenido una larga amistad unida al curso por el cual egresamos.

Me parece relevante informar a ustedes los objetivos de esta distinción y los motivos que se invocan para otorgarla. Señala el Reglamento que el Premio se otorgará al Ingeniero que se hubiere distinguido por haber desarrollado acciones distinguidas, en el campo público o privado, durante los tres años anteriores a los de su otorgamiento y para estos efectos, se consideran como acciones distinguidas aquellas que excedan el desempeño normal y eficiente de las labores habituales del ingeniero y que redundan en un beneficio evidente para el país, la sociedad, la profesión

o el Instituto. Dichas acciones pueden consistir, a modo de ejemplo, en la dirección de una obra de ingeniería relevante en el ámbito nacional, o la implementación de un proyecto tecnológico importante, o el impulso de una iniciativa de servicio público que impacte al país, o el particular realce que haya alcanzado en el país la labor normal que dicho ingeniero realice.

El Directorio del Instituto designa anualmente una Comisión, que se encarga de estudiar los antecedentes de los postulantes 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.

La lista de galardonados con esta distinción es ya larga y está constituida por algunos de los ingenieros más brillantes de nuestro país. Este año recibirá el Premio "Al Ingeniero por Acciones Distinguidas - Año 2020", don Juan Manuel Casanueva Préndez, quien con sus iniciativas empresariales muy recientes ha realizado una contribución notable a la ingeniería nacional y al bienestar del país especialmente en estas épocas de Pandemia donde las comunicaciones has sido tan necesarias y tan solicitadas y lo hace merecedor a la distinción que hoy le entregamos.

Extiendo mis más calurosas felicitaciones a **Juan Manuel** y su familia.

### Sr. Alfredo Moreno C.

—Quiero partir estas palabras agradeciendo la invitación que me hizo el Instituto de Ingenieros para dar estas palabras, fue para mí un honor recibir este reconocimiento el año pasado y quiero decir también que es hoy día un honor tener la oportunidad de presentar al ingeniero destacado del año 2020 el Sr. Juan Manuel Casanueva Préndez.

Sin duda, Juan Manuel es un innovador que ha hecho un importante aporte a la conectividad del país e incluso a otros países a través de las telecomunicaciones. Pero su aporte trasciende por mucho a los avances tecnológicos ya que también es un innovador en la forma de hacer empresas. Él entendió que no se trata solo de generar bienes y recursos y puso el foco en el factor humano. Esa visión de la empresa del futuro pienso debe ser un ejemplo para todos nosotros.

Es un hombre que comenzó conectando bancos en el paseo Ahumada y con los años ha logrado conectar Europa y África con un cable submarino a través del estrecho de Gibraltar, esa es la magnitud de su talento y capacidad de trabajo. Y a pesar de ese evidente éxito, nunca se ha olvidado que lo más importante son su familia, el bienestar de sus trabajadores y el país.

Sus méritos profesionales y empresariales no admiten dudas, ingeniero civil industrial de la Universidad de Chile, es presidente del Grupo GTD una destacada empresa de telecomunicaciones que fundó él mismo hace ya más de 40 años, el año 1979. Actualmente GTD es una empresa robusta y consolidada que cuenta con más de 2.700 trabajadores, entre los cuales debo decir hay más de 300 ingenieros de distintas nacionalidades y tiene operaciones en Chile, en Colombia, Perú y España y próximamente también en otros países.

Pero el éxito es un camino largo y la historia de Juan Manuel es un ejemplo de ello. En la década de los 70, él publicaba un boletín financiero, diario que daba cuenta de las tasas de interés de los bancos y hasta la dificultad para comunicar esta información de manera fluida visualizó la opción de crear una compañía de teléfonos para que los bancos y las mesas de dinero pudieran conectarse de manera rápida. Para lograrlo consiguió autorización de la Municipalidad de Santiago para instalar ductos bajo el Paseo Ahumada y así generó una red subterránea que se convirtió en la primera red física que ofrecía transmisiones de alta calidad. Como todas las historias de emprendimiento, la de Juan Manuel en GTD no ha estado exenta de dificultades.

Y en eso reside por supuesto, uno de sus valores. Ha logrado con resiliencia sobreponerse a las complejidades empresariales, incluso a las de salud, sin dejar de creer en sus proyectos y llevándolos con talento y trabajo hasta el sitial que ocupa hoy.

Tanto creyó en su proyecto que en el año 94 les compró con esfuerzo la empresa a sus socios, apostando por esta Compañía cuyos resultados están a la vista más de 25 años después de esa fecha.

Al igual que su padre quien fue Ministro del Presidente Juan Antonio Ríos y Jorge Alessandri Rodríguez tiene una marcada vocación de servicio público que lo ha llevado a ser bombero, director de varias fundaciones como la Fundación Rodelillo y la Fundación Auxilio Maltes y miembro del Consejo Asesor Empresarial de la Universidad del Desarrollo, instancia que me tocó formar y presidir y a la cual tuve el honor de invitarlo a participar entre otras muchas iniciativas.

Todo este compromiso con su entorno que solo en este año le valió ser destacado con el Premio Espíritu Emprendedor de la Universidad del Desarrollo y también con el Premio Al Emprendedor del Año de Ernst & Young también lo ha hecho parte de su actividad empresarial. Un ejemplo de ello es el Proyecto Prat, una alianza público-privado que consiste en la instalación de una red de fibra óptica submarina de 3.500 kilómetros de extensión que unirá al país desde Arica a Puerto Montt. Esta iniciativa que tiene una inversión de 100 millones de dólares, totalmente financiado por el Grupo GTD, va a permitir duplicar capacidad de transmisión de datos y la calidad de internet y mejorar la conectividad del país ante desastres naturales.

Pero el rol social de GTD no termina aquí, también ha tenido destacados aporte en el combate en los incendios forestales en las Regiones de O'Higgins, el Maule y Biobío, la colaboración al Liceo Técnico Profesional San Lucas en Lo Espejo y un trabajo conjunto con la Red PIME Mujeres entre muchos otros. Este espíritu de preocupación por su entorno no se ve reflejado solo en grandes proyectos como los que he mencionado, sino que Juan Manuel esto lo practica día a día en su empresa. Un ejemplo ilustrativo que me impresionó mucho al intentar conocer más de la vida de Juan Manuel es que hasta antes de esta Pandemia, que hoy día nos ha afectado a todos y a todo el mundo, él se ha tomado siempre el tiempo para dar todos los jueves una charla de inducción a los nuevos trabajadores de GTD y así darles la bienvenida personalmente y trasmitirles en persona los valores de la empresa que los recibe.

Solo quiero terminar estas palabras felicitando a Juan Manuel que sin duda es un ejemplo de talento, de capacidad de trabajo y de resiliencia, pero sobre todo es el ejemplo de un ingeniero que está dispuesto de poner todas sus capacidades para aportar trabajando colaborativamente a construir un país mejor. Muchas gracias y felicitaciones Juan Manuel. Y me sumo a los aplausos de don Ricardo, espiritualmente.

Muchas gracias.

(Aplausos).



A continuación, el Ingeniero Sr. Juan Manuel Casanueva Préndez recibió en forma simbólica de parte de don Ricardo Nicolau del Roure, Presidente del Instituto, la Medalla Recordatoria y el Diploma de Honor. Enseguida, agradeció la distinción en los siguientes términos.

### Sr. Juan Manuel Casanueva Préndez.

—Estimado Presidente del Instituto, señores directores, colegas, familiares y amigos. Primero quiero agradecer las afectuosas palabras de Alfredo Moreno que en realidad me dejó en un pedestal en el cual no merezco estar. Pero quiero agradecer al Instituto de Ingenieros que agrupa a los Ingenieros civiles de Chile por este Premio.

Cuando yo me titulé y recibí mi primer sueldo me fui a inscribir al Instituto y desde esa época hace muchos años he seguido siendo miembro no muy activo pero riguroso en pagar las cuotas. Así que yo sé que eso es muy apreciado, pero realmente es emocionante que los colegas de uno le den un premio de esta importancia. Ahora cuando vi que era por acciones distinguidas reflexioné un poco cuales serían las Acciones Distinguidas que yo he hecho en mi vida que merezcan este premio.

Lo primero que es lo más probable que no sea por eso es constituir una gran familia. Efectivamente nosotros con Verónica mi esposa llevamos casi 48 años casados y hemos tenido 7 hijos y en este momento llevamos 27 nietos que todavía es una obra en avance porque hay una hija soltera aún. Y lo que es importante que la nieta mayor Pilita Bezanilla Casanueva ya está en segundo año de Ingeniería Civil en la Universidad Católica y mi nieto mayor Manuelito Casanueva Figari está a punto de ingresar en Ingeniería en Chile o en Francia donde vive con sus padres. Así que estoy cumpliendo mi deber y ya diría que tengo casi el 10% de los nietos que están en la profesión.

El segundo motivo que probablemente es el más relevante para los ingenieros, fue GTD, empresa que fundé hace casi 40 años y que es una empresa tecnológica y que ha permitido competir a servicios de telecomunicaciones, creo, en forma bien eficiente a lo largo de todo el país; pero lo importante, como dijo Alfredo, es que a mí la principal preocupación siempre ha sido el personal de la empresa. Porque en una empresa de servicios es la gente que trabaja ahí y me interesa mucho mantenerlos motivados. De ahí las charlas de inducción que le doy a todos



Sr. Juan Manuel Casanueva Préndez.

los nuevos que se incorporan. De hecho, en este año de pandemia con orgullo digo que no hemos suspendido a nadie de su cargo y ciertamente no hemos despedido a nadie y hemos contratado nuevo personal. Hasta hace una semana trabajaban 2700 personas, pero compramos una empresa de seguridad informática en Perú por lo cual subimos a 2900 personas.

Yo tenía antes el orgullo de conocer a todo el mundo por el nombre lo cual naturalmente a estas alturas del partido es imposible. Pero, como lo dijo Alfredo, dentro de la empresa hay más o menos 300 ingenieros de distintas especialidades, universidades y nacionalidades también que son los que junto con el resto del personal sacan adelante la empresa. Tenemos como política todos los años contratar entre 15 y 20 ingenieros recién egresados de la universidad para formarlos y que sigan dentro de la empresa. El Gerente General Fernando Gana, que es ingeniero civil, entró recién salido de la universidad hace 20 años y después de ir ascendiendo por distintas etapas hoy día es el Gerente General a sus 43 años, creo que tiene esa edad más o menos.

La tercera acción distinguida a mi juicio que también lo mencionó Alfredo Moreno es la construcción del cable submarino entre Arica y Puerto Montt. El Cable Prat que fue una iniciativa personal después de un día en que había dormido mal, pensé ¿qué podemos hacer? y dije ya, el cable submarino. Y empezamos con el proyecto

### PREMIO "AL INGENIERO POR ACCIONES DISTINGUIDAS - AÑO 2020"

que ya está listo, pero no va a quedar operativo hasta noviembre. La verdad que el cable está instalado y para en 14 lugares diferentes, por ejemplo, en la zona central el cable llega a Con-Con porque la Bahía de Valparaíso está muy congestionada. Y de Con-Con tuvimos que irnos en fibra hasta San Antonio y después por la Autopista del Sol hasta Santiago. Todos esos trabajos adicionales que se requieren obviamente significan instalación de Nodos de comunicaciones con equipos en cada uno de los 14 lugares y eso es lo que falta por sincronizar y hacer funcionar. Pero realmente es una obra que de la cual yo me enorgullezco y que va a servir efectivamente para asegurar la trasmisión de información en Chile.

Y la cola es otra construcción de cable submarino. Efectivamente a través de nuestras filiales en España, GTD España, construimos un cable que atraviesa el Estrecho de Gibraltar y que llega al norte de África; esa es también quizá una acción distinguida, aunque un poco lejana.

Finalmente quiero agradecer a mis colegas ingenieros por la amabilidad que tuvieron en darme este premio que me enorgullece enormemente y trataré de seguir adelante para seguir justificando, a ver si invento alguna otra Acción Distinguida, muchas gracias a todos.

Muchas gracias.

(Aplausos).

### PREMIO "JULIO DONOSO DONOSO -AÑO 2020"

Al Ingeniero Sr. Carlos Mercado Herreros



El pasado 16 de octubre de 2020 vía Zoom se realizó la ceremonia solemne de entrega del premio "Julio Donoso Donoso – Año 2020". Este año recayó en el Ingeniero Sr. Carlos Mercado Herreros.

Don Ricardo Nicolau del Roure, Presidente del Instituto, hace presente que la ceremonia se dará en una situación inédita para la Institución, que no puede utilizar el Salón de Actos de su sede para una ceremonia como esta, pero que el entusiasmo está intacto para que esta reunión quede en nuestros Anales como una sencilla, pero emotiva ceremonia de homenaje al premiado de este año y que gracias a Reuna, tiene hoy una gran cobertura.

Asimismo, da inicio a la ceremonia con una breve intervención mencionando el significado de este premio, y explicó el especial merecimiento del galardonado de este año, don Carlos Mercado H.

En seguida, siguiendo la tradición, el Ingeniero Carlos Andreani Luco, quien recibiera este Premio el año 2018, presentó una síntesis de los aspectos más destacados de la vida del galardonado, en los siguientes términos:

### El Presidente.

—Para el Instituto siempre es una gran ocasión celebrar los logros y merecimientos de los ingenieros que se hacen acreedores a estos premios, no sólo por la alegría que provoca en los galardonados y sus familias, sino también por la satisfacción de reconocer y valorar a quienes han hecho una contribución importante a la sociedad en que vivimos.

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.

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.

Sin embargo, no debemos olvidar que la mayor relevancia que tienen estos reconocimientos es que a través de los mismos, la sociedad y en nuestro caso la comunidad de los ingenieros civiles, proponen un modelo y ejemplo a seguir por las nuevas generaciones de profesionales.

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.

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 hubiere contribuido más efectivamente con su actitud y su acción, al mejoramiento de las relaciones humanas o convivencia humana en los procesos de producción de bienes o servicios.

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.

El ingeniero Reinaldo Harnecker, ex presidente del Instituto, en el discurso pronunciado en el funeral de Julio Donoso en 1955 concluía después de destacar sus preocupaciones sociales que:."deberíamos estudiar más profundamente las relaciones humanas y al hombre en profundidad y poner todo esto en primer lugar entre las ciencias, para poder captar mejor en su integridad la vida del hombre y especialmente como se desarrolla ella en nuestro país..."

Nuestra larga tradición nos señala que quien fuera el homenajeado anterior con el premio, tendrá 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 ingeniero distinguido con el Premio Julio Donoso Donoso año 2020 es don Carlos Mercado Herreros, felicitaciones don Carlos a ti y a tu familia.

### Sr. Carlos Andreani Luco.

—Me corresponde el grato honor de hacer la presentación del distinguido ingeniero civil don Carlos Mercado Herreros quien ha sido galardonado este año por el Instituto de Ingenieros de Chile con el premio Julio Donoso Donoso, premio cuyo origen y connotación ya fue señalado por el señor presidente de este Instituto.

Para quien ha tenido la suerte de conocer a don Carlos Mercado Herreros desde el inicio del ejercicio de su profesión, como es mi caso, resulta de total justicia que esta Institución, baluarte más que centenario de la ingeniería chilena, haya reconocido y apreciado sus cualidades tanto humanas como profesionales, sea cómo hijo ejemplar, líder y cariñoso jefe de la familia formada junto a su esposa María Eugenia Arce, amigo fiel de sus cercanos, responsable y acucioso, con una natural empatía con sus camaradas y

subalternos en los cargos que le ha correspondido actuar en los 55 años de su vida laboral y particularmente servicial en las comunidades donde le ha correspondido actuar.

Como preludio de esta presentación permítanme utilizar algunos minutos para contar algo sobre los años previos al inicio del ejercicio de su profesión, pero que sin duda, deben haber contribuido a que él alcanzara logros tan valiosos como el que hoy se materializa en esta ceremonia.

Don Carlos Mercado Herreros, santiaguino de origen y serenense de corazón, nació el 13 de noviembre del año 1942, año con una de las mejores "cosechas" del siglo veinte, como él acostumbra a sostener. Es hijo de dos serenenses: doña Nora Herreros Schüler y de su primo don Carlos Mercado Schüler, ambos ya fallecidos.

En esta ocasión debo hacer un grato y reconocido recuerdo del profesor Mercado Schüler, uno de los más destacados y apreciados profesores de varias generaciones de profesionales de nuestro país. Son incontables los ingenieros que iniciamos la incursión en las ciencias exactas ya sea presenciando las didácticas clases de matemática o de física del profesor Mercado, como fue mi caso, o bien utilizando sus famosos libros relacionados con estas asignaturas del segundo siclo de la enseñanza secundaria.

Don Carlos Mercado Herreros inició sus estudios en el colegio Saint Simón College, ubicado en el entonces apacible barrio de Tobalaba con Providencia. En 1949 ingresó al Instituto de Humanidades Luis Campino, egresando diez años después con la clara intención de llegar a ser un profesional de la ingeniería, tarea no fácil en esos años en que los cupos disponibles para ingresar a la educación universitaria chilena no eran muchos y estaban concentrados en solo dos universidades con sede en Santiago.

En marzo de 1960 ingresó a la Escuela de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, optando por las asignaturas de la ingeniería estructural y de la construcción, una vez aprobadas las asignaturas de las ciencias básicas y de las ingenierías que al igual que ahora se cursaban en los primeros 4 años de la carrera.

Fue en la asignatura de Ingeniería de la Construcción donde nuestro galardonado se entusiasmó con esta especialidad de la ingeniería, al recibir la influencia del distinguido ingeniero civil don Jorge Egan Santander quien dictaba esa cátedra, además de laborar en la Empresa Nacional de Electricidad S.A. (Endesa).

Resulta así natural que el futuro ingeniero Mercado Herreros tomara el cargo de Ayudante de dicha cátedra y pusiera sus expectativas en ingresar a la Endesa, empresa que desde 1942 estaba a cargo del desarrollo del Plan de Electrificación del país y por ello le correspondía encargarse de la construcción de las principales obras de generación y transporte de electricidad destinada al servicio público de Chile.

En marzo de 1965, iniciando la última práctica de la carrera de ingeniería, don Carlos se embarcó en Valparaíso en la nave Imperial de la Compañía Sudamericana de Vapores, me imagino con la expectativa de comprobar los conocimientos adquiridos a lo menos en las cátedras de Máquinas y Electrotecnia, la primera dictada por don Ángelo Filipponi y la segunda por el connotado académico y decano de la Facultad de Ciencia Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile ingeniero Enrique d´Etigny. Supongo que también tuvo el incentivo de conocer los principales puertos de gran parte del continente americano.

Lo que no tenía previsto nuestro distinguido colega fue que en el puerto de Nueva York se embarcaría en la nave Imperial el oficial de ejército, e ingeniero politécnico militar, don Luis Arce Moyano acompañado de su familia, incluida su hija María Eugenia Arce Figueroa a quien don Carlos Mercado conoció al primer día de navegación.

25 días de travesía y algunas visitas a la residencia en Santiago de la familia Arce Figueroa fueron lo suficiente para el inicio de un pololeo que culminó en abril de 1967 con los esponsales de Carlos y María Eugenia y el comienzo de la formación de la familia Mercado Arce hoy con tres hijos, Carlos ingeniero civil, Andrés médico cirujano y Gonzalo ingeniero agrónomo y 11 regaloneados nietos, todos adictos al esquí, al igual que lo fuera el profesor Mercado Schüler.

Termino mi preludio señalando que en 1966 don Carlos Mercado Herrero se tituló de ingeniero civil al ser aprobada su memoria referente al "Análisis Estructural Sísmico de la Torre de Entel en Cerro Caracol de Concepción".

El 1 de marzo de 1966 el ingeniero Carlos Mercado inició el ejercicio de su profesión al ingresar a la Empresa Nacional de Electricidad S.A., siendo asignado al grupo de ingeniería que estaba a cargo de la construcción de las obras del proyecto Aprovechamiento Hidroeléctrico del río Laja, que incluía a la central El Toro de 400.000 kw, las obras de captación de los recursos de la cuenca superior del río Polcura y la Central Antuco de 300.000 kw. En 1981, con la puesta en servicio de la central Antuco, Endesa da término al Aprovechamiento Hidroeléctrico del río Laja.

En estos primeros 15 años de su vida profesional, el ingeniero Mercado, primero recibió un gran bagaje de cocimientos y experiencias provenientes de los profesionales que venían trabajando en la Endesa desde fines de 1943, cuando fue creada como empresa filial de la Corporación de Fomento de la Producción (Corfo) y muy luego será él quien los transfiera a sus subalternos al asumir diferentes cargos de mayor responsabilidad de los trabajos de construcción de la Endesa.

Debo mencionar que hasta 1977 la Endesa construía las obras con profesionales, técnicos y obreros de planta, con una dotación en el proyecto del Laja algo superior a 2.000 trabajadores entre los cuales se compartían las horas de trabajo, las vivencias domésticas en los campamentos y los conflictos sindicales, posgrado práctico en las relaciones humanas que don Carlos Mercado supo enfrentar contribuyendo siempre a mantener un ambiente de buena y recta camaradería.

En 1981 don Carlos Mercado pasó a formar parte del grupo de profesionales de Endesa que, dirigido por el ingeniero Jorge Egan Santander, debía encargarse de la inspección técnica y administrativa de la construcción de las obras del proyecto hidroeléctrico Colbún-Machicura, en la cuenca del río Maule, correspondiéndole al ingeniero Carlos Mercado asumir la dirección y control del contrato de construcción de las obras de las centrales Colbún de 400.000 kw y Machicura de 90.000 kw hasta la puesta en servicio de éstas en 1985.

En 1986, la Endesa designó a don Carlos Mercado como Ingeniero Jefe de la construcción de las obras de la Central Hidroeléctrica Canutillar de 172.000 kw., ubicadas entre el lago Chapo y el seno de Reloncaví.

Por las reconocidas capacidades técnicas y dotes de buen administrador de don Carlos Mercado, en abril 1988, después de 22 años dedicado a la ingeniería de la construcción, pasó al área de explotación de obras de generación y transporte de electricidad, al ser nombrado Jefe la Cuarta Zona

Eléctrica de nuestro país que se extendía entre las ciudades de San Carlos y Victoria. Al asumir este cargo tomó la gran responsabilidad de administrar la producción de gran parte de la electricidad para el servicio público del país que en parte era transportada hacia los grandes consumos ubicados en las regiones Metropolitana y de Valparaíso.

En mayo de 1989, al pasar la Endesa a ser controlada por una empresa del sector privado chileno, se iniciaron importantes cambios en su estructura orgánica que, entre otros, se creó la empresa de ingeniería y consultoría Ingendesa S.A. a la que se transfirió la casi totalidad de los profesionales de las áreas de ingeniería y construcción de la Endesa, nombrándose gerente general de esta sociedad a don Carlos Mercado Herreros, con la misión de hacer operar esta sociedad en el difícil campo de los servicios de ingeniería.

Gracias a su inteligencia, formación, tesón y, principalmente, a la confianza, apoyo, preocupación y cariño que siempre ha entregado a las personas que trabajan con él, al cabo de 10 años Ingendesa se convirtió en una de las oficinas de ingeniería más importante y de mayor prestigio de Chile, situación que se comenzó a revertir cuando el control de Endesa pasó primero a Endesa de España y en 2016 a Enel de Italia.

En el año 2000 don Carlos Mercado renunció a la Gerencia General de Ingendesa, pero se mantuvo como presidente de su directorio hasta julio de 2001, cuando fue nombrado Gerente de Construcción de Líneas de la sociedad Metro S.A. cargo que ocupó hasta el año 2012, periodo en el cual le correspondió dirigir el desarrollo del proyecto y la construcción de la Línea 5 con su extensión a Maipú y de la Línea 2. A partir de esa fecha y hasta 2018 actuó como asesor técnico del proyecto y construcción de las líneas 3 y 6 del Metro de Santiago.

Actualmente, sigue dedicado a la ingeniería, al participar como perito en diferentes litigios de obras.

Debo mencionar que el galardón que se entrega hoy a don Carlos Mercado se sumará al Premio Infraestructura 2008, "Por su valioso aporte al desarrollo de la Infraestructura del País", que anualmente otorga el Colegio de Ingenieros de Chile y al Premio "Ingeniero Destacado del año 2011", por su trayectoria, importante labor en el rubro y aporte a la Ingeniería Nacional, que otorga anualmente la Asociación de Ingenieros Consultores de Chile.

Son decenas los ingenieros formados por don Carlos Mercando y muchos de ellos mantienen en sus quehaceres su ejemplo y capacidad para resolver problemas, teniendo siempre presente que el objetivo común es terminar las obras en plazo y en costo, pero sin dejar de lado la equidad y transparencia.

Se destaca su entrega y dedicación para efectuar cada nuevo desafío, manteniendo una excelente relación entre el mandante, los proyectistas y los constructores a cargo de las obras. Esto lo logra con sus principios, tanto como persona como profesional, uniendo, de esta forma, las partes en un objetivo común entre éstas.

Debe reconocerse también su participación en el Instituto de Ingenieros donde contribuye activamente en el trabajo de comisiones que realizan los estudios que esta institución realiza, ocupando cargos en su directiva incluyendo la presidencia del Instituto en los años 2016 y 2017, como también en el Colegio de Ingenieros de Chile donde ha ocupado cargos en el Consejo de la especialidad de Ingeniería Civil y actualmente ha resultado electo como miembro del Consejo Nacional, máxima órgano encargado de la administración de este colegio profesional.

Termino esta presentación con la seguridad de qué en beneficio del tiempo disponible, no he podido incluir muchas otras vivencias y actuaciones de don Carlos Mercado Herreros.

Felicitaciones, muy estimado colega, camarada y amigo don Carlos Mercado Herreros, por el merecido galardón "Premio Ingeniero Julio Donoso Donoso – Año 2020", que la ha otorgado el Instituto de Ingenieros de Chile.

A continuación, el Presidente del Instituto hizo entrega en forma simbólica al Ingeniero Carlos Mercado del Diploma y Medalla de Honor correspondiente al Premio "Julio Donoso Donoso". Acto seguido, don Carlos Mercado Herreros hizo uso de la palabra para referirse al honor recibido.

### Sr. Carlos Mercado Herreros.

—A fines de agosto recibí el siguiente mail que me permitiré leer. "Les cuento que hoy en sesión del Directorio del Instituto de Ingenieros de Chile se otorgó el Premio Julio Donoso Donoso a Carlos Mercado, este Premio se otorga al ingeniero que ha contribuido con su actitud y acción al mejoramiento de las relaciones a la comunidad



Sr. Carlos Mercado Herreros.

humana en las organizaciones de dedicadas a los productos de bienes y servicios, felicitaciones Carlos". Estos son los mails que agrada recibir, vamos a decirlo, y pensé que realmente a lo mejor este año iba a ser difícil recibir físicamente estos premios por el famoso Corona Virus que estamos viviendo. Sin embargo, estas plataformas on line han hecho que ahora haya mucha más gente, muchos más amigos viendo esta ceremonia y probablemente vamos a continuar en esta línea en un futuro.

¿Qué he pensado que iba a decir en esta ocasión? Y dije voy a contar algo que es lo que viene a continuación y lo he llamado "La Historia de Moisés"; no es que me haya puesto bíblico. Moisés es un trabajador que conocí en los inicios de la Central Toro allá por el año 1967. Él por organigrama, dependía de mí, pero Moisés, como es costumbre en la faena tenía su sobrenombre, conocido como el Tarzán chileno porque antes de entrar había sido luchador de cachacascán en el Caupolicán. Así que don Moisés era de los trabajadores que tenía un buen físico y entre otras cosas preocupado de lo que es vivir en un campamento que era nada menos que una gran ciudad. En este caso él era el capitán de los bomberos y a mí se me ocurrió entrar en esos años a ser bombero. Por lo tanto, nuestra relación se invertía. Ahí era yo el que dependía de él y consecuentemente recibiera las órdenes de él. Éste hecho le complicó más a él que a mí, yo no tuve ningún problema y yo siempre me di cuenta que era una relación difícil más para él que para el que habla.

Como costumbre, estábamos en la construcción, era la competencia, convivencia con los bomberos de la zona, a ellos les interesaba muchos ir a vernos porque su visita a la zona significaba también una visita técnica, se les mostraba la caverna de máquinas de la Central que era la primera que se estaba construyendo en esos años. Y era la primera que hizo Endesa que hasta hoy sigue siendo interesante verla. Esto significaba cuando llegaban los bomberos ya sea de pueblos como Antuco o Tucapel, o similares, una competencia bomberil, luchas con chorro de mangueras o armar escalas. Y en esos aspectos un día don Moisés me dice "voluntario Mercado vamos a prepararnos para los próximos encuentros con los que vienen y vamos a ir a lo que es la competencia de mangueras, vamos a demostrarles a todos los aquí presentes, y entonces ustedes bien abrochadas sus chaquetas de cuero, bien puesta su toalla como un nudo de corbata y lo más importante totalmente el barbiquejo firme". Iniciamos el ejercicio y para mala suerte de él al primer chorro le vuelo yo es casco con lo cual el otro es hombre. En estas competencias, bombero que queda sin casco es hombre muerto, por lo tanto, el que habla fue en esa ocasión el triunfador y se acercó y después me dijo "ira, revancha" cosa que me preocupé que no se produjera. Lo relatado significó para mí un cambio muy positivo a la larga, porque él me tomó buena y se terminó todo este aspecto que había porque se sentía complicado que yo me hubiera incorporado y dependiera de él para fines de bomberos. De ahí para adelante nuestra relación fue estupenda, pero se nos aparece el año 70 donde los conflictos en la Central pasaron a aumentar y tomó una muy buena decisión don Moisés que fue que de política no se hablaba en el cuartel, por lo tanto, era una convivencia sana.

Seguimos trabajando, nosotros teníamos como meta terminar el año 73 con las 2 primeras unidades y a mediados del 74 con las otras 2 unidades y se nos aparece agosto del 73 donde a través de una orden del llamado CUP Comité Unidad Popular se toman la Central creando 2 barreras, unas aguas arriba, y otra, aguas abajo y no nos podíamos mover más que en un sector del orden de unos 3 kilómetros. Fuimos a una reunión para recibir instrucciones, estábamos en esa reunión y suena la sirena. Yo le digo a mi vecino de esa reunión "lo único que nos faltaba en medio de todo este problema además haya un incendio". Llegué al cuartel y me encuentro con Moisés y me dice ahí respetando la relación de Endesa y no la de bomberil, "Jefe hay instrucciones porque sabrá que el que usa la camioneta se la pueden quitar, pero a usted no se la van a quitar porque

usted es bombero y además yo he tocado la sirena para estar todos aquí para ver si pasa algo o no pasa nada" Le dije "Bueno, quieres estar bien con Dios y con el Diablo" y se sonrió y estuvimos ese día acuartelados. Muy pronto aparece el 11 de septiembre, que significó detenciones de gente nuestra, entre ellos don Moisés. Debe haber sido tipo 14 o 15 de septiembre que Jorge Egan, segundo Jefe de la Central, mi jefe directo, me llama y me dice "te voy a encargar una misión" y la misión era que me acercara al centro de detención que existía en Los Ángeles a tratar de averiguar qué pasaba con nuestra gente y Jorge muy habilosamente me mandó a mí, ya Carlos Andreani antes contó, que yo soy hijo de Carlos Mercado Schüler profesor prácticamente de cualquier oficial que hubiera estado en la Escuela Militar. Así que fui a hablar con el oficial de turno y aparece un lolo, yo tenía 30 años y éste era más lolo que yo, y le digo que gracias por recibirme, que vengo para entregarle una lista que eran del orden de unas 10 personas con las cuales nosotros poníamos poco menos que las manos en el fuego que eran absolutamente correctos y que podrían ser en alguna forma gente que era simpatizante de la Unidad Popular pero correctísimos. Este oficial me pregunta "¿alguna otra cosa más?", "no nada más me pidieron que viniera y transmitiera este mensaje". Se quedó con esta lista, pasarían yo creo unos 3 o 4 días y vuelven estos 10 a la Central, venían todos con corte de pelo al rape entre ellos Moisés, pero Moisés venía un poco machucado. Yo lo cité al cuartel de bomberos y me fui a hablar con él para peguntarle qué le había pasado y me dice "lo que pasa es que me sentí injustamente tratado y pedí explicaciones y por eso estoy en estas condiciones de machucado". Bueno, esas son historias que vale la pena compartir, creo que primera vez en mi vida que estoy contando esto, no lo había contado nunca y hay muchos de esto que estoy diciendo probablemente va a decir "¿y por qué no lo contaste antes?", porque creo que son cosas que uno se debe guardar y creo que este es un momento a lo mejor para compartir.

Continua nuestra historia, cumplimos con la inauguración de El Toro, parte la Central Antuco, ahí todos seguíamos con el mismo régimen de construcción y por allá por 1977, algo ya dijo Carlos, que hay una decisión del directorio de la Endesa en donde el director era Hernán Büchi, además de ser Ministro y se decide que se termina el área de construcción. Esto significó que de ahí para adelante toda la construcción se haría con empresas licitándolas, por lo tanto, es una decisión tomada de ese año y se termina Antuco bajo este esquema. La obligación que tenían las

empresas que ganaban ese contrato era que tenían que contratar el 100% de nuestro personal que se quedaba en ese momento fuera de la Endesa. y para la Endesa su obligación pagar todas las indemnizaciones.

El año 80 se inaugura Antuco y nosotros nos cambiamos de hoya Hidrográfica y nos vamos a construir Colbún-Machicura. Ahí conocimos, y vale la pena comentar lo que son los Claims Antes cuando eran solo contratistas nacionales había reclamos, pero los Claims es otro matiz, llegaron las empresas extranjeras, vale la pena recordar que a mí me tocó la empresa Spie Batignoles y el primer francés que llegó a terreno fue después el jefe de la oficina de Claims, así que eso demuestra la forma interesante por la cual también todos aprendimos.

El año 85 parte Canutillar, el que habla es nombrado Jefe de la Central y ahí estuve hasta 1988, fecha en que la Endesa decide llevarme al cargo de Administrador zonal Concepción.

Se aparece el fin de esa década y a través de lo que se conoce con el nombre de Capitalismo Popular, la Endesa se privatiza. Esta privatización significó la creación de varias filiales, ya lo dijo mi tocayo, y entre ellas Ingendesa, donde el 1-2 fuimos los 2 Carlos, presentes en esta ceremonia.

Es así, que en 1990 después de 25 años en los cerros, el que habla llega por primera vez a Santiago. Debe haber sido a los 2 o 3 meses que llevaba en Santiago, cuando un día me llama por el citófono mi excelente secretaria María Teresa y me informa que está afuera don Moisés Cáceres, y que él dice que me conoce. Le respondo, dile al "Tarzán chileno", que lo recibo con todo gusto. Entra Moisés, grandes abrazos, saber de nuestras vidas, de la de los conocidos y en un momento le digo si necesita algo en que pueda ayudarlo. Me responde: "No jefe, solo he venido a saludarlo y felicitarlo. El otro día en La Tercera leí un artículo donde salía Ingendesa con una foto suya como Gerente General y me hice el propósito de venir a felicitarlo". Me sentí muy agradecido, se lo dije, también

supe que en ese momento él trabajaba como chofer en las micros amarillas, nos intercambiamos números de teléfonos, pero finalmente perdimos el contacto. Con esto termina la historia de Moisés.

Lo que vino desde el inicio de Ingendesa, fue buscar cómo penetrar el mercado de la ingeniería y de las inspecciones, y creo que es bueno recordar para los Endesicos que nos acompañaron y están escuchando. que a mediados de los 90 logramos que más del 50% de los ingresos de Ingendesa eran de empresas no relacionadas y dentro de los ingresos a terceros el 25% era de trabajos fuera de Chile de los cuales fundamentalmente eran en Sudamérica.

Pero llega finalmente el año 2000, Endesa España toma el control de Endesa Chile, lo único que tenían de común era la palabra Endesa, esto significa para varios de nosotros dejar Endesa y tanto el tocayo como yo buscamos otros horizontes.

Yo al poco andar soy contactado por un Head Hunter, y termino como Gerente de Construcción de las Líneas de Metro. Allí hay otros que están con nosotros, otros Moisés voy a decir, don Marcos, otra secretaria, doña Any, que fue seleccionada por mí y hoy es nada menos que la secretaria de la Gerencia General y Presidencia, no me equivoque, y le agradezco por la colaboración al buen clima que mantiene en el grupo en que trabajamos

Finalmente voy a decir que voy a ser consecuente con lo que ya dije el año 2008 en el discurso de agradecimiento cuando el Colegio de Ingenieros me dio el Premio al Ingeniero Destacado en Infaestructura de ese año: "todo discurso debe tener una buena primera parte, una mejor parte final y uno preocuparse que estas dos partes estén lo más cerca posible".

Muchas gracias.

(Aplausos).

### PREMIO "JUSTICIA ACUÑA MENA AÑO 2020"

A la Ingeniera doña Viviana Meruane Naranjo



El pasado viernes 23 de octubre de 2020, vía Zoom, ante una numerosa concurrencia de autoridades y personalidades, en particular del ámbito universitario, se realizó la ceremonia de entrega del premio "Justicia Acuña Mena – Año 2020", a la Ingeniera Sra. Viviana Meruane Naranjo.

El Presidente del Instituto, Sr. Ricardo Nicolau del Roure, 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 Viviana Meruane Naranjo. Posteriormente, la presentación de la galardonada estuvo a cargo de la Ingeniera Sra. Marcela Munizaga Muñoz, distinguida con el mismo premio el año 2018.



### El Presidente.

—El "Premio Justicia Acuña", fue instituido el año 1990 por nuestra Corporación, para premiar a la mujer ingeniera civil que se hubiere destacado en el ejercicio de su profesión, ya sea en el campo público o privado. Se otorga cada dos años y en cada oportunidad, 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 2020, ha recaído este año en nuestra colega Viviana Meruane Naranjo, quién 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 Marcela Munizaga, distinguida con este premio en el año 2018.

Estimada Viviana, muchas felicidades.

De acuerdo a la tradición, la presentación de la galardonada la efectuó la Ingeniera Sra. Marcela Munizaga, premio "Justicia Acuña Mena" año 2018.

### Sra. Marcela Munizaga.

—Señor Ricardo Nicolau, Presidente del Instituto de Ingenieros de Chile, señores y señoras integrantes del Directorio del Instituto de Ingenieros de Chile. Estimados familiares de Justicia Acuña Mena. Estimada profesora Viviana Meruane Naranjo, familiares, amigos y colegas.

Es para mí una ocasión muy especial la de presentar hoy a la profesora Viviana Meruane, la galardonada con el premio "Justicia Acuña Mena – Año 2020", en reconocimiento a su destacada trayectoria como ingeniera.

Es una bonita tradición del Instituto de Ingenieros, que la premiada del año anterior presente a la nueva galardonada, y le dé la bienvenida al grupo de "las Justicias". Estoy muy contenta de que me corresponda hoy presentar a Viviana, a quien conozco como colega de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, y con quien me toca interactuar con frecuencia en el ámbito laboral.

Comenzaré destacando sus logros profesionales y académicos.

Viviana es una profesional de excelencia y una investigadora que ha contribuido con importantes avances al desarrollo de la ingeniería. Su área principal de especialización es el desarrollo de metodologías innovadoras de identificación de daño en estructuras y de fallas en equipos a partir del monitoreo de vibraciones. Para ello ha implementado diversas técnicas de extracción de características, modelación inversa e inteligencia artificial, que permiten el monitoreo y diagnóstico remoto de los sistemas mecánicos. Las principales aplicaciones están en el diagnóstico de daño en estructuras civiles como puentes y edificios, en estructuras mecánicas como el fuselaje de un avión, y en equipos mecánicos como turbinas, bombas u otros. Lo anterior otorga un aporte de muy alto impacto público en la prevención de accidentes y en la prevención de catástrofes, sobre todo en un país sísmico como Chile.

Ingeniera Civil Mecánica, Magíster en Ciencias de la Ingeniería de la Universidad de Chile, y Doctora en Ingeniería Mecánica de la Katholieke Universiteit Leuven de Bélgica. Se ha destacado como investigadora de la Facultad de

Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile en el Departamento de Ingeniería Mecánica, convirtiéndose en la primera mujer en ejercer el cargo de directora en los 55 años de historia del Departamento.

En su área de conocimiento ha demostrado ser líder en un ambiente académico casi exclusivamente masculino. Su empuje y liderazgo la ha llevado a concretar considerables aportes a su unidad académica como la creación del Laboratorio de Vibraciones Mecánicas y Rotodinámica, el que con sus proyectos Fondecyt y Fondequip logró equipar con un sistema digital para medir deformaciones y vibraciones en objetos tridimensionales, implementando un sistema automático para medir vibraciones mecánicas de última generación a nivel universitario. Las cámaras de alta velocidad del laboratorio son las más rápidas disponibles en el país actualmente.

Directora también del Programa de Innovación en Manufactura Avanzada, un importante proyecto de Corfo que busca hacer de Chile un país más competitivo, productivo e innovador, vinculando a la academia y la industria para que el desarrollo tecnológico esté asociado a las necesidades de las empresas y la sociedad.

En el ámbito profesional, ha realizado estudios para las denominadas empresas tractoras del país, con aportes a compañías mineras, de energía y también en el área de manufactura, entre otras. Sus aportes la han llevado a una destacada presencia en los medios de comunicación, mostrando un claro liderazgo y aportando en la discusión de temas relevantes. Por mencionar uno en particular, Viviana fue la cara visible del estudio realizado por el Departamento de Ingeniería Mecánica que mostró que los balines utilizados por carabineros para el control de disturbios, contenían elementos como plomo y silicio, además goma. Viviana fue muy valiente, clara y técnicamente impecable para explicar los resultados del estudio, lo cual tuvo que asumir porque el profesor que había hecho el estudio estaba hospitalizado en ese momento.

En el ámbito académico su trayectoria también es muy destacada, para aquellos familiarizados con las métricas de la investigación; les cuento que Viviana tiene 39 artículos en revistas ISI y un índice H de 12. Ha sido profesora guía 5 tesis de Magister en Ciencias de la Ingeniería mención Mecánica y 48 memorias de título de Ingeniero Civil Mecánico(a).

Esta es una muy resumida reseña de sus logros. Ahora les voy a contar algunas cosas de ella, de cómo llegó a ser la destacada profesional que hoy homenajeamos.

Viviana Meruane nació en Santiago, a comienzos de los 80, es la sexta de siete hermanos: Margarita (Asistente social), Gabriel (Ingeniero Químico), Claudia (Ingeniera Eléctrica), los mellizos Carolina (Ingeniero Civil Hidráulica) y Manuel (Médico), luego viene Viviana (Ingeniera Civil Mecánica) y finalmente Rafael (Ingeniero Civil en Computación) que fue quien le quitó el trono de la más pequeña y regalona cuando Viviana tenía 6 años.

Los padres Bibiana y Teodoro, ambos académicos de química, deben estar muy orgullosos de todos sus hijos. Posiblemente esta familia merece un premio aparte, pero hoy nos vamos a centrar en Viviana.

Viviana creció en Puente Alto cuando era prácticamente campo, con libertad para salir a la calle a jugar a la calle. Según nos dice Viviana, los papás no te vigilan cuando tienes muchos hermanos. Estudió hasta 4º básico en el colegio Santa Joaquina de Vedruna, de 5 a 8º en la Deustche Schule, un pequeño colegio alemán en La Florida, y la enseñanza media la hizo en el Liceo Carmela Carvajal, donde intercambiaban cartas con los estudiantes del Instituto Nacional.

En el colegio era buena alumna, pero no tanto. Le costaba concentrarse, le iba bien en Matemáticas, pero no tan bien en los otros cursos. Cuando terminó el colegio no tenía muy claro qué estudiar, le gustaban las matemáticas y la física, y también las manualidades. Pensó en entrar a Arquitectura. Una vez que dio la PAA, con el puntaje en la mano, que le alcanzaba para cualquier cosa que quisiera estudiar, se decidió por Ingeniería en la Universidad de Chile, donde estaba su hermana Carolina, y había estado antes su hermano Gabriel.

En la Escuela de Ingeniería le costó un poco al principio, en las primeras pruebas incluso sacó una nota roja por ahí. Comenzó a estudiar y a hacer amigos de la sección, carreteaba en la terraza, fue al paseo a Cartagena, iba a jugar pool. Apenas pudo comenzó también a hacer ayudantías, y hacerse conocida como buena alumna. Pronto entró al Departamento e Ingeniería Mecánica, donde eran sólo dos compañeras, y no había ninguna profesora. Su profesor guía Rodrigo Pascual la convenció de hacer un

doctorado en Bélgica una vez terminada la carrera y el magíster, de los cuáles se graduó con honores.

Algo que no les había comentado es que durante el intercambio de cartas entre las chiquillas del Carmela y los chiquillos del Nacional, Viviana conoció a Pedro Montero, que la conquistó con su personalidad alegre y se convirtió en su compañero de ruta. Se casaron antes de partir a Bélgica, y siguen juntos, en compañía de Josefa, su hija de cinco años, que llegó para darles alegría, pero también a ponerles reglas, y horarios.

A su regreso del doctorado Viviana llegó al Departamento de Ingeniería Mecánica a desempeñarse como académica. Era un Departamento que estaba en duelo, un profesor joven había fallecido, otros se habían ido. Pero Viviana llegó con su estilo tranquilo a revolucionar el Departamento. El Decano Brieva le dio esa tarea, y Viviana se la tomó en serio. Comenzó de a poco, junto con otros colegas a idear proyectos ambiciosos, como la creación de un Programa de Doctorado, la incorporación de nuevas instalaciones experimentales, cambiar el paradigma en cuanto a la vinculación con la industria.

En 2018 asumió la Dirección del Departamento de Ingeniería Mecánica, en una ceremonia muy significativa, en que sus colegas deciden celebrar a lo grande el hecho de que por primera vez una mujer tomara ese rol. Recibe el mando de manos del profesor Rodrigo Palma, quien con mucho cariño le entrega el bastón.

Ese mismo año se adjudica el Consorcio Corfo de Manufactura Avanzada, del cual Viviana es Directora. Este proyecto ejecutado por la Universidad de Chile, donde participan también la Asociación de Industriales Metalúrgicos y Metalmecánicos (Asimet), la Universidad de Santiago de Chile, la Universidad Tecnológica Metropolitana y la firma Seguel Robotics, busca vincular a la industria y la academia para generar soluciones tecnológicas que permitan avanzar desde la manufactura tradicional a una manufactura avanzada, articulando las capacidades existentes en las Universidades, los centros de investigación y las empresas.

Así es Viviana Meruane, tranquila, buena para encontrar soluciones, independiente desde chiquitita, nunca pierde la calma. Le gusta mucho hacer clases y desarrollar investigación, pero lo que más disfruta es compartir con su familia y sus amigos. Sueña con un Chile más justo,

que garantice derechos básicos como la educación y la salud. Un estado de bienestar, cómo los que conoció en Europa. Felicitaciones Viviana por todos tus logros y por el merecido reconocimiento que recibes hoy.

Muchas gracias.

(Aplausos).

A continuación, el Presidente del Instituto Sr. Ricardo Nicolau del Roure, hace entrega en forma simbólica, del Diploma de Honor y una Medalla recordatoria a la Sra. Viviana Meruane Naranjo. Acto seguido, la Sra. Meruane agradeció la distinción en los siguientes términos.

### Sra. Viviana Meruane.

—Muy buenos días a todas y todos, un especial saludo a los miembros del Instituto de Ingenieros, a mis colegas, familiares, amigas y amigos hoy presentes.

Para mí es un honor recibir este reconocimiento de parte del Instituto de Ingenieros. Más aún, cuando este reconocimiento lleva el nombre de Justicia Acuña Mena, quien es una inspiración para muchas ingenieras. Justicia Acuña fue la primera mujer ingeniera en el país, tuvo la valentía de estudiar y ejercer en un mundo que hasta ese momento era de hombres. Gracias a su ejemplo, hoy vemos cada vez más ingenieras destacadas en su profesión.

Debo reconocer que en un principio quería estudiar arquitectura, pero en último momento cambié de opinión y decidí entrar a Ingeniería en Beauchef. Fue la mejor decisión que pude haber hecho, no fue fácil, en particular los primeros años de plan común, con la exigencia y rigurosidad característica de la Escuela. Pero ya en la especialidad de Ingeniería Mecánica pude visualizar como toda esa matemática y física que nos habían enseñado se podía aplicar para modelar y diseñar sistemas reales. Esto es algo que hasta el día de hoy encuentro fascinante.

Tampoco fue mi primera intención dedicarme a la academia, a pesar que tanto mi papá como mi mamá eran académicos. No fue sino hasta que ingresé al Magister, cuando estaba trabajando en mi tesis que me di cuenta que realmente me gustaba la docencia y la investigación. Fue entonces que decidí hacer un doctorado y fui contratada como profesora instructora de la Universidad de Chile.



Sra. Viviana Meruane Naranjo.

Desde que ingresé a la Universidad como académica he participado activamente en distintos roles, como consejera electa de la Facultad, Jefa Docente del Departamento, Directora de la iniciativa Beauchef-Proyecta, parte del Proyecto Ingeniería 2030-, Directora del grupo de Ingeniería 1 de Fondecyt, además de participar en varias comisiones y guiar decenas de alumnos en sus tesis de pre y posgrado. Fue así como casi sin buscarlo llegue a ser la primera Directora del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile y la Directora de un Programa

Tecnológico en Manufactura Avanzada de Corfo. Sé que estoy rompiendo esquemas y lo que más me satisface es ver cómo me he vuelto un referente para mis alumnas. Ojalá en un futuro cercano podamos ver más ingenieras en posiciones de liderazgo, en especial en los campos de las mal llamadas ingenierías "duras".

Las mujeres hoy nos estamos abriendo camino en distintos frentes y la tecnología no es la excepción. Así como lo hizo Justicia Acuña en 1913, teniendo incluso que hacer valer el Decreto Amunátegui de 1877 que admitía a mujeres en las universidades del Estado, para poder ingresar a la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad de Chile. Esto hoy parece irracional; en algunos años más espero que muchas de las cosas que erróneamente hemos normalizado puedan cambiarse en pro de las mujeres.

Para terminar, quiero agradecer nuevamente al Instituto de Ingenieros por otorgarme esta distinción tan significativa. Para mí la ingeniería y la academia son una pasión, siempre trato de dar lo mejor y es muy reconfortante que se reconozca.

Muchas gracias a todas y todos los presentes quienes quisieron compartir este momento conmigo y con el equipo del proyecto SUCHAI en un acto de generosidad y empatía.

Muchas Gracias.

(Aplausos).

# PREMIO "RAMÓN SALAS EDWARDS -AÑO 2020"



En solemne ceremonia realizada en vía Zoom, el día viernes 23 de octubre de 2020, el Instituto de Ingenieros de Chile, hizo entrega del premio "Ramón Salas Edwards – Año 2020" a los Ingenieros Sres. Alex Becerra, Alexandre Bergel, Marcos Díaz, Claudio Falcón, Marcos Flores, Carlos González, Susana Jorquera, Miguel Martínez, Viviana Meruane, José Ogalde, Tomás Opazo, Marcos Orchard, Javier Rojas, Camilo Rojas y Juan Cristóbal Zagal, por su trabajo "SUCHAI: Nanosatélite de la Universidad de Chile para la investigación aeroespacial".

Este Premio fue instituido para destacar el mejor trabajo científico o tecnológico relacionado con la Ingeniería, y se otorga cada año a la, o las personas que, en conjunto, hayan elaborado y publicado dicho trabajo dentro de los 5 años anteriores al año en que se otorga dicho premio.

El Presidente, don Ricardo Nicolau del Roure, dio inicio a la ceremonia con una breve alocución, refiriéndose a la naturaleza de este Premio y a su significado dentro del Instituto y en la comunidad de los ingenieros.

Posteriormente, realizó la presentación de los galardonados, el Sr. José Tomás Arenas, coautor del trabajo galardonado con el mismo premio el año 2019.

#### El Presidente.

—En el día de hoy el Instituto de Ingenieros de Chile realiza esta ceremonia, con el objeto de entregar el premio "Ramón Salas Edwards", correspondiente al año 2020.

La labor del Instituto, que este mes cumple 132 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 profesional. En efecto, para el Instituto siempre es una gran ocasión celebrar los logros y merecimientos de los ingenieros que se hacen acreedores a estos premios, no sólo por la alegría que provoca en los galardonados y sus familias, sino también por la satisfacción de reconocer y valorar a quienes han hecho una contribución importante a la sociedad en que vivimos. El reconocimiento por parte de los pares ha tenido una gran importancia desde los inicios de la cultura occidental y hoy es una de esas ocasiones, en que el Instituto de Ingenieros de Chile homenajea a sus laureados.

Este año, el Premio "Ramón Salas Edwards" ha recaído en el trabajo: "SUCHAI: Nanosatélite de la Universidad de Chile para la investigación aeroespacial", de los autores Sres. Alex Becerra, Alexandre Bergel, Marcos Díaz, Claudio Falcón, Marcos Flores, Carlos González, Susana Jorquera, Miguel Martínez, Viviana Meruane, José Ogalde, Tomás Opazo, Marcos Orchard, Javier Rojas, Camilo Rojas y Juan Cristóbal Zagal.

Este Premio fue instituido para destacar el mejor trabajo científico o tecnológico relacionado con la Ingeniería y se otorga cada año a la o las personas que, hayan elaborado y publicado dicho trabajo dentro de los 5 años anteriores a aquel en que se otorga el premio.

Todos los años, el Directorio nombra una Comisión que examina los trabajos que han sido propuestos, emite un informe y lo somete a la consideración del Directorio y del Consejo Consultivo de la Corporación, que reunidos en sesión solemne y votación secreta, disciernen el nombre del trabajo premiado.

El premio lleva el nombre de don Ramón Salas Edwards, quien fue descrito por el ingeniero Raúl Sáez como "un sobresaliente ingeniero, brillante matemático, investigador original y, antes que nada, maestro por vocación". Ante la necesidad importante y urgente de promover entre nuestros

ingenieros la realización de trabajos científicos y tecnológicos, Raúl Sáez explicaba la decisión del Instituto de crear este premio, agregando que: "perpetúa el recuerdo de un hombre eminente que engrandeció nuestra profesión y cuyos aportes a la investigación alcanzó relieves internacionales".

Este año corresponderá a José Tomás Arenas, representante de los autores del trabajo galardonado con el premio Ramón Salas Edwards año 2019, presentar el trabajo premiado este año y, de esta forma, testimoniar en él los aspectos que caracterizan el trabajo distinguido y que honran la memoria de don Ramón Salas Edwards. Por ello sólo me limitaré a señalar a los asistentes a esta ceremonia, que nos encontramos ante un trabajo hecho por profesionales cuyos atributos coinciden plenamente con aquellos requisitos que deben darse para ser distinguidos con este Premio.

Extiendo a los autores del trabajo galardonado mis sinceras felicitaciones.

De acuerdo con lo tradicional, la presentación del galardonado la efectuó el Sr. José Tomás Arenas, coautor de trabajo galardonado el año 2019.

#### Sr. José Tomás Arenas.

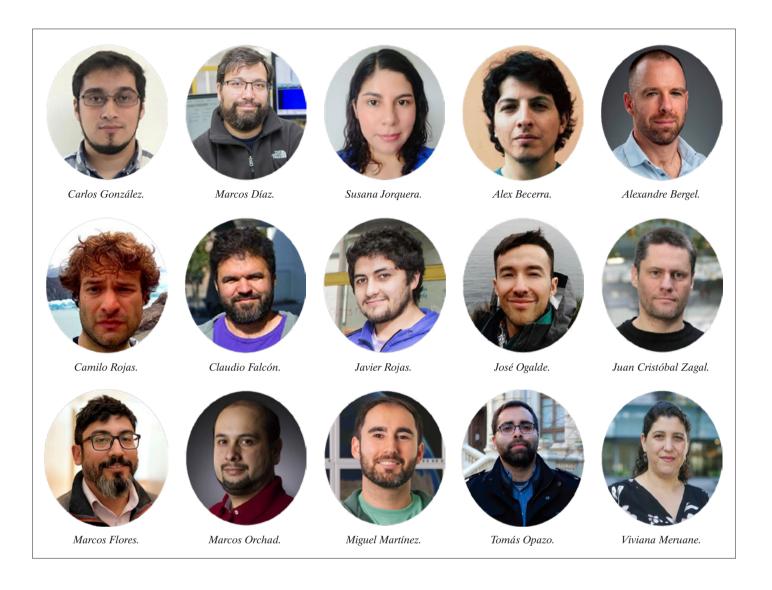
—Es para mí un honor estar nuevamente en este escenario, esta vez de una manera un poco distinta, para presentar a los galardonados con el premio "Ramón Salas Edwards año 2020" otorgado por el Instituto de Ingenieros de Chile, para destacar el mejor trabajo científico o tecnológico relacionado con la Ingeniería al trabajo: "SUCHAI: Nanosatélite de la Universidad de Chile para la Investigación Aeroespacial".

Esta iniciativa se concibe desde una reacción para potenciar el capital humano chileno: su objetivo principal era estudiar las potencialidades que esta nueva filosofía satelital podía ofrecer para el desarrollo de ciencia y tecnología en y desde el país, así como analizar las potencialidades que la agilidad de esta nueva plataforma podía ofrecer para la formación de capital humano avanzado, clave para un desarrollo sostenido.

Aunque el proyecto fue utilizado como una herramienta de formación de más de 25 estudiantes de diversas disciplinas, el equipo principal que desarrolló el proyecto estuvo compuesto, en orden alfabético, por:

- Alex Becerra: ingeniero civil electricista de la Universidad de Chile. Recibió su título el año 2010, mismo año en el que comenzó su trabajo como ingeniero coordinador del proyecto SUCHAI. Junto a otros integrantes del proyecto SUCHAI, formó el año 2015, Aurora Space, empresa dedicada al rubro de la tecnología, ingeniería y desarrollo de proyectos espaciales y de la cual es el Gerente General.
- Alexandre Bergel: Recibió su grado de doctor en ciencias de la computación de la Universidad de Berna, en 2005. Desde 2009, ha sido profesor asociado e investigador de la Universidad de Chile. Es autor del libro Agile Visualización y coautor del libro Deep Into Pharo.
- 3. Marcos Díaz Quezada: recibió su título de Ingeniero Civil Electricista en 2001 en la Universidad de Chile. Sus grados de master y doctor en ingeniería eléctrica los obtuvo en 2004 y 2009, respectivamente, en la Universidad de Boston. Sus intereses de investigación están relacionados con el estudio del plasma turbulento ionosférico, técnicas de estimación ionosférica usando radares ionosféricos (ISR), instrumentación espacial y tecnología para nanosatélites. También ha sido asistente de investigación en el observatorio Astrofísico Smithsoniano, en el Observatorio MIT Haystack y en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación de la Universidad de Boston. Marcos Díaz es actualmente Profesor Asistente en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la FCFM – U. de Chile y es el académico responsable del Laboratorio Exploración Espacial y Planetaria (SPEL) y del programa espacial SUCHAI.
- 4. Claudio Falcón: Profesor Asociado del Departamento de Física de la FCFM – U. de Chile y Doctor en Física de la Université Paris VI Pierre et Marie Curie. En docencia participa del pregrado de la FCFM, del postgrado en Física (Magíster y Doctorado) y del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería mención Fluidodinámica.
- 5. Marcos Flores: Profesor Asistente del Departamento de Física (DFI) de la FCFM – U. de Chile. Obtuvo su doctorado en la U. Técnica Federico Santa María y posteriormente estuvo trabajando como colaborador científico por tres años en el instituto Riken de Japón.
- 6. Carlos González: Ingeniero Civil Eléctrico de la U. de Chile, especialista en comunicaciones satelitales, desarrollo de sistemas embebidos y software. Durante sus estudios participó en el proyecto SUCHAI. Co-fundador de Aurora Space. Es profesor de jornada parcial en el Departamento de Ingeniería Informática de la U. de Santiago de Chile. Actualmente cursa estudios de Doctorado en Ingeniería Eléctrica en la U. de Chile.
- Susana Jorquera: Ingeniera Civil Mecánica y Magíster en Ingeniería Mecánica de la U. de Chile. Realiza una estadía

- en Francia con el objetivo de encontrar nuevos desafíos en la industria tecnológica.
- Miguel Martínez: Ingeniero en Telecomunicaciones y Máster en Ingeniería Electrónica por la Universidad de las Islas Baleares. Doctor en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile en 2019.
- 9. Viviana Meruane: Profesora Asociada y actual Directora del Departamento de Ingeniería Mecánica de la U. de Chile. En 2006 obtuvo el grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, mención Mecánica en la U. de Chile y el grado de Doctor en Ingeniería Mecánica en la U. Católica de Lovaina en 2010.
- 10. José Ogalde: Ingeniero Civil Eléctrico y Magíster en Ciencias de la Ingeniería otorgado por la Universidad de Chile en 2019. Hoy se desempeña como ingeniero electrónico del arreglo de antenas del observatorio ALMA en el norte de Chile.
- Tomás Opazo: Ingeniero Civil Eléctrico de la U. de Chile.
   Actualmente realiza estudios de doctorado en Ingeniería Aeroespacial en la U. Estatal de Pensilvania, Estados Unidos.
- 12. Marcos Orchard: Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la U. de Chile e Investigador Asociado del Centro de Energía de la misma universidad y del Centro Avanzado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (AC3E). Recibió sus grados académicos de M.Sc. y Ph.D. en el Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, en 2005 y 2007, respectivamente. Obtuvo su grado de Bachelor en Ciencias (1999) y Título Profesional de Ingeniero Civil Industrial con Diplomado en Ingeniería Eléctrica en la U. Católica de Chile (2001).
- 13. Javier Rojas: Ingeniero civil eléctrico de la U. de Chile en 2016. Desde el 2015 ha estado involucrado con SPEL, donde realizó su memoria, y donde actualmente se desempeña como ingeniero de desarrollo.
- 14. Camilo Rojas: Ingeniero Civil Eléctrico de la U. de Chile. Es Co-Fundador de Aurora Space. Actualmente realiza su tesis de Magíster en Ciencias de la Computación en el laboratorio ALGES (Advanced Laboratory for Geostatistical Supercomputing) y se desempeña en el laboratorio SPEL como desarrollador del software de vuelo que se utilizará en los próximos satélites SUCHAI II y III.
- 15. Juan Cristóbal Zagal: Profesor Asistente del Dpto. de Ingeniería Mecánica de la FCFM U. de Chile. Es ingeniero civil electricista de la U. Chile, donde también realizó su formación de doctorado. Es director académico y fundador del Laboratorio de Fabricación Digital, Fab Lab de la FCFM U. de Chile. Antes de trabajar en la U. de Chile trabajó como investigador postdoctoral en el Creative Machines Laboratory de la U. de Cornell en Estados Unidos.



El objetivo general de este proyecto es potenciar el área aeroespacial del país, diseñando, desarrollando, construyendo, poniendo en órbita y operando un vehículo espacial del tipo Cubesat.

Para 2015 la tasa de éxito de los Cubesat universitarios en EEUU era de un 47%. Este número es menos del 25% para instituciones que lo hacen por primera vez y es aún menor para países donde la experiencia en la materia es escasa y no es construido bajo un contrato de transferencia tecnológica. Al revisar el contexto regional, el proyecto se veía atrasado, ya que cuando el SUCHAI-1 partió, varios países de la región habían empezado sus proyectos en Cubesats: Colombia, Argentina, Brasil, Ecuador y Perú. Pero, desafortunadamente, ninguno de

ellos se proyectó más allá de una herramienta educativa o una demostración tecnológica. El caso más exitoso es el argentino, con la diferencia de que este desarrollo desde un comienzo nació como un proyecto de la empresa privada Satelogic.

La creación de valor del proyecto SUCHAI está enfocada en tres áreas: formación de capital humano, desarrollo científico y tecnológico nacional, relaciones internacionales. En el proyecto SUCHAI se formó de manera práctica y con capacidades comprobables un grupo de ingenieros en un área compleja como lo es la tecnología satelital; hoy el laboratorio de exploración espacial y planetaria (SPEL) y que está apoyando (o ha apoyado) la formación de al menos diez estudiantes de doctorado, nueve estudiantes

de magíster, y veinte ingenieros de diferentes disciplinas y estudiantes de pregrado.

La primera misión se focalizó en el estudio de la anomalía magnética sur Atlántico, una anomalía que cubre gran parte de Sudamérica, incluido Chile. Algunos de los sectores que se ven impactados por las perturbaciones generadas en la zona son:

- la robotización de la minería (por el impacto en las comunicaciones satelitales),
- los sistemas de comunicación, y
- la estabilidad de la red de distribución eléctrica.

Además, el proyecto ha sido capaz de atraer recursos internacionales. En conjunto con las empresas Rocket Labs (Nueva Zelandia) y Gomspace (Dinamarca) se está trabajando en una misión de objetivo científico de botánica espacial, el PlantSat, programada para estar en el espacio en 2020.

Se definieron tres áreas tecnológicas de interés y en las que se focalizarían esfuerzos de aprendizaje para las siguientes misiones. Estos ámbitos son: fabricación digital, comunicaciones y software de vuelo. Para reducir los riesgos de esa primera misión, no todos los componentes del vehículo serían de diseño propio, sino que se complementan con componentes comerciales.

En cuanto al estado actual de los proyectos del Laboratorio SPEL, en este momento hay tres misiones en desarrollo en el Laboratorio: SUCHAI-2, SUCHAI-3 y PlantSat. El SUCHAI-2 estudia el desempeño en algunos sistemas ópticos para la percepción remota de la contaminación lumínica en el observatorio, el SUCHAI-3 estudia sistemas electrónicos y de comunicaciones, y el PlantSat estudia el desempeño de algunos sistemas biológicos relevantes para futuras misiones espaciales como plantas y microorganismos extremófilos. Esperaremos ansiosos tener novedades de estas nuevas misiones y, más importante, ir poco a poco viendo cómo se transforman en el mediano plazo en avances en la formación de capital humano chileno y sus efectos.

Felicitaciones a los galardonados.

Muchas gracias.

(Aplausos).

A continuación, el Presidente del Instituto Sr. Ricardo Nicolau del Roure, procedió a hacer entrega simbólica del Diploma de Honor y una Medalla recordatoria a los Ingenieros Sres. Alex Becerra, Alexandre Bergel, Marcos Díaz, Claudio Falcón, Marcos Flores, Carlos González, Susana Jorquera, Miguel Martínez, Viviana Meruane, José Ogalde, Tomás Opazo, Marcos Orchard, Javier Rojas, Camilo Rojas y Juan Cristóbal Zagal.

Acto seguido, don Marcos Díaz Quezada, en nombre de los galardonados, manifestó sus agradecimientos por la distinción otorgada en los siguientes términos:

#### Sr. Marcos Díaz Quezada:

—Muchas gracias José Tomás por la presentación y por tus amables palabras.

Estimadas autoridades del Instituto de Ingenieros, personalidades académicas, mundo público y privado, colegas, familias, amigas y amigos.

Nos sentimos muy halagados por este reconocimiento y es un honor para mí hablar en representación de un Equipo extraordinario, no solo en lo técnico, sino también en lo humano.



Figura 1

Les contaré qué es lo que hemos hecho y qué estamos haciendo. Qué es lo que nos motiva y lo que estamos buscando con este proyecto. Cómo el proyecto SUCHAI ha sido una semilla para lograr esto, cómo ha impactado en el devenir del grupo y cómo esperamos que esto impacte en el devenir del país y porque no ojalá en el devenir del mundo también.

Iniciaré contándoles un poco sobre la idea de largo plazo del proyecto SUCHAI y las motivaciones que nos mueven en este grupo en lo macro.

Una de las preguntas que nos intriga es ¿Cómo se sostiene la vida? (Figura 2). Y eso es lo que en general estamos estudiando o buscando desentrañar. Por supuesto, lo natural es partir por lo que pasa con nuestro planeta.



Figura 2

Tenemos una interacción con nuestra estrella, el sol que nos sostiene con su energía, pero qué también es una fuente bastante hostil. El sol nos bombardea con partículas y radiación electromagnética que termina interactuando con una capa magnética protectora que se genera en el núcleo de nuestro planeta, que se conoce como la magnetósfera. La magnetosfera es un campo magnético muy similar a un imán que no solo desvía estas partículas nocivas, sino que también por razones de su forma e intensidad atrapa algunas de estas partículas dejándolas oscilando entre cada polo, en lo que conocemos como los Cinturones de radiación (o Cinturones de Van Allen). Producto de la topología magnética de la magnetosfera (debido a cierta actividad en el centro de nuestro planeta, aún en estudio), hay lugares donde el campo magnético es más débil, lo que produce que las partículas emanadas del sol o de otras estrellas logren llegar a alturas más bajas, a orbitas más bajas, llegando a donde tenemos la mayoría de nuestra tecnología satelital de baja altura. La zona de mayor debilidad magnética es conocida como anomalía del sur atlántico.

Como muchas cosas en el mundo pasan en Suramérica, está debilidad ocurre justo sobre nosotros y se extiende por gran parte de nuestro subcontinente. En esta zona

hay una mayor radiación comparada con otros lugares del planeta, debido al debilitamiento magnético. En esta zona es precisamente donde los satélites que están en orbitas bajas, cercanas a los 500 kilómetros de altura (que es la distancia aproximada de Santiago a la Serena) sufren mayores desperfectos.

Aunque el sol contantemente está enviando energía electromagnética y partículas, hay periodos en que esta actividad se incrementa y de forma abrupta y aun impredecible. Lo que vemos en las imágenes es lo que denominamos una llamarada (o flare), que son eventos de energía electromagnética (rayos X, gamma y UV). Por otro lado, tenemos también los eventos denominados eyecciones de masa coronal (o CME) que son erupciones de partículas cargadas (electrones y protones). Aunque aún no somos capaces de predecir la ocurrencia de estos eventos, la distancia al sol nos da tiempo para tomar algunas medidas cuando vemos pasar estos eventos en el sol, principalmente en áreas del sol donde el efecto podría dirigirse hacia la tierra. Los efectos electromagnéticos llegan a la tierra en unos pocos minutos y los eventos de partículas producen efectos varias horas después de su aparición en el sol. Estos eventos pueden ocurrir juntos o por separado cada uno. Pero ambos eventos pueden ser muy perjudicial para la infraestructura espacial.

Las imágenes (Figura 3) que se muestran dan cuenta de mediciones de la intensidad de campo magnético a nivel de superficie de la tierra y se puede notar que hay una zona particularmente débil en Suramérica. Además, al comparar estas mediciones con mediciones de partículas cargadas a 600 km de altura, la zona que tiene mayor cantidad de partículas coincide casi perfectamente con la zona de debilidad magnética. Y la imagen que está más abajo y a la derecha representa dónde principalmente fallan los satélites en el espacio. Cada punto negro es la falla de un satélite.

Y como vemos (Figura 4) coincide nuevamente con la zona de debilidad magnética. Y si muchas cosas pasan en Suramérica, en Chile nos sacamos todos los premiados, y así en estas imágenes podemos ver que esta anomalía se está expandiendo y moviendo hacia el oeste, o sea hacia nuestro país.

La pregunta aquí es si cabe preocuparse por esto, si los países que hoy están bajo el máximo de la anomalía (Brasil, Argentina, Paraguay, Uruguay) no están teniendo grandes

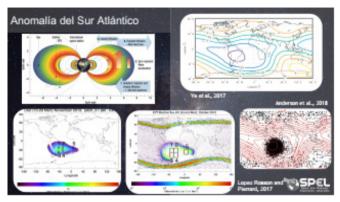


Figura 3

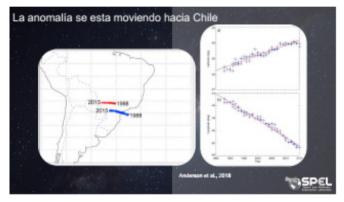


Figura 4

problemas con esto. La explicación es que muchas de las prestaciones civiles desde el espacio son más bien recientes. Por ejemplo, el GPS se abrió al mundo civil hace 25 años y ha explotado en los últimos 15 años. Pero en los próximos 30 años cuando el máximo comience a acercarse a Chile, es posible que seamos mucho más dependientes de la tecnología espacial y mucho más vulnerable a perturbaciones en ella y podríamos estar en desventaja en algunas cosas que se pudieran hacer desde el espacio pues los satélites podrían operar de peor forma sobre parte de Chile. No tenemos muy claro cuáles podrían ser los impactos en nuestra vida, con esta anomalía sobre nosotros, y cuál podría ser el detrimento de nuestra calidad de vida en término de servicio satelital. Por eso queremos estudiar qué tan serio podría ser esto para Chile, pero no podemos estudiar esto de la misma forma que lo hacen los países más grandes y desarrollados pues no tenemos los mismos recursos.

Todos estos estudios y datos que mostré fueron hechos y tomados con satélites relativamente grandes y costosos. Sin embargo, ha habido una tendencia de usar unos satélites

miniaturizados que se denominan Cubesats, y que voy a explicar en más detalle en algunos minutos.

Como punto de partida decidimos tratar de estudiar esta zona más bien hostil del planeta (Figura 5), la anomalía del Sur Atlántico, explorando también los efectos que puede tener esta hostilidad en otros sistemas, como las baterías y la electrónica. Seguimos más o menos la propuesta de la Universidad de Colorado Boulder que, en conjunto con NASA, desarrollaron un satélite Cubesat de 3 litros de 3 millones de dólares, presupuesto bastante bajo comparado con misiones hechas con satélites más grandes.

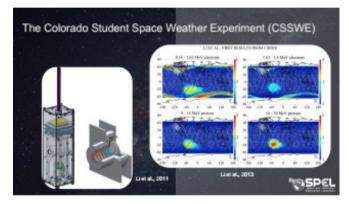


Figura 5

Este trabajo demostró que se podían medir partículas de forma similar a como se hace con los satélites más grandes, pero con Cubesats. Nuestro objetivo era tratar de hacer algo similar, pero con un costo 10 veces menor y en un menor volumen. Aunque partimos más o menos al mismo tiempo, llegamos al espacio varios años después, debido principalmente a las demoras en el lanzamiento, pues al ser un cliente pequeño para los lanzadores, nos movieron de lanzador de forma continua. Pero pudimos llegar al espacio y hablaré en unos minutos de los resultados que obtuvimos.

Pero hay cosas más entretenidas aún (Figura 6). Cuando uno acelera electrones, igual que en una antena, estos producen radiación, que, por el tipo de movimiento y dimensiones, radían en muy bajas frecuencias.

Es así que si uno mira estrellas, que son otros soles, podrían detectarse llamaradas de radiación de alta energía (UV, radiación X y radiación gamma) y si estas llamaradas ocurren simultáneamente con explosiones de masa (partículas

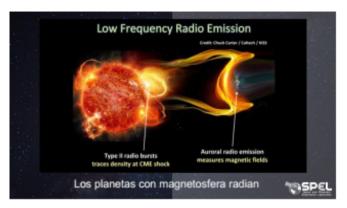


Figura 6

cargadas), y si interactúan estas con un planeta que posee campo magnético podríamos recibir señales de radio en muy bajas frecuencias (bajo los 10 MHZ, más bajo que la radio FM y similar a las señales de radio AM). Es así que con estas señales podríamos detectar exo-planetas (planetas fuera de nuestro sistema solar) que tienen magnetosfera que es esta capa protectora que ayuda a mantener la atmosfera y hacer habitable los planetas y revela también varios datos de su actividad geológica.

Desafortunadamente tanto la alta radiación electromagnética como la UV, así como las radiaciones en baja frecuencia no se pueden observar desde la tierra, se tienen que observar desde el espacio (Figura 7).

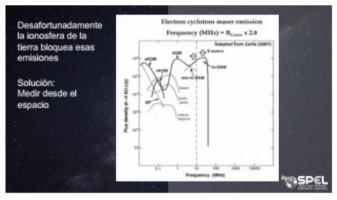


Figura 7

La radiación de alta frecuencia es absorbida por las moléculas de la atmosfera (como por ejemplo el ozono), pero esa energía disocia estas moléculas (le saca electrones) dejando a estos gases cargados eléctricamente (algo similar a lo que pasa en un tubo de neón) y esas partículas

cargadas, en particular los electrones que son muy livianos, se pueden mover fácilmente con la radiación de baja frecuencia (de radio) por lo que la reflejan hacia el espacio de vuelta. Esto es similar a lo que ocurre en un ascensor cuando uno pierde la señal del celular, solo que al ser un gas cargado y no un metal la capa reflectora que depende de la densidad de los gases en la atmósfera la frecuencia que pueden bloquear es bastante baja (bajo los 10MHz). De varios de los planetas con magnetosfera como son Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, solo la radiación emitida por la magnetosfera de Júpiter es detectable desde la superficie de la tierra.

Pero la detección no solo se debe hacer desde el espacio, sino que se debe hacer con mucha resolución, que es como tener un pixel más pequeño en nuestra cámara para poder ver más detalles en la imagen. Esto tiene relación con el tamaño, mientras más grande el telescopio, mayor la resolución, pero esto es complejo en el espacio.

Afortunadamente hay una técnica llamada interferometría que permite tener la misma resolución que la de un telescopio grande con varios telescopios pequeños pero separados por grandes distancias. La dificultad es que hay que coordinarlos para que apunten muy bien de forma simultánea. Esta es gran parte nuestra motivación científica y tecnológica. Cómo hacer detectores más pequeños y coordinarlos en el espacio. Y cómo, midiendo lo que pasa en nuestro planeta podemos cuantificar las mediciones que podríamos esperar de estrellas cercanas a nosotros. Para hacer esto, aprovechamos que justo había un cambio filosófico en el desarrollo satelital. En la filosofía clásica de construcción de satélites (Figura 8), este se construye en torno a un instrumento principal. Es así como su tamaño y forma quedan definido por este instrumento que responde al objetivo principal de la misión. Por ejemplo, aquí podemos ver el satélite Hubble, que tiene forma de telescopio porque es un telescopio. Para amortizar el costo de este gran instrumento se espera que funcione muchos años, lo que le exige robustez en el espacio, pero esto va encareciendo no solo su etapa de diseño, sino que también su desarrollo, operación y mantención. Entonces comienza un círculo vicioso de encarecimiento de la misión con tiempos de desarrollo relativamente largos. En este caso fueron del orden de 20 años de desarrollo del telescopio Hubble.

En la línea de la miniaturización (Figura 9), el primer cambio ocurrió a fines de los años 70 -principio de los



Figura 8

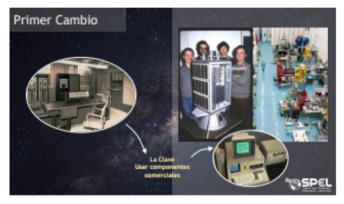


Figura 9

años 80 cuando gente en una universidad Inglesa (Surrey) desarrollaron el concepto de Commercial-Off-The-Shelf (COTS), que consiste en usar elementos comerciales en lugar de piezas dedicadas y construidas en las agencias espaciales. Como el área espacial nace en la era de la Guerra Fría entre dos potencias (USSR y USA) y en un periodo donde aún no se explotaba fuertemente la miniaturización de la electrónica, sus respectivas agencias ROSCOSMOS y NASA, desarrollaban mucho de sus componentes ellos mismos.

Surrey exploró el uso de componentes comerciales que en un comienzo no estaban diseñados para el espacio tomando ventaja de la miniaturización de los computadores personales. Originalmente los computadores eran del tamaño de una sala, con la miniaturización de la industria de los computadores de escritorio es que Surrey reduce el tamaño de los satélites y sus costos, revolucionando el área. De hecho, la Universidad de Surrey fue quien proporcionó los primeros satélites a Chile, los FASat-Alfa y -Bravo. Estos vehículos fueron básicamente satélites universitarios.

Aprovechando un nuevo cambio tecnológico a fines de los 90 (Figura 10), con la miniaturización de los componentes de los teléfonos inteligentes se pudo reducir aún más el tamaño de los satélites, llegando a tamaños del orden de 1 litro, de 10 cm x 10 cm x 10 cm. Sin embargo, el tamaño no es la innovación más significativa asociada a este tipo de vehículos. El cambió principal fue la estandarización de la forma, que permitió estandarizar el sistema de llevado de estos vehículos al espacio en los cohetes.

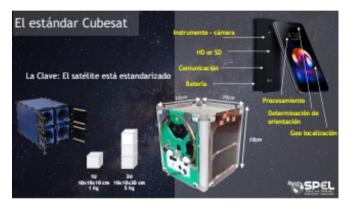


Figura 10

En este concepto el satélite (Figura 11), ya no toma la forma del instrumento principal, sino que uno tiene que adaptar el instrumento para que quepa en la forma del satélite, bajando las complejidades para el cohete para adaptar estos satélites a sus vehículos y por ende bajando los costos del vuelo. Este es un concepto muy similar al concepto del contenedor en los barcos de carga. Anteriormente uno subía las cosas con cualquier forma y tenía que adaptarse y hacer un tetrix en el barco. Hoy día uno pone las cosas en el contenedor, y todos los sistemas en el barco y en el puerto están adaptados para mover y almacenar este contenedor, esto es exactamente lo mismo.

Además, los cohetes deben mantener un estricto control de la ubicación de su centro de masa, incluyendo a los satélites que transportan. Cuando el satélite principal a transportar tiene una forma muy asimétrica se usa masa inerte como contrapeso. La estandarización de satélites miniaturizados o Cubesat permitió usar esos espacios que se solían llenar con estas masas de contrapeso ahora con vehículos espaciales estandarizados.

La reducción de costos no solo ha democratizado el acceso al espacio, sino que también ha facilitado la innovación



Figura 11

en el área. Al ser más barato el acceso, es posible tomar más riesgos y probar cosas nuevas y con ideas frescas de grupos distintos, pues como sabemos aquellos que tienen éxito en algo, tienden a repetir eso que hicieron bien y ser más reacios a la innovación.

Al igual que los súper computadores no fueron remplazados por los computadores personales, ni los computadores personales no fueron remplazados por los celulares, los satélites miniaturizados no remplazarán a los satélites clásicos, sino que al igual que en los ejemplos nombrados (computadores personales y celulares) estos satélites estandarizados abrirán nuevas oportunidades de uso y aplicaciones que en muchos casos serán complementarios entre sí, como lo es el súper computador (o nube) con los teléfonos inteligentes.

Es así como concebimos nuestro "Sputnik" (Figura 12), nuestra primera misión el SUCHAI que obviamente se monta en el conocimiento y esfuerzo que muchos otros antes hicieron y que también se pensó como el comienzo de un Programa Espacial para nuestra Universidad.

También aprovechamos la experiencia de otros grupos y áreas que son extremadamente relevantes para el desarrollo espacial y de nuestro grupo en lo específico.

Me gustaría reconocer a otros grupos y a otras áreas que no están aquí, porque no participaron directamente del proyecto (Figura 13), pero que son clave en el concepto de Laboratorio y de programa espacial, como es la gente de Geofísica que nos apoyó desde el comienzo, cuando partimos como radio sonda (instrumento meteorológico); partimos con ejercicios de lanzar estos vehículos (en principio muy similares a un satélite) montados en



Figura 12



Figura 13

un globo y aquí el Dr. Roberto Rondanelli, académico del Departamento de Geofísica, fue un motor relevante. Desafortunadamente no muchos de nuestros estudiantes de la radio sonda pasaron al grupo de satélites, sino que crecieron como dos grupos separados, pero ingenieros relevantes de nuestro Departamento se formaron usando esta tecnología.

El proyecto SUCHAI (Figura 14) significa "Satellite of the University of Chile for Aerospace Investigation" y trata de emular a una palabra en mapudungun que es suyai que significa esperanza, porque este proyecto era nuestra esperanza de poder partir un programa espacial satelital en la Facultad y de apoyo al trabajo realizado anteriormente. Este fue financiado enteramente por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Partió con la gran visión y decisión del decano Francisco Brieva, continuó con la valentía del decano Patricio Aceituno –digo valentía porque estuvo ahí en primera fila cuando lo estábamos lanzando, sabiendo los riesgos de poner la imagen en algo que podía fallar. Lo habíamos construido

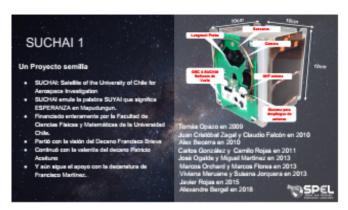


Figura 14

nosotros con mucha rigurosidad, pero obviamente que hay posibilidades de errores en esto-, y contó y aún sigue contando con el apoyo de la decanatura del actual decano Francisco Martínez mostrando la visión de Estado que tiene la Facultad, dándole una estructura de continuidad a este tipo de iniciativa.

Quiero destacar al Ingeniero Eléctrico de nuestra Universidad, Tomás Opazo. En 2009 fue el primer integrante que tuvimos en el proyecto, él ahora está en Ohio State siguiendo sus estudios de Doctorado en Ingeniería Aeroespacial. Juan Cristóbal Zagal (Departamento de Ingeniería Mecánica-FCFM-UCH) y Claudio Falcón (Departamento de Física-FCFM-UCH) son los primeros académicos junto conmigo que tomamos y abordamos el proyecto y les agradezco muchísimo la valentía y generosidad que tuvieron al embarcarse en esto.

Alex Becerra es el ingeniero civil eléctrico de nuestra universidad y estuvo a cargo del proyecto, era bastante joven cuando tomó este proyecto y es un gran líder, un ingeniero muy capaz y de mucho talento.

Carlos González y Camilo Rojas (ingenieros civiles eléctricos) que se incorporaron en 2011; son de la primera camada de estudiantes de ingeniería que partieron muy jóvenes en el proyecto y que siguen aún conectados al Laboratorio y las futuras misiones en desarrollo. Son unos lideres indiscutidos en nuestro grupo y ahí están en el laboratorio trabajando porque tenemos plazos específicos que cumplir para las siguientes misiones, por lo que están siguiendo esta ceremonia desde el Laboratorio, esa es una muestra de la dedicación y compromiso que tienen.

José Ogalde y Miguel Martínez fueron estudiantes de post grado que aportaron con proyectos específicos, con mediciones del ambiente espacial y sus efectos en la electrónica.

Marcos Orchard y Marcos Flores también académicos del Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Física, respectivamente fueron muy significativos en distintas etapas y áreas del proyecto. Marcos Orchard es el último académico en incorporarse al proyecto. Su contribución está relacionada con el estudio del desempeño de baterías en el espacio. Su experiencia en estado de salud de sistemas puede extenderse a análisis de riesgo y estrategias de mantención a muchas otras áreas del ámbito espacial. Marcos Flores fue extremadamente relevante en un periodo cuando todavía no teníamos todos los equipos en el Laboratorio de Exploración Espacial y Planetaria para hacer todos los estudios ambientales y en su laboratorio hicimos muchos de los estudios ambientales de vacío preliminares para los sistemas, su experiencia en esto fue vital.

Viviana Meruane y Susana Jorquera (Académica del Departamento de Ingeniería Mecánica y estudiante de Magister en Ing. Civil Mecánica, respectivamente) también fueron vitales en las pruebas de vibración. Viviana Meruane es experta en el estudio mecánico de vibraciones y todavía sigue apoyando muchas de nuestras misiones en este ámbito y Susana Jorquera nos apoyó con modelos de la respuesta de nuestro satélite a pruebas de shock, pruebas que son muy agresivas y pueden ser peligrosas, pero gracias a sus modelos y simulaciones se pudieron evitar las pruebas reales y así evitar el riesgo de daño durante las pruebas.

El ingeniero civil eléctrico Javier Rojas nos apoyó fuertemente en el ámbito de las comunicaciones ya en operación con el satélite, mostrando una gran dedicación y profesionalismo en ello.

Yéndonos a la línea de tiempo (Figura 15), nos tomó del orden de 1,5 años concebir el proyecto. Oficialmente partimos con los recursos en marzo de 2011, ya construyendo el vehículo que nos tomó 3 años, hubo ahí algunas demoras a causa de los proveedores que se equivocaron en mandarnos algunos componentes que son bien difíciles de cambiar. Pero básicamente lo hicimos entre 2 a 3 años hasta el punto de pasar las pruebas de certificación requeridas por el lanzador (cohete) para ser lanzados. Para estas pruebas de certificación fuimos al LIT-INPE en Brasil y estamos muy agradecidos de su apoyo y profesionalismo. Desde el minuto en qué quedamos listos para el lanzamiento al



Figura 15

lanzamiento efectivo, desafortunadamente, pasaron cerca de 3,5 años por demoras y retrasos del lanzador, que en ese momento era Space X. Finalmente cambiamos de lanzador y llegamos al espacio en un cohete PSLV de India.

En la Figura 16, algunas de las postales que nos dejó el SUCHAI. Estas imágenes no solo son nuestras primeras imágenes tomadas desde un vehículo desarrollado en el país, sino que son usadas para conocer la orientación que tenía el sensor de partículas o Langmuir Probe y así refinar sus mediciones de la densidad de partículas cargadas a lo largo de la órbita del SUCHAI, que es una polar síncrona con el sol a una altura de 500 km.

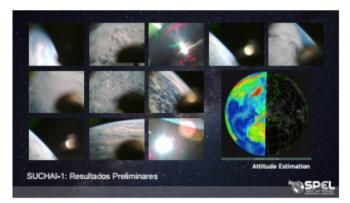


Figura 16

Algunos de los resultados que hemos obtenido están relacionados con sistemas espaciales, pero también con estudios físicos en el espacio (Figura 17). Aquí quiero destacar al profesor del Departamento de Ciencias de la Computación de nuestra Universidad, Alexandre Bergel, que apoyó fuertemente a consolidar el concepto de calidad



Figura 17



Figura 18

del software de vuelo del SUCHAI, y por ende el uso de este en las posteriores misiones. Aunque el software de vuelo fue desarrollado por el equipo del SPEL formado por Carlos González, Camilo Rojas y Tomás Opazo el uso de herramientas de visualización desarrolladas y utilizadas por el profesor Bergel le han imprimido agilidad y robustez al desarrollo del software de vuelo.

En la Figura 18 uno de los primeros resultados que publicamos con el profesor Juan Cristóbal Zagal, que extendía parte de algunos conceptos de control térmico pasivo usando algoritmos genéticos. Partes de las pruebas se hicieron en el laboratorio dirigido por el profesor Marcos Flores quien facilitó una cámara de vacío para estos fines.

En la Figura 19, otro de los experimentos que trabajé con el apoyo del estudiante de Doctorado en Ingeniería Eléctrica Miguel Martínez. Estos datos fueron tomados con el Langmuir probe (o sensor de partículas ionizadas) y el contador de partículas. Aquí se muestran los resultados principales del contador de partículas donde somos capaces

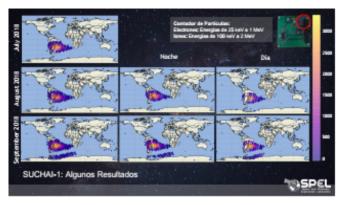


Figura 19

de replicar con un instrumento bastante más pequeño, de menor costo, las mediciones obtenidas con satélites de mayor envergadura y también los datos tomados por el Cubesat de 3 litros de la Universidad de Colorado, mostrado en unas diapositivas antes. Que el instrumento sea muy miniaturizado es relevante pues abre la puerta para poder colocarlo en muchos más vehículos, incluso en vehículos de menos de 100 gramos, lo cual puede ser relevante para estudiar la anomalía del sur atlántico con muchos más sensores simultáneamente.

También hemos sido capaces de correlacionar esto con mediciones en tierra de alteraciones de la señal de radio, producto de un aumento de la ionización en la alta atmosfera (Figura 20). Esta señal de radio es usada en receptores de posicionamiento global (GPS) de calidad geodésica para dar la posición del receptor con precisiones de milímetros. Estos receptores están distribuidos por el mundo y en particular a lo largo de Chile. Parte de estos datos son facilitados por el Centro Sismológico Nacional. Se está estudiando cómo se relacionan estos dos fenómenos, el aumento de la intensidad de partículas en la anomalía con perturbaciones en los sistemas de posicionamiento global producto de su interacción con la atmosfera ionizada o ionosfera. Por otro lado, el o los satélites no están todo el tiempo pasando por la anomalía, por lo que medir desde tierra con estos sensores permitiría tener estimaciones de la cantidad de partículas cargadas atrapadas en las líneas de campo durante tormentas (aunque los satélites no estén pasando por ahí). Cuantificar la cantidad de partículas cargadas moviéndose a lo largo de las líneas de campo magnético de la tierra nos ayuda a cuantificar con mejor precisión la potencial radiación que podría transmitir un planeta extra sistema solar (o exo planeta) en la interacción con su estrella, en particular durante periodo de tormentas solares.

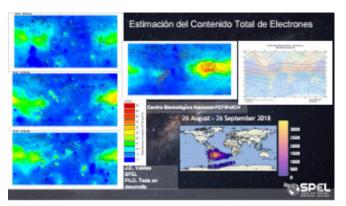


Figura 20

En la Figura 21, imágenes de lo que estudiamos con el equipo del Profesor Marcos Orchard, relacionado al estado de salud de las baterías y de modelos de cómo estimar su tiempo de vida bajo ciertas condiciones de operación, e idealmente desarrollar estrategias de operación que extiendan su vida. En este proyecto nos concentramos en algoritmos para medir en el espacio las baterías y así estudiar su degradación en el espacio y el efecto que tiene el ambiente hostil del espacio en ellas. Aquí ocupamos infraestructura también del laboratorio de la Profesora Viviana Meruane para cuantificar el efecto de las vibraciones del viaje (el cohete) en las baterías y así poder substraer el efecto de las vibraciones en las baterías una vez en el espacio.



Figura 21

En la Figura 22, podemos ver el experimento que se diseñó con el profesor Claudio Falcón y el estudiante de Magister José Ogalde, relacionado al tema de electrónica fuera de equilibrio que es extremadamente miniaturizada, por ende, muy factible de realizar en estas plataformas espaciales y

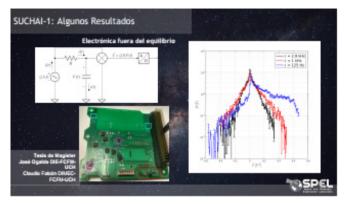


Figura 22

SUCHAI 2, 3 y PlantSat

Tres 3U Cubesats integrados en Chile con instrumentos desarrollados en el país para investigación especial y algunas demostraciones tecnológicas productor por la company de l

Figura 23

que abre varias posibilidades no solo para entender cómo se comporta la electrónica en el espacio, sino también para estudiar el ambiente espacial con este tipo de sistemas.

Uno de los principales objetivos del proyecto SUCHAI era poder transformar este proyecto semilla en un programa espacial que se proyectara en el tiempo. Aunque esto no está totalmente consolidado, ha habido fuertes avances en esta dirección. En una primera etapa era muy importante ser capaces de poder atraer financiamiento externo al programa, idealmente de corte investigativo y concursable con nuevas misiones que apoyen el entrenamiento de capital humano avanzado y que favorezcan colaboraciones multidisciplinarias. Mientras estábamos a la espera del lanzamiento postulamos a varios Fondos, ganando varios de ellos tanto a nivel nacional, como internacional. El espacio, de por sí, es un problema multi-disciplinario por lo que es natural establecer relaciones fuera de nuestro laboratorio y la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Nuestras colaboraciones se han extendido a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile y otras Universidades como la Universidad de Santiago de Chile (que es nuestro principal colaborador) y últimamente con la Universidad de Antofagasta, de Valparaíso, Católica, de Concepción, Católica de Valparaíso y Federico Santa María por nombrar algunas. También tenemos una fuerte colaboración con la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN)

En la Figura 23, las 3 nuevas misiones. En cada uno de estos tenemos sensores que nos permiten medir el ambiente espacial (campo magnético, partículas cargadas y radiación electromagnética), pero como los satélites son de mayor volumen, podemos evaluar cómo se comportan en el espacio distintos Sistemas tanto naturales como

artificiales, que no han salido de la Tierra antes. Tenemos una misión biológica que pretende estudiar cómo cierto tipo de plantas y ecosistemas sobreviven en este ambiente hostil y nuevamente tiene relación con la cuantificación de cuál es el tipo de radiación que pueden tolerar estos potenciales ecosistemas; principalmente, porque nos va a dar luces de qué ecosistemas pueden vivir en estos otros exoplanetas o qué cosas se pueden llevar en las misiones planetarias para poder sostener la vida humana en el espacio. Por ejemplo, necesitamos a otros organismos para que degraden o transformen nuestros desechos y tenemos que saber qué cuáles de ellos podrían tolerar el ambiente hostil de mejor forma.

Otra de nuestras misiones está relacionada con sistemas de radio, que tienen potencialidades de medir el ambiente espacial, pero también son la base de potenciales receptores de las señales de radio provenientes de potenciales exoplanetas o exo-auroras. Además, estos sistemas pueden tener aplicaciones tanto en comunicaciones, como en sistemas de posicionamiento global y como sistemas de guía. Los sistemas de guía de radio pueden apoyar el apuntamiento de satélites que tienen sistemas de comunicación de laser (con haces muy delgados) con el telescopio receptor en tierra o con otros satélites.

En esta misión también exploraremos el uso de satélites aún más miniaturizados (o femto-satelites), satélites que son del tamaño casi de un celular o más pequeños que llevan ahora estos contadores de partículas y nos van a permitir medir la zona de la anomalía con más puntos y por ende poder estudiar la dinámica de esta zona, porque podremos saber si la variación es espacial o temporal, algo imposible de hacer con solo un satélite o con un número pequeño se satélites.

Estamos trabajando con la Comisión Chilena de Energía Nuclear en propulsión de plasma que puede ser muy relevante para el apuntamiento de alta precisión, alcanzando precisiones más allá de las alcanzadas por las ruedas de reacción, como las que se vieron en uno de los videos anteriores.

Una última misión explora el uso de percepción remota con estos vehículos. En particular pretendemos estudiar la contaminación lumínica producida principalmente en la banda de las luces LED frías, como un servicio a la astronomía en Chile, pero también como un ejercicio intermedio para hacer astronomía espacial en bandas que se vayan acercando al UV. Como comenté antes, la radiación UV es algo que podría ser una indicación de una actividad solar que pudiera intensificar una señal de radio de un par estrella-planeta.

Esto es un trabajo en equipo, no tengo palabras para describir el esfuerzo y compromiso de las personas que han contribuido tanto las que han pasado como los que se han quedado (Figura 24).



Figura 24

En la Figura 25 vemos a Carlos González que fue uno de los estudiantes del comienzo que ahora aparece ya dirigiendo las conversaciones y las reuniones del equipo de trabajo actual. A lo largo de estos años, se ha podido formar un laboratorio, el Laboratorio de Exploración Espacial y Planetaria, donde se están desarrollando estas misiones, pero lo más importante es que se ha ido formando una camada de Ingenieros e investigadores en el área espacial que esperamos nos siga llevando a nuevos desafíos en el futuro. Pero estos ejercicios van más allá del área espacial. Tenemos estudiantes que por la afinidad de los tópicos



Figura 25

han partido a otras áreas, como es el caso de José Olgalde que hoy trabaja en ALMA, así como otros integrantes trabajando fuera del país en tópicos relacionados con la instrumentación geofísica.

Podemos ver a la nueva camada de gente, ninguno de los que aparecen ahí es de los galardonados actualmente, pero probablemente en el futuro serán reconocidos por los resultados que podrían obtener con las nuevas misiones (Figura 26).



Figura 26

Para terminar, quiero agradecer al Instituto de Ingenieros de Chile como institución, pero en particular, al presidente Ricardo Nicolau del Roure y a Carlos Gauthier que lo representan en esta ceremonia. También quiero agradecer a Patricia Núñez, también del Instituto, por su gran esfuerzo en la coordinación de este evento y a través de ella a todo el equipo humano que hizo esto posible en un año distinto en cuanto a la ceremonia.

También quiero agradecer a nuestras familias, no quiero particularizar demasiado puesto que hay una gran diversidad en el equipo, no quiero solo detenerme en nuestras parejas, hijas e hijos, que muchas veces son los que pagan el costo de la falta de tiempo al tomar este tipo de compromisos o derechamente locuras, sino que también nuestras familias extendidas abuelas/abuelos, madres/padres, hermanas/hermanos, tías/tías, primas/primos, sobrinas/sobrinos y amigas/amigos también, porque gracias a todos ellos, a su amor, dedicación, paciencia y tolerancia es por lo que estamos aquí y podemos hacer lo que hacemos. Por eso unas infinitas gracias.

Quiero agradecer a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, no solo por su temeridad y compromiso con este tema, sino que también por la visión de Estado que le dan sus autoridades, no solo los Decanos, toda la capa de autoridades que tenemos a nuestra Facultad. La investigación requiere de esta visión de largo plazo para florecer y para dar resultados incluso si no son los esperados. También quiero agradecer al sistema administrativo/funcionario de la FCFM, que, si bien tiene dificultades por las restricciones muchas veces impuestas, generalmente funciona como equipo y siempre están tratando de resolver los problemas y tienen una visión de largo plazo y de apoyo a este tipo de iniciativas. Sin ellos esto tampoco hubiera sido posible.

También quiero destacar la generosidad de nuestros colegas de la FCFM y de la Universidad de Chile. Podría haber sido complejo que se inyectarán recursos como se le inyectó al SUCHAI 1 desde la Facultad, pero no lo fue, más allá del sano debate de por qué invertir en esto y no en otra cosa. Porque esta generosidad fortalece no solo nuestro compromiso, sino que también nuestra responsabilidad de retribuir esto a la Facultad y su gente, tratando de convertir este tema en algo que estimule y potencie a sus académicos, estudiantes y funcionarios y de esa forma ser un motor para toda la Universidad y el país. Quiero destacar aquí el apoyo y la generosidad de la profesora Diana Comte y del Profesor René Garreaud, ambos del Departamento de Geofísica, que han apoyado muchísimo a nuestro laboratorio con proyectos y con financiamiento para la formación de las personas a través del Centro de Tecnología Avanzada para la Minería (AMTC).

Agradecer a nuestros colegas de otras Facultades, como el profesor Alejandro Valdivia y el profesor Pablo Moya y de otras universidades/instituciones, particularmente a la profesora Marina Stepanova de la Universidad de Santiago de Chile, el Dr. Leopoldo Soto y Dr. Gonzalo Avaria (ambos de CCHEN) que están apoyando fuertemente las nuevas misiones.

Sin embargo, mi agradecimiento más efusivo quiero darlo a los estudiantes del equipo por su gran entrega y dedicación. El nivel de compromiso, determinación y profesionalismo (aunque muchos de ellos eran estudiantes durante gran parte del proyecto) fue la clave del éxito de este proyecto. Mucho del esfuerzo que hacemos en la Universidad de Chile es para poder ofrecer a nuestros estudiantes las condiciones para que desarrollen todo su potencial y la satisfacción es enorme cuando ves a un grupo humano que toma esas oportunidades, que son un desafío, y se lo apropia y lo lleva adelante con una determinación admirable. La imagen que vemos nos da otra muestra de este compromiso, algunos miembros del equipo están ahora en el laboratorio porque teníamos tareas programadas para hacer hoy en este horario, y en los tiempos que corren es difícil reprogramar esto. Es por esto que ellos están ahí en el laboratorio y están ahí a pesar de que podrían estar en sus casas aceptando este merecido reconocimiento, pero están trabajando ahí, para las nuevas misiones, para la Facultad, para la Universidad y para el país. Esto son ellos y por eso no tengo dudas de que este equipo nos seguirá acercando a las estrellas.

Muchas gracias

(Aplausos).

# PREMIOS A LOS ALUMNOS DESTACADOS DE INGENIERÍA CIVIL - AÑO 2020



El viernes 9 de octubre de 2020, vía Zoom, tuvo lugar la ceremonia de entrega de los Premios "MARCOS ORREGO PUELMA", "ISMAEL VALDÉS VALDÉS" y "ROBERTO OVALLE AGUIRRE", año 2020.

El Sr. Ricardo Nicolau del Roure, Presidente del Instituto, inició este solemne acto con una breve y significativa alocución en la que destacó el fundamento de cada premio.

#### El Presidente.

—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 premios, y por otra parte, rendimos un merecido homenaje a los Ingenieros Civiles más destacados que han egresado de nuestras Universidades.

Hago presente que los honores mencionados se dan en una situación inédita para nuestra Institución y probablemente para todos en el país, ya que no puede utilizar el Salón de Actos de nuestra sede para una ceremonia como esta, que es un Salón de Actos muy específico, muy esencial que le da un realce particular a ceremonias como estas. Pero les hago presente que mantenemos el entusiasmo intacto para que esta reunión quede en nuestros Anales como una sencilla, pero emotiva ceremonia de homenaje a nuestros premiados y que gracias a Reuna, tiene hoy una gran cobertura y podemos desarrollarla. Y va a quedar por supuesto como una primera ceremonia y no sabemos si vendrán otras ceremonias virtuales de premiación.

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 recibida, el Instituto forma una Comisión integrada por uno o más miembros del Directorio y un miembro del Consejo Consultivo del Instituto, quienes junto a los Decanos o académicos que cada Facultad designa en su representación, examinan los antecedentes de los candidatos, los seleccionan y efectúan la proposición al Directorio y al Consejo Consultivo del Instituto, que en sesión conjunta y solemne procede a discernir cada uno de los premios. Es un procedimiento muy riguroso, muy selectivo y solemne.

Ahora quienes fueron estos distinguidos ingenieros cuya memoria honramos hoy día, brevemente.

#### PREMIO MARCOS ORREGO PUELMA

Don Marcos Orrego Puelma, nació en 1890 y falleció muy tempranamente 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, cabe señalar que esa empresa en esa época era "la gran empresa de Chile". 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, muy longevo. 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 para los trabajadores. En este aspecto, dejó una lección de solidaridad humana, que tuvo el raro privilegio de ser reconocida por su personal mientras vivía.

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 Presidente del Instituto de Ingenieros, completar 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 este Instituto.

La Institución que hoy los distingue, que cumple 132 años de existencia el próximo 28 de octubre, y por eso en octubre se entregan los premios, sigue vigente y desarrollándose con gran vitalidad. Y ustedes quizás no se imaginan cual era el entorno de Chile en el año 1888 cuando este Instituto fue fundado. Bueno, acabábamos de terminar una guerra con nuestros vecinos del norte y estábamos abocados a desarrollar el país, el ferrocarril se adentraba hacia el sur de Chile. Ese año se iniciaba la construcción del famoso viaducto del Malleco, ese puente tan bello que salva un río que impedía continuar hacia el sur y llevar el desarrollo. Fíjense que simultáneamente con la construcción de ese puente, en el mundo se estaba construyendo la Torre Eiffel y en Estados Unidos el Puente Brooklyn. O sea ese era el entorno del mundo y del país cuando el Instituto fue fundado.

Su esencia consiste en que aquellos ingenieros que ingresan como socios tienen presente que esta es una entidad que tiene como característica fundamental, que sus socios realizan aportes al desarrollo de la enseñanza de la ingeniería, y a través de ella y como consecuencia de estos aportes contribuyen al desarrollo de nuestro país. Y en ese sentido las contribuciones que ha hecho el Instituto de Ingenieros de Chile a las políticas públicas y al desarrollo de Chile han sido numerosas y de muy alta relevancia en algunos casos.

Para concluir quiero mencionar a ustedes que el Directorio de esta corporación acordó hace ya muchos años que los ingenieros agraciados con los premios anuales y recién egresados 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 sientan de alguna manera interesados de escuchar la experiencia de sus mayores. Permítanme entonces expresar mis más sinceras felicitaciones a los Ingenieros que hoy serán distinguidos con estos premios y a sus familias.

A continuación, el Presidente del Instituto, don Ricardo Nicolau del Roure hace entrega en forma simbólica del Diploma y Medalla Recordatoria a cada uno de los galardonados:

#### Premio Marcos Orrego Puelma.

Universidad de Chile: Felipe Eduardo Atenas Maldonado; P. Universidad Católica de Chile: Ariel Esteban Seisdedos Alvarado; Universidad de Concepción: Fernando Ariel Maureira Manríquez; Universidad Técnica Federico Santa María: Hans Carl Lehnert Merino; Universidad de Santiago de Chile: Adolfo Javier Guzmán Leiva; Universidad Diego Portales: Gonzalo Andrés Muñoz Ross; P. Universidad Católica de Valparaíso: Sebastián Antonio Vergara Inostroza, y Universidad de Los Andes: Margarita María Estévez Caballero.



#### Premio Ismael Valdés Valdés.

Universidad de Chile: Nicolás Ignacio Pereira Riveros; P. Universidad Católica de Chile: Sofía Edurne Lues Soto; Universidad de Concepción: Francisco Beltrán Uribe; Universidad Técnica Federico Santa María: Javier Ignacio Romero Schmidt; Universidad de Santiago de Chile: Gustavo Ignacio Contreras Trujillo; Universidad Diego Portales: Mario Ernesto Freed Huici; P. Universidad Católica de Valparaíso: María Catalina Niño de Zepeda Labayru, y Universidad de Los Andes: Juan Pablo Karmy Diban.



#### Premio Roberto Ovalle Aguirre.

Universidad de Chile: Diego Antonio Alvarado Lazo; P. Universidad Católica de Chile: Carlos Alberto Lagos Salgado; Universidad de Concepción: Daniel Ortega Cárcamo; Universidad Técnica Federico Santa María: Felipe Ignacio Morales Marín; Universidad de Santiago de Chile: Tomás Alejandro Child Rojas; Universidad Diego Portales: Javier Ignacio Carrión Ramos; P. Universidad Católica de Valparaíso: Alejandra Sepúlveda Montecinos y Adrián Sanhueza Barrera, y Universidad de Los Andes: José Martín Gutiérrez Pinedo.



A continuación, el ingeniero Adolfo Guzmán Leiva de la Universidad de Santiago de Chile, en representación de los premiados expresó sus agradecimientos, en los siguientes términos:

#### Sr. Adolfo Guzmán.

—Estimados Decanos, Representantes de Decanos, Sr. Presidente del Instituto de Ingenieros, miembros y socios del Instituto, familiares, amigos y amigas. Dadas las singulares circunstancias en las que nos vemos envueltos optaré por ser breve.

Es un agrado ver que el camino del conocimiento, del estudio, la disciplina y la dedicación ha llevado a que un grupo tan heterogéneo de personas, de diferentes universidades, intereses y realidades se encuentren en este breve momento.

¿Y no es a la larga que esas cosas pequeñas son las que arman nuestras vidas? Cada taza de café, las horas sin dormir, las veces que pospusimos compromisos sociales para estudiar, los amigos que elegimos, cada decisión correcta o errada nos trajo hasta aquí. Este galardón no solo recae en nosotros por un resultado académico, no, para nada; sería muy frío (y poco riguroso) resumir nuestra vida universitaria en un estadístico como el promedio.

Este galardón es una caricia que repasa cada momento que vivimos en la academia, cuando no sabíamos qué hacer, cuando esa pregunta complicadísima apareció en la prueba y, en una iluminación, nos resultaba, cuando entregamos el informe el minuto antes de que cerrara la entrega, porque estuvimos arreglando un detalle.

Este galardón es una motivación para asumir nuestro rol de ingenieros como constructores de una sociedad más justa y equitativa, que nuestros conocimientos no queden relegados a una realidad a la cual la mayoría no pueda acceder si no que cimente el camino para que las generaciones venideras tomen nuestro testimonio tal cómo nosotros lo hicimos al elegir esta profesión llena de desafíos y de responsabilidad con nuestro país.

Comienzo a despedirme con la más profunda gratitud a todos aquellos que hicieron posible que obtuviéramos este reconocimiento, nuestra familia, amigos, profesores y unas enormes felicitaciones a nosotros mismos, que al final del día somos los únicos capaces de tomar el martillo para forjarnos con el tesón y el temple necesario para ser los grandes profesionales que nuestro país se merece.

Muchas gracias.

(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 a los Ingenieros Nicolás Majluf Sapag y Jorge Yutronic Fernández. Estas entrevistas, como las que se hagan en el futuro, serán objeto de una publicación especial.

#### NICOLÁS MAJLUF SAPAG.

#### "Transitando desde lo formal a lo sutil".

Entró al colegio cuando recién tenía 5 años. Era un colegio de barrio creado por Monseñor Carlos Casanueva, quien fuera Rector de la Universidad Católica por más de treinta años. Por eso él dice que, sin saberlo, ha estado ligado a la Universidad Católica desde esa edad.

Las circunstancias de la vida lo llevaron a estudiar ingeniería. El ser bueno para las matemáticas y el comentario de una prima que un día dijo que Ingeniería Química era lo mejor, lo ayudaron a su decisión.

En una época donde se decía que la Universidad Federico Santa María era la mejor para estudiar ingeniería, su madre hizo lo posible para que no se fuera a Valparaíso y es así como entró al primer año de Ingeniería en la Universidad Católica el año 1961, cuando tenía 16 años recién cumplidos.

El primer año de la Universidad implicó para él un cambio relevante. Del grupo pequeño de compañeros del colegio conocidos por varios años, pasó a integrar un grupo grande y sin personas conocidas. Se formaron dos cursos paralelos de algo más de 100 alumnos cada uno. Los ramos eran todos matemáticos, como Cálculo, Geometría, Geometría Analítica y Geometría Descriptiva. Las calificaciones eran muy exigentes y recuerda haberse eximido de Cálculo con una nota que no llegaba al 5.

En segundo año las cosas cambiaron. Menos de la mitad de los alumnos de primero lograron aprobar todos los ramos. Los de su especialidad eran cuatro alumnos y con este grupo de estudios permaneció todos los años restantes en la Universidad.

Cuando egresó el año 1966, permaneció haciendo clases y terminando su memoria por un año y medio adicional. Eran los años en que se usaba aún la regla de cálculo. La década de los 60 la recuerda como una época de gran transformación. Hubo eventos que cambiaron su forma de ver la vida, como el Concilio Vaticano II, la crisis de los misiles de Cuba, la llegada del movimiento hippie y la música de los Beatles.

Además, los acontecimientos políticos que terminaron con el asesinato del presidente Kennedy y del líder del movimiento civil en Estados Unidos, Dr. Martin Luther King



remecieron al mundo. En Chile, la toma de la Universidad Católica fue un evento impactante. Fue un periodo de gran turbulencia. Recién en esta década del 2020, piensa estar experimentando nuevamente una transformación social con una radicalidad que le hace recordar la década del 60.

La carta de admisión al magíster en Investigación Operacional en la Universidad de Stanford le llegó en los primeros meses de 1969, pero había un problema, con su novia pensaban que lo ideal era irse casado. No tuvo tiempo para preparar la boda, por eso risueñamente dice: "me casé apurado". Stanford fue como una luna de miel prolongada. Viajaron junto a sus amigos, Bruno Philippi y señora, que se habían casado seis meses antes que ellos.

En 1970, después de haber regresado de Stanford, se desempeñó como profesor por media jornada, dejando la otra mitad para trabajos de consultoría y como ingeniero en la empresa Petroquímica Chilena. Como profesor, le correspondió participar en la definición de un nuevo currículo para ingeniería con una visión sistémica, desafío que relata en el prólogo de su libro "Los Desafíos de la Gestión".

Hacia fines de 1975, Nicolás Majluf sentía la necesidad de dar un salto en su nivel de conocimientos y decidió hacer un doctorado. En MIT empieza el cambio más relevante de su vida profesional y académica. Durante el primer año consideraba que MIT era una buena Universidad, pero no alcanzaba a entender lo que explicaba su prestigio. Pero en el segundo año todo empieza a cambiar para él, con

profesores como Robert Merton en Finanzas, quien después obtendría un Premio Nobel, y con Stewart Myers, quien fue su profesor guía en la tesis de doctorado. También asistía a las clases de Paul Samuelson, Franco Modigliani, Robert Solow, todos profesores con Premios Nobel. Además, estudió Economía con Stanley Fisher, Economía Centralizada con Martin Weitzman y Cultura Organizacional con Edgar Schein. Una muestra de la élite académica de MIT, donde sintió que lo exigieron más allá de lo que creía capaz de dar y donde cambió completamente su visión de lo que era la ingeniería. Todo lo que le ocurre después en la vida, tiene sus raíces en la experiencia de MIT.

Regresó a la Universidad Católica en febrero de 1979 y se integró como profesor de tiempo completo, donde armó un curso de Finanzas que enseñó por varios años y también asumió la Subdirección Académica. En esa época le correspondió dirigir, en su calidad de Coordinador General, el Programa de Evaluación del Rendimiento Escolar, que dio origen a lo que hoy es el SIMCE.

En 1985 tomó un año sabático como profesor visitante de MIT, empezando su colaboración académica con Arnoldo Hax, a quien conocía de sus tiempos como estudiante en la Universidad Católica y con quien ya había escrito un libro sobre estrategia, en su estadía anterior en MIT. A lo largo de los años escribieron tres libros sobre el tema y después un cuarto libro, "El modelo Delta" donde ubican al consumidor en el centro de las estrategias exitosas.

También colaboró junto a Arnoldo Hax en otros proyectos de gran relevancia para la Universidad y el país. En el año 1989 la Universidad Católica cumplía 100 años y decidieron proponer la realización de un seminario de alto nivel para contribuir a la celebración del centenario de la Universidad. A ese primer seminario vinieron el Premio Nobel Franco Modigliani y el ex Decano de la Escuela de Negocios de MIT William Pounds, que en esa época estaba a cargo de manejar el patrimonio de la familia Rockefeller. Fue tanto el éxito de este seminario, que completaron un ciclo de 18 seminarios consecutivos en los meses de enero de cada año. De este modo, él reconoce que la contribución de Arnoldo Hax y sus invitados a la excelencia de la gestión en el país ha sido extraordinaria. La Universidad Católica también reconoció este hecho y le dio a Arnoldo Hax un Doctorado Honoris Causa.

Majluf estuvo un año en la Dirección Superior de la Universidad, como Director General Académico. Justo

al terminar ese trabajo, lo llamaron de Provida y lo postularon al Directorio de CTC. Ese fue el comienzo de una larga y fructífera carrera como director de empresas, que dura hasta el día de hoy. Fue director de empresas muy relevantes como Codelco, Falabella, Empresas Copec, Celulosa Arauco y varias otras. En Codelco fue Director en dos períodos distintos, llegando a ser el primer Presidente del Directorio que no era Ministro de Minería.

En 1991 asumió la responsabilidad del curso Organización y Comportamiento en la Empresa. En esa época él enseñaba Finanzas y Estrategia. Las Ciencias del Comportamiento no le resultaban muy afines, aunque entendía su relevancia. Por ello, solicitó ayuda a la profesora Nureya Abarca de Psicología y al profesor Darío Rodríguez de Sociología. Tenían que definir el contenido del curso y la forma de enseñarlo a alumnos de Ingeniería, quienes están muy lejos de estos temas. A lo largo de los años, y con la ayuda de muchos profesores, le fue dando un contenido y un estilo al curso. En 2011 publicó el libro "Los Desafíos de la Gestión: De lo formal a lo sutil". El subtítulo del libro resume la historia de lo que le ha ocurrido, que lo hizo moverse de "lo formal", que es la gestión entendida como modelos matemáticos, fundada en lo cuantitativo, a "lo sutil", que tiene que ver con el comportamiento de las personas, su mundo interior y la forma de relacionarse. A lo anterior sumó el tema de Ética y Responsabilidad Social, y en octubre de 2019 publicó con la profesora Nureya Abarca el libro "Liderazgo Efectivo: Centrado en la persona, basado en la influencia y ejercido con sensatez".

Lo que describe su vida es que nunca ha estado enfocado en un solo tema. Se ha movido por diversas materias. Es especialista en Planificación Estratégica, pero considera que no ha tenido una vida planificada. Lo que caracteriza su vida, según él, es que se ha movido a la deriva. Sus amigos le dicen que la palabra que lo describe mejor es "profesor". Él dice ser un "ingeniero a la deriva" que, a lo largo de muchos años ha ido avanzando paso a paso en un proceso de maduración permanente, la comprensión de los problemas de la ingeniería y de la vida.

Hoy, con 6 hijos y más de 50 años matrimonio, piensa que lo más importante es la vida familiar. Entre sus talentos, cree tener una capacidad para mirar los temas y problemas del mundo, de un modo que no necesariamente es común en otras personas. Los problemas no tienen estructura. Asegura que el esfuerzo hay que ponerlo en la identificación del problema y no en la solución del mismo. Una vez

que se sabe de lo que se está hablando y se logra estructurar el problema, se puede recurrir a los programas de optimización propios de la Investigación Operacional. A sus alumnos les ilustra eso diciéndoles que el verdadero desafío es escribir los enunciados de los problemas de una prueba, más que resolverlos. Pues si logran escribirlos, es porque han logrado entender y estructurar la situación.

En este transitar, ahora no se puede imaginar una ingeniería que no se haga cargo de los temas de gestión. Esta formación es la que se debe dar en Ingeniería Industrial, entendida como una combinación virtuosa de los temas más cuantitativos de la ingeniería con la gestión.

Por eso, para él, el futuro de la Ingeniería tiene que formar a los alumnos para adquirir una visión de los grandes temas del mundo. Son temas de alta complejidad que afectan el bienestar de la humanidad, como el calentamiento global, el medio ambiente, el equilibrio social, y otros. El futuro de la ingeniería está en estos temas. De allí la importancia de desarrollar en los ingenieros el talento para "descubrir el problema" e "interpretar los signos de los tiempos". Ojalá, concluye diciendo, tengamos la capacidad de llegar a identificar, formular y estructurar estos problemas.



#### JORGE YUTRONIC.

#### Un ingeniero renacentista.

Desde muy pequeño tuvo habilidades aritméticas, las que fueron promovidas por sus familiares más cercanos. Su padre le hablaba de Nikola Tesla, un inventor originario de Smiljan, un pueblo cercano donde había nacido su abuelo Juraj, en la antigua Yugoslavia. También en casa de su abuelo materno Juan, en Rupanco, se desarrollaron sus inquietudes ingenieriles al querer llevar electricidad a la casa donde él vivía, lejos de la ciudad, lo que junto a sus hermanos pudo lograr hacia fines de su adolescencia.

Entró a la Universidad de Chile a estudiar Ingeniería, única opción factible para él y donde se sorprendió al encontrar profesores que sabían mucho y ayudaban a progresar académicamente a sus alumnos. Uno de ellos fue Guillermo González Rees, quién le enseñó el mundo del control automático y de quien posteriormente fue ayudante de investigación. Otro fue Agustín León, que hacía clases en la universidad a la par de ejercer la profesión en proyectos relevantes para el país. En matemáticas recuerda a Moisés Mellado, profesor de Cálculo, de quien fue ayudante docente después. En física termodinámica tuvo como profesor a Patricio Martens y en electromagnetismo a Igor Saavedra. El circuito de aprendizaje era: clase, inspiración mediante diálogo con el profesor, profundización en libros y artículos, para finalizar con trabajo de laboratorio.



Así, las materias le llevaban de un desafío a otro. Con Guillermo González aprendió que aplicar teoría de control automático a un tema, como por ejemplo las máquinas eléctricas, también lo podía aplicar a otros, como equipos químicos, metalúrgicos o mecánicos.

Todo esto le amplió su "lenguaje universal", que sintetizó con control automático, matemática, computación, y luego lo proyectó a toda la automatización, estableciendo puentes con otras profesiones.

Al salir de la Universidad, ingresó a ENDESA, invitado por Agustín León para incorporarse a la Gerencia de Ingeniería que conducía Carlos Doggenweiler. Su primera función fue como ingeniero a cargo de hacer inspecciones de equipamiento eléctrico en las fábricas, de acuerdo con las normas internacionales, en particular, en los transformadores de poder. Después de más de dos años, vivió la transición hacia otro desafío, esta vez en la convergencia del control automático y la minería. Estuvo nueve años en la Universidad de Concepción haciendo proyectos, principalmente de automatización y optimización de procesos, para la Minería, Siderurgia, Celulosa y Papel, Energía y otros tipos de industrias. Esto era inédito en la universidad y todo surgió por una restricción de importar tecnología impuesta por Estados Unidos, con lo cual nuestro país se situó entre los más avanzados del mundo en el control de plantas de molienda, además de Finlandia y Estados Unidos.

En este contexto, Andrés Navarro el fundador de SONDA, invitó al grupo universitario a formar parte de la empresa en acuerdo con la universidad. Así, en 1985 iniciaron el ámbito de Automatización en SONDA, donde durante quince años desempeñó diferentes posiciones gerenciales. La experiencia y aprendizajes logrados en la automatización se proyectaron a mayores alturas tecnológicas, a otras industrias y a otros países.

Participó en el desarrollo de la plataforma digital SCAUT, una de las pocas existentes a escala global a fines de 80s y comienzo de 90s. A esto se sumaron los proyectos de digitalización en la banca, las AFP, el transporte público, sistemas de control de contaminantes ambientales, sistemas de comunicaciones para la Marina y varias iniciativas en modernización del Estado, como el sistema de compras públicas, entre otras.

Había sistematizado los aprendizajes para trabajar con empresas, universidades y organismos públicos y con ello pudo contribuir a los debates de la comunidad científicotecnológica para desarrollar iniciativas para que el país pudiera transitar a la recuperación democrática. En particular, las convocadas por SOTEC, entidad dirigida por Joaquín Cordua. Ya en 1987 la Fundación Chile era la casa de encuentro de la comunidad científico-tecnológica, y desde allí se formularon planteamientos para una política pública en ciencia y tecnología.

Iniciado el gobierno del presidente Patricio Aylwin en 1991, el presidente de CONICYT Enrique d'Etigny lo invitó a organizar y dirigir el Fondo de Fomento Científico y Tecnológico (FONDEF), con el fin de aumentar significativamente las actividades de Investigación y Desarrollo entre universidades, empresas y otras instituciones. Así empezó a colaborar con las políticas públicas, lo cual sumaba a sus actividades en la empresa y en la academia, donde acostumbraba realizar cursos y guiar tesis.

En FONDEF logró la realización de un importante número de proyectos relevantes. Primero en Agricultura y Alimentos, Acuicultura y Pesca, Manufactura, Minería, Energía, Forestal, luego en Salud, Educación e Infraestructura.

Luego se iniciaron más de 10 programas para catalizar el desarrollo científico-tecnológico, entre ellos: EXPLORA, FONIS, Genoma Chile, TIC-EDU, Acuicultura de Clase Mundial. De particular significado para él era EXPLORA (Divulgación de la Ciencia y Tecnología con foco en la Comunidad Escolar), pues permitía abrir el mundo de las ideas y los conocimientos a los estudiantes, con la activa participación de sus profesores. Con la Dra. Haydée Domic, su artífice y primera Directora, un equipo de profesionales y la colaboración de científicos, entre ellos Jorge Alliende y José Maza, se logró que participaran numerosas escuelas, liceos y universidades a través de todo el país.

Junto con el desarrollo científico, era necesario aumentar la innovación en el país. Por ello, a comienzo de los 90s se creó el Programa de Cultura de la Innovación, que desarrolló una serie de iniciativas para promoverla. Ya en 1996 este programa había dado curso a la creación de entidades dedicadas a la Innovación en el Ministerio de Economía, en CORFO y en CONICYT, entidad en la cual colaboró hasta 2006, además de ejercer sus actividades profesionales. Posteriormente, ha desarrollado empresas tecnológicas, donde ha diseñado programas para fortalecer las universidades, con convenios de desempeño en innovación, formación de profesores, renovación de Facultades de Ingeniería (ING2030) y otros, además de realizar consultoría internacional en desarrollo e innovación.

La dimensión cultural de la ingeniería se fue expresando con fuerza para él, con sus componentes antropológicos, sociológicos, psicológicos, filosóficos y literarios. Sobre todo, al realizar trabajos en el extranjero, como ocurrió en el proyecto de control computarizado de tráfico urbano

de Sao Paulo, con la diferente interpretación de normas, criterios de ingeniería y el comportamiento de las personas. Entonces, diseñó un primer modelo para representar un proyecto, una obra de ingeniería en un determinado contexto cultural, luego decodificarlo y posteriormente recodificarlo en otro contexto cultural, determinando qué cambios serían necesarios para su aplicación. De este modo puede trasladar experiencias de Chile a Brasil y viceversa, y también de Finlandia o Corea a Chile. Esto demanda un esfuerzo importante de comprender cada cultura, las cuales corresponden más a territorios, etnias y ciudades, que a naciones. Con esto, considera que las soluciones de ingeniería son más efectivas e inclusivas, de más calidad, y más sostenibles.

Jorge Yutronic no espera ser recordado por algo en particular, pero sí busca que su trabajo de ingeniería tenga sentido, que sea valioso para otros, y ayude a una mejor vida de las personas. Al definirse en pocas palabras, señala que alguien lo llamó "ingeniero renacentista", por su capacidad de integrar disciplinas.

De tanto trabajar con gente distinta, dice él, se ha dado cuenta que los ingenieros, científicos y otros profesionales están construyendo un "artefacto gigante" en el planeta Tierra, una suerte de tecnosfera, en la cual cada proyecto

es un pedacito del todo. Este artefacto está siempre activo, crece, y parece estar cobrando autonomía respecto del ser humano. ¿Podrá prescindir de las personas? La inteligencia artificial, la neurociencia y otras disciplinas ya se aproximan a la encrucijada. El futuro de la ingeniería está en conducir y darle destino al artefacto, darle sentido para los seres humanos y la Naturaleza. Entonces, la ingeniería irá más allá de satisfacer las necesidades específicas de algunos, y actuará por el bien común en forma integrada, articulando todas las disciplinas, con armonía. Ese debería ser el futuro de la ingeniería.

Para referirse a sus valores, habla de la "suma de valores" de la vida en familia. La mayoría de los valores que ha vivido se han edificado en ejemplos de sus familiares más cercanos: coraje, abnegación, compromiso, solidaridad, afán de superación, actitud positiva y perseverancia.

Para finalizar envía un mensaje a las nuevas generaciones: "busquen donde puedan construir más valor..., para otros" y cita a Gabriela Mistral y parte de su poema El Placer de Servir: "Toda la naturaleza es un anhelo de servicio; sirve la nube, sirve el aire, sirve el surco. Donde haya un árbol que plantar, plántalo tú; donde haya un error que enmendar, enmiéndalo tú; donde haya un esfuerzo que todos esquiven, acéptalo tú".



## 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 Renato Agurto Colima Antonio Alarcón Baeza Luis Alarcón Cárdenas José A. Aldunate Rivera Raquel Alfaro Fernandois Iván Álvarez Valdés Jorge Andaur Rodríguez Carlos Andreani Luco Rudolf Araneda Kauert Elías Arze Cyr Pedro Arze Cvr Katherine Ascencio Letelier Dante Bacigalupo Marió Daniel Barría Iroumé Cristián Barrientos Gutiérrez Juan Carlos Barros Monge Nelson Basso Cáceres Bruno Behn Theune Carlos Benavides Farías Sally Bendersky Schachner

Sebastián Bernstein Letelier Sergio Bitar Chacra Patricio Bonelli Canales Jorge Bravo Espinosa Simón Bruna Gutiérrez Mateo Budinich Diez Mario Campero Quezada Juan Enrique Cannobbio Salas Carlos Castro Castro Juan Manuel Casanova Préndez Juan E.nrique Castro Cannobbio Jorge Cauas Lama José Ceroni Díaz Rolando Chamy Maggi Aldo Cipriano Zamorano Silvana Cominetti Cotti-Cometti Joaquín Cordua Sommer Luis Court Moock Fernando Crespo Romero Juan Humberto Cruz Rodríguez Pablo Daud Miranda Jeffrey James Dawes José de Gregorio Rebeco

Juan Pablo de la Carrera Raúl Demangel Castro Sergio Délano Concha Joaquín Díaz Quiroga Rodrigo Díez Martínez Esteban Domic Mihovilovic Fernando Echeverría Acuña Raúl Espinosa Wellmann Gustavo Estay Caballero Javier Etcheberry Celhay Hans Feddersen Jungjohann Víctor Figueroa De la Fuente Alberto Figueroa Velasco Sebastián Fingerhuth Massmann Álvaro Fischer Abeliuk Martín Fuenzalida Domínguez Roberto Fuenzalida González Mallén Gajardo Méndez Tristán Gálvez Escuti Luis Garay Lobos Javier García Monge Alex Gildemeister Burgos Arturo Goldsack Jarpa

#### RECONOCIMIENTO A NUESTROS SOCIOS

Rodrigo Gómez Álvarez Ricardo González Cortés Héctor González Garrido Edgardo González Lizama Guillermo González Rees Sergio González Venti Mauro Grossi Pasche

Tomás Guendelman Bedrack Mario Guendelman Bedrak Germán Guerrero Fuenzalida Hernán Guerrero Guerrero Felipe Guerrero Martínez Sergio Gutiérrez Cid

José Antonio Guzmán Matta Edgar Happke Abdulmalak Alejandro Hartwig Carte Cristian Hermansen Rebolledo

Diego Hernández Cabrera Gonzalo Hernández de la Fuente

Erwin Hoehmann Frerk Cristian Ihle Bascuñan Jaime Illanes Piedrabuena Pedro Inojosa Bañados Eugenio Ipinza Poblete Juan Izquierdo Besa

Alvaro Izquierdo Wachholtz Sergio Jiménez Moraga Jerko Jureti? Díaz Carlos Kubik Castro

Mario Kuflik Derman Pedro Lasota Muñoz Juan Carlos Latorre Jaime Lea-Plaza Sáenz Agustín León Tapia

José Miguel Leonvendagar H.
Mario Letelier Sotomayor
Marcos Lima Aravena
Luis Madrid Morales
Julio Magri Rabaglio
Juan Maiz Gurruchaga
Nicolás Majluf Sapag
Jorge Mardones Acevedo
José Martinic Beros

Guillermo Matta Fuenzalida

Sergio Melo San Juan Pablo Mendoza Zúñiga Carlos Mercado Herreros

Luis Mercado Arce Germán Millán Pérez Germán Millán Valdés Ricardo Mohr Rioseco Oscar Molinos Oyanedel Marcela Munizaga Muñoz Eduardo Muñoz Castro

Rodrigo Muñoz Pereira Juan Music Tomicic Ricardo Nanjarí Román

Luis Nario Matus Indy Navarro Vidal

Ricardo Nicolau del Roure G.
Christian Nicolai Orellana
Guillermo Noguera Larraín
Raúl Oberreuter Olivares
Lionel Olavarría Leyton
José Orlandini Robert
Ricardo Ortega Klose
Rodrigo Pacheco Mercado
Verónica Patiño Sánchez

Jorge Pedrals Guerrero
Humberto Peña Torrealba
Andrés Pérez Magalhães
Augusto Pérez Maturana
Rodrigo Pérez Tobar
Víctor Pérez Vera
Kenneth W. Pickering
Luis Pinilla Bañados

Mario Pavón Robinson

Alejandro Polanco Carrasco Olvido Polanco González Daniela Pollak Aguiló Eric Prenzel Leupolt Ignacio Quinzacara Sánchez Rodrigo Ramírez Pacheco

Mariano Pola Matte

Francisco Rayo Calderón Carlos Rebolledo Ibacache Osvaldo Richards Abans Lucio Ricke Gebauer Daniel Ríos Figueroa Bartolomé Rodillo Pérez Darío Rodríguez Puratich Gabriel Rojas Brito

Miguel Ropert Dokmanovic Hugh Rudnick van de Wyngard

Guillermo Ruiz Troncoso
Felipe Sabando del Castillo
Hernán Salazar Zencovich
Armando Sánchez Araya
Jaime Sánchez Haverbeck
Rodrigo San Martin Muñoz
Mario Santander García
Eduardo Santos Muñoz
Rodolfo Saragoni Huerta
Mauricio Sarrazin Arellano
Alfredo Schmidt Montes
Fernando Silva Calonge
Jaime Soto Muñoz

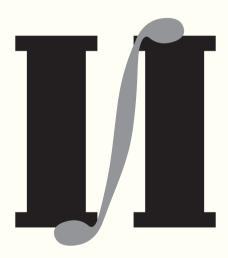
Alejandro Steiner Tichauer Ludwig Stowhas Borghetti Jorge Sturms Forestier Iván Suazo Córdova

Aldo Tamburrino Tavantzis

Carlos Tapia Illanes Pedro Toledo Correa Alberto Trigueros Baratta

Raúl Uribe Sawada
Mario Urrutia Yáñez
Luis Valenzuela Palomo
Cristián Vargas Araya
Ximena Vargas Mesa
Solano Vega Vischi
José Veiga Martínez
Gladys Vidal Sáez
Carlos Vignau Martínez
Jorge Walters Gastelu
Hans Weber Münnich
Andrés Weintraub Pohorille

Francisco Wittwer Opiz
Jorge Yutronic Fernández
Luis Zaviezo Schwartzman



# ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

**Vol. 132, N° 3 - DICIEMBRE 2020** 

"Uno de los pensamientos que más ha preocupado al Instituto de Injenieros, 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 injeniería.

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 Injenieros. Tomo 1, Año 1, 1888).

#### Anales del Instituto de Ingenieros Vol. 132, N° 3, diciembre de 2020.

#### Contenido

# ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN CON SIMULACIÓN DE MONTE CARLO.

Constanza S. Delgado-Alarcón, Edison Atencio, Rodrigo F. Herrera y Felipe Muñoz-La Rivera.

APLICACIÓN EN ALGUNOS RÍOS EN CHILE DE UNA METODOLOGÍA PARA CALIFICAR LA VULNERABILIDAD DE PUENTES EN RELACIÓN CON FACTORES HIDRÁULICOS.

Juan Soto C., Alejandra Muñoz M., Matías Chávez A., Rodrigo Castro C., Felipe Núñez D. y Alejandro López A.

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN OPERACIONAL DEL SISTEMA INTEGRADO PARA LA PREDICCIÓN Y ALARMA DE TSUNAMIS (SIPAT) EN CHILE.

Patricio Catalán M., Alejandra Gubler L., Javier Cañas R., Carlos Zúñiga, Cecilia Zelaya, Leonardo Pizarro B., Carlos Valdés F., René Mena M., Eduardo Toledo D. y Rodrigo Cienfuegos C.

Editor

Raúl Uribe Sawada, Instituto de Ingenieros de Chile.

#### Comité Editorial

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Pág. 87

Pág. 115

Pág. 125

# ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN CON SIMULACIÓN DE MONTE CARLO

Constanza S. Delgado-Alarcón <sup>1</sup>, Edison Atencio <sup>2</sup>, Rodrigo F. Herrera <sup>3</sup>, Felipe Muñoz-La Rivera <sup>4</sup>

#### Resumen

La construcción contribuye al crecimiento económico de un país, pero se ve obstaculizada por riesgos, que pueden provocar aumento en los costos y retraso en los plazos del proyecto. Para determinar la incertidumbre que caracteriza a estos proyectos, es necesario un análisis cuantitativo, va que generalmente la estimación de tiempo y costo se realiza con un enfoque determinístico. Una técnica que realiza este análisis de manera estocástica es la Simulación de Monte Carlo (SMC); sin embargo, los programas computacionales existentes en el mercado que realizan esta simulación tienen un alto costo para las pequeñas y medianas empresas. Por este motivo se propone una alternativa gratuita, que consiste en una herramienta para el análisis cuantitativo de riesgos basado en SMC para tiempo y costo. Para esto, se identifican los elementos con variación y se define la distribución de probabilidad. Se realizaron casos de pruebas, con distribución PERT-Beta, utilizando la herramienta propuesta y @Risk como herramienta de calibración. Mediante el análisis de correlación, se comprueba que esta herramienta se ajusta al comportamiento de @Risk. Por tanto, la herramienta se utiliza para simular un caso de estudio, para analizar el cronograma determinístico y probabilístico, y recomendar una reserva de contingencia.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Ingeniera Civil de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso; constanza.delgado.a@mail.pucv.cl

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Doctor (c) en Ingenieria Industrial de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Profesor, Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso; edison.atencio@puev.el

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Doctor en Infraestructuras del Transporte y Territorio, Universitat Politécnica de Valencia. Profesor, Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso; <u>rodrigo.herrera@pucv.cl</u>

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Doctor (c) en Ingeniería Civil, Universitat Politécnica de Catalunya. Profesor, Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso; felipe.munoz@pucv.cl

#### 1. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción contribuye al crecimiento de un país, sin embargo, esta contribución se ve obstaculizada por numerosos riesgos, frecuentes en proyectos constructivos [1]. Dada la incertidumbre y restricciones que caracterizan a los proyectos de esta industria, es necesaria la identificación de los riesgos que pueden surgir y cómo pueden afectar a los objetivos del proyecto [2].

El riesgo se define como un evento o condición incierta que, en caso de materializarse, generará un impacto positivo o negativo en uno o más de los objetivos del proyecto [3]. Estos eventos son usualmente subestimados por los profesionales que desarrollan esta tarea, principalmente por falta de experiencia o por exceso de confianza. Esto redunda en malas estimaciones de variables claves como la duración y costos de un proyecto [4].

En la construcción, dada su complejidad, un elemento fundamental para evitar las consecuencias no deseadas. es la gestión de riesgos [5]. Ella frecuentemente se concentra en el análisis cuantitativo, que permite determinar con alta precisión la probabilidad de cumplir con los plazos o costos del proyecto, y establece una tendencia en los procedimientos posteriores con riesgo [6]. Este análisis se convierte en un componente importante al momento de determinar la incertidumbre existente en los provectos, va que generalmente la estimación del tiempo o costo se realiza con un enfoque determinístico. Una técnica que permite realizar el análisis de incertidumbre, de manera estocástica, es la Simulación de Monte Carlo (SMC), que mediante la generación de variables aleatorias, proporciona valores de salida que representan el rango de posibles resultados que podría tener un proyecto, permitiendo una estimación más cercana a la realidad [3], [7].

En el mercado existen programas computacionales para llevar a cabo la SMC, sin embargo, acceder a ellos puede ser de alto costo, principalmente para pequeñas y medianas empresas, que no están acostumbradas realizar estos gastos. Por este motivo, el objetivo de este artículo es proponer una alternativa gratuita para la simulación, de manera que pueda ser aplicada por cualquier profesional dedicado a la planificación de provectos. Esta alternativa consiste en el desarrollo v propuesta de una herramienta en MS Excel para el análisis cuantitativo de riesgos basado en SMC, sobre dos variables, cronograma y costo. Para la simulación del cronograma, el método PERT (Program Evaluation and Review Technique) es apropiado para estimar la incertidumbre de las actividades, considerando el tiempo de la actividad como una variable aleatoria según una distribución beta [8], [9]. Por lo tanto, para el caso del cronograma, las duraciones sujetas a variación se comportan conforme a una distribución PERT-Beta, según la asignación de duraciones por expertos. Respecto al costo, se tienen dos situaciones; la primera depende del conjunto de datos disponibles en cuanto a la información histórica, y con ello verificar si su comportamiento sigue o no una distribución normal o distribución uniforme, según la prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov. Y la segunda situación, en el caso de no seguir las distribuciones mencionadas, utiliza PERT-Beta.

Para evaluar y calibrar la herramienta propuesta, se utilizó el programa @Risk, que realiza análisis de riesgo empleando la simulación que permite mostrar múltiples resultados posibles en un modelo, e indicar qué probabilidad existe de que se produzcan. Por lo tanto, la herramienta tiene como propósito ajustarse a los resultados de simulación entregados por @Risk, lo cual se verifica a partir de una serie de pruebas de simulación de las variables cronograma y costo.

#### 2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó como base la metodología de investigación en Ciencias del Diseño (Design Science Research Methology – DSRM), que permite mostrar todo el proceso de justificación, desarrollo y testeo realizado [10]–[13]. A ella se le agregaron componentes de herramientas y actividades para mostrar de forma ampliada la investigación.

La metodología de investigación generalmente se estructura en cinco etapas: (1) identificación de problemas observados y motivaciones; (2) definición de objetivos de una potencial solución; (3) diseño y desarrollo; (4) demostración; y (5) evaluación. En la Figura 1 se especifican las actividades y herramientas correspondientes a los escenarios de cada etapa.

En la primera etapa, se realizó una revisión de literatura como ResearchGate, Google Scholar y Web of Science. Se buscaron artículos científicos e informes técnicos, publicados principalmente entre los años 2013 y 2020, utilizando las siguientes palabras claves de búsqueda: Riesgos, construcción, análisis cuantitativo y SMC. Los objetivos de esta etapa son: analizar e identificar la importancia y ventajas de la gestión de riesgos en proyectos orientados a la construcción, establecer los principales tipos y fuentes que generan mayor impacto en los objetivos del provecto, e identificar problemáticas asociadas al análisis cuantitativo de riesgos dados a los escenarios de incertidumbre que los rodea. Además, se estudian v definen las metodologías y herramientas que corresponden al análisis cuantitativo de riegos de provectos.

En la segunda etapa, para una potencial solución se propone una herramienta para el análisis cuantitativo de riesgo para proyectos aplicables a la industria de la construcción. Existen diferentes herramientas para dicho tipo de análisis, donde una de las más utilizadas es la simulación de Monte Carlo [14], la cual es identificada y analizada, con el propósito de aplicarla mediante dos aplicaciones: Microsoft Excel y @Risk.

En la tercera etapa, se diseña y desarrolla la mencionada herramienta para el análisis cuantitativo de riesgos, basada en la simulación de Monte Carlo. Para ello, se definen los elementos de un proyecto sobre los que se puede realizar una simulación; se identifican los datos sujetos a variabilidad, y se analizan y definen las distribuciones de probabilidad del conjunto de datos a analizar. Con ello se genera una herramienta en Microsoft Excel para llevar a cabo la simulación. Este diseño es realizado con base en las etapas básicas definidas para la aplicación de la simulación Monte Carlo [15], las que se describen en la sección de resultados.

En la cuarta etapa, se realizan casos de pruebas de simulación para las variables cronograma y costo. El caso de prueba del cronograma consiste en 10 actividades, sometidas a 10 pruebas de SMC con distintos niveles de variación, es decir, en cada prueba se va añadiendo una actividad con variabilidad. Para el costo, se plantea un caso basado en el presupuesto resumido de un provecto, enfocado en sus principales ítems. Las pruebas se realizan con los 7 ítems que comprende el proyecto y se lleva a cabo del mismo modo que para el cronograma, es decir, en cada prueba se añade un ítem con costos variables; por ende, son 7 las pruebas a realizar. La variación de las actividades e ítems para cada prueba fueron seleccionadas de manera aleatoria. Estas pruebas se llevan a cabo en la herramienta desarrollada y @Risk, de manera de comparar los resultados de la primera herramienta con la otra.

La comparación se realiza a través de un análisis de correlación, que entrega como resultado coeficientes de correlación de Pearson, los que se analizan para determinar el ajuste existente entre ambas herramientas

Finalmente, en la quinta etapa, una vez que se verifica el correcto funcionamiento de la herramienta propuesta, esta se aplica en un caso de estudio asociado a la industria de la construcción, que corresponde al cronograma de un proyecto de obras menores. La información necesaria para realizar la SMC fue obtenida por juicio de expertos. El propósito del caso de estudio es percibir la diferencia entre duraciones determinísticas y probabilísticas (Monte Carlo), que mediante el análisis cuantitativo se puede recomendar una reserva de contingencia para una probabilidad de ocurrencia de la duración del proyecto.

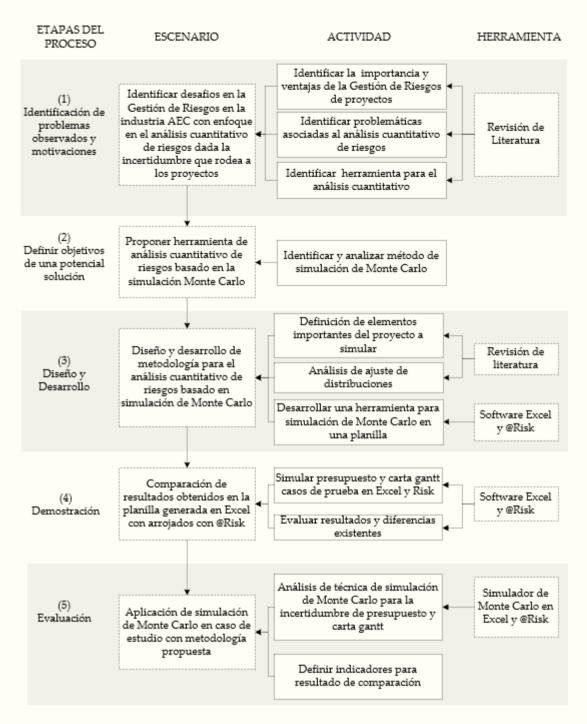


Figura 1: Metodología de trabajo.

# 3. REVISIÓN DE LITERATURA

La naturaleza de los proyectos [1] que la industria de construcción lleva a cabo, suele caracterizarse por una gran incertidumbre y muchas restricciones de diversa índole. Por ello, es necesario identificar de la manera más exhaustiva posible los riesgos que pueden surgir y cómo pueden afectar a los objetivos del proyecto [2]. El riesgo se define como un evento o condición incierta que, en caso de materializarse generará un impacto positivo o negativo en uno o más de los objetivos del proyecto [3]. Los riesgos pueden provocar aumento de los costos, retraso en los plazos y falta de calidad durante el desarrollo del proyecto, desde el principio hasta su finalización [4].

Los proyectos dedicados a la construcción son siempre únicos y sus riesgos surgen de diferentes fuentes [5], debido a la participación de numerosas partes, tales como: contratistas, propietarios, diseñadores, subcontratistas y proveedores, entre otros [16]. La

literatura existente indica múltiples clasificaciones respecto de los tipos de riesgos que afectan a los proyectos de construcción, algunas pueden estar relacionadas con el entorno, frecuencia de ocurrencia, la fuente de riesgo, alcance del impacto y también se encuentran clasificaciones enfocadas con las etapas del proyecto. En base a diferentes autores, se identifican los riesgos más comunes que pueden dificultar los objetivos del proyecto, los cuales se identifican en la Tabla 1.

Por lo tanto, ante la existencia de riesgos e incertidumbre, un proyecto constructivo puede verse potencialmente perjudicado. Por esta razón, a medida que el tamaño y la complejidad de los proyectos vayan en aumento, la capacidad de gestionar los riesgos durante todo el proceso de construcción se ha convertido en un elemento fundamental para evitar consecuencias no deseadas [5].

Tabla 1: Tipos de riesgos según las diferentes referencias.

T' 1. D'	Referencias							
Tipos de Riesgos	[3]	[4]	[6]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]
Riesgo de calidad			✓	✓	✓			
Riesgo de tiempo			✓	✓			✓	•
Riesgo económico		✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Riesgo financiero	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	٧
Riesgo natural-ambiental	✓	✓	✓		✓			,
Riesgo humano			✓			✓		,
Riesgo político		✓	✓	✓	✓	✓	✓	,
Riesgo técnico	✓	✓	✓	✓	✓			,
Riegos de seguridad			✓	✓	✓			,
Riesgo geológico				✓		✓		
Riesgo relaciones laborales		✓						,
Riesgo legal	✓		✓	✓	✓	✓		
Riesgo social		✓	✓	✓	•	•	✓	
Riesgo de gestión	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

# 3.1. Gestión de riesgos

La gestión de riesgos tiene como objetivo aumentar la probabilidad de impacto de los riesgos positivos y disminuir la probabilidad de impacto de los riesgos negativos, con la finalidad de optimizar las posibilidades de éxito del proyecto [3]. Esta gestión mejora el desempeño, fomenta la innovación v contribuye al logro de objetivos [22]; por lo tanto, gestionar los riegos es clave para las actividades estratégicas de cualquier organización. A nivel mundial, este sistema se utiliza en todos los niveles de actividad económica y para obtener la máxima eficacia, debe tener un enfoque sistemático integral tanto para evaluar el nivel de riesgo como para elegir una influencia de control [23]. Como ejemplo de esto, las aplicaciones de la gestión de riesgos en la industria de la minería del oro, minería del cobre e industria del gas natural, entre otros [4]. Las prácticas de la gestión de riesgos en estas industrias revelaron precios de acciones menos variables y menos sensibles a los movimientos del precio [19].

Dada la complejidad de la industria de la construcción, la gestión de riesgos es un elemento muy importante, sin embargo, sólo se utiliza en provectos con grandes niveles de variabilidad [18] y es uno de los mayores desafíos que enfrentan las empresas y proyectos, ya que es fundamental para lograr un desarrollo adecuado. La falta de aplicación de la gestión de riesgos provoca provectos con retraso, que terminan con un alto sobrecosto y una relación desgastada con los clientes [2], además de consecuencias negativas para los interesados, va que no se adoptarán medidas a tiempo contra los riesgos preventivas incertidumbres asociados al proyecto [16]. La gestión es un proceso complejo, duradero y de gran alcance que comienza en las primeras etapas de un provecto en las que se pueden influir en decisiones importantes, y a veces dura incluso después de su finalización. Gestionar adecuadamente el riesgo, no significa evitarlo, sino identificarlo correctamente y determinar todas las oportunidades y peligros asociados [5], [6].

En el contexto de la gestión de proyectos de construcción, la gestión de riesgos es una forma integral y sistemática de identificar, analizar y responder a los riesgos para lograr los objetivos del proyecto [5]. En esta línea, el *Project Management Institute* (PMI) propone un abordaje a la gestión de riesgos a través de procesos, los cuales describe en el *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) en su capítulo 11 [3], donde propone un estándar para la gestión de riesgos en proyectos de construcción.

Los procesos involucrados para llevar a cabo la planificación de dicha gestión, son:

- 1. Planificar la gestión de los riesgos: define cómo realizar las actividades de gestión de los riesgos para un proyecto.
- 2. Identificar los riesgos: determina los riesgos que pueden afectar el proyecto y se documentan sus características.
- 3. Realizar el análisis cualitativo de riegos: prioriza los riesgos para acciones posteriores, evaluando la probabilidad de ocurrencia e impacto de dichos riesgos.
- 4. Realizar el análisis cuantitativo de riesgos: analiza numéricamente el efecto de los riesgos del proyecto identificados sobre los objetivos generales del proyecto.
- 5. Planificar la respuesta a los riesgos: desarrolla opciones, selecciona estrategias para abordar la exposición al riesgo del proyecto.
- 6. Implementar la respuesta a los riesgos: implementa planes acordados de respuesta a los riesgos.
- 7. Monitorear los riesgos: implementa planes de respuesta a los riesgos, rastrea los riesgos identificados, identifican nuevos riesgos y evalúa la efectividad del proceso de gestión de riesgos a través del proyecto.

## 3.2. Análisis cuantitativo de los riesgos

La mayoría de las aplicaciones utilizadas en la gestión de riesgos de proyectos, señalan su concentración en el análisis cuantitativo de riesgos. Sin embargo, estos sistemas no permiten la adopción de medidas correctivas para los riesgos o problemas [18]. El análisis cuantitativo de riesgos es el único método confiable para evaluar el riesgo del proyecto a través de la evaluación del efecto global sobre los resultados del proyecto de todos los riesgos individuales y otras fuentes de incertidumbre [3].

El análisis cuantitativo estima valores realistas para las consecuencias y sus probabilidades, y obtiene valores del nivel de riesgo en unidades específicas definidas cuando se desarrolla el contexto. Este análisis completo no siempre puede ser posible debido a información insuficiente acerca del sistema o actividad que se está analizando, a la falta de datos, a la influencia de factores humanos, etc., o porque no se requiere o no está garantizado el resultado del análisis cuantitativo [24].

Esta etapa de cuantificación ayuda a determinar con alta precisión la probabilidad de cumplir con los plazos o costos del proyecto y establece tendencias en los procedimientos posteriores con riesgos. Un análisis exhaustivo debe ir acompañado de métodos de análisis cuantitativo [6]. Estos métodos cuantitativos se utilizan para determinar la probabilidad y los impactos de los riesgos identificados en el proyecto y se basan en estimaciones numéricas [4].

Hay un gran número de técnicas y métodos que pueden utilizarse en el proceso de análisis cuantitativo [4], las cuales incluyen: análisis de sensibilidad, análisis de árbol de decisiones, diagrama de influencias y simulación [14]. El método de simulación es esencialmente probabilístico y computacional, Monte Carlo es el sistema más usado para estudios de simulación en planificación para los casos de gran incertidumbre y múltiples caminos críticos en un proyecto [15]. Además, permite la formación de un modelo como base para el análisis de comportamiento del proyecto [14].

#### 3.3. Simulación de Monte Carlo

Se trata de una técnica que utiliza aplicaciones informáticas para iterar el modelo de análisis cuantitativo muchas veces. Los valores de entrada (costos, duración) para cada iteración son elegidos de forma aleatoria en rangos especificados por distribuciones de probabilidad. Las salidas se generan para representar el rango de posibles resultados podría tener un proyecto (por ejemplo, fecha de finalización del proyecto, costo del proyecto a la terminación) [3].

Monte Carlo en una de las herramientas más utilizadas para una gestión eficaz, así como una mejor capacidad para prever y controlar los problemas. Es considerado como un método de cálculo altamente eficiente cuya idea básica es tratar la frecuencia de un evento aproximadamente como su probabilidad [25]. Tiene una amplia gama de aplicaciones en varios campos: matemáticas numéricas, química, física estadística,

gráficos para ordenador, finanzas, etc. [26] y se utiliza principalmente en tres problemas distintos: optimización, integración numérica y generación de muestras a partir de una probabilidad [25], y para dos fines diferentes: propagación de la incertidumbre sobre modelos analíticos convencionales y el cálculo de probabilidades cuando no se puedan aplicar técnicas analíticas [24].

La simulación de Monte Carlo se lleva a cabo a través de un modelo que toma los datos entrantes en forma de variables aleatorias. El computador realiza entonces experimentos con muchas variaciones de los datos entrantes y recolecta una serie de resultados, lo que son presentados en forma de distribuciones estadísticas. El resultado puede ser entonces analizado estadísticamente para obtener una medida de incertidumbre y el riesgo.

Las etapas básicas del proceso de simulación de Monte Carlo para el análisis cuantitativo de riesgo se pueden resumir en [15]:

- 1. Identificar las distribuciones de probabilidad de cada componente aleatoria del modelo.
- 2. Seleccionar un proceso de generación de números aleatorios, de modo que represente adecuadamente la ocurrencia de los eventos durante la simulación.
- 3. Asegurar que los intervalos de los números aleatorios correspondan a la distribución de probabilidad
- 4. Obtener los números aleatorios para cada corrida de simulación
- 5. Transformar los números aleatorios en valores de los parámetros del modelo usando las distribuciones acumulativas asociadas a dichos parámetros.
- 6. Calcular los resultados deseados, utilizando los valores determinados previamente y aplicando el modelo de simulación.

- 7. Repetir el proceso un número de veces lo suficientemente grande para obtener una distribución confiable de resultados.
- 8. Interpretar los resultados.

Monte Carlo es una herramienta totalmente aleatoria; o sea; una muestra puede estar en cualquier punto del rango de la distribución de entrada. Pero las muestras, por supuesto, tienen más probabilidades de aparecer en las zonas de la distribución que tienen una mayor probabilidad [27].

La simulación de Monte Carlo, que permite el análisis de la incertidumbre en el proyecto, puede aportar más realismo a la estimación del costo o calendario del proyecto que, un enfoque no probabilístico. Este último supone que las duraciones de las actividades o estimación de los costos por partida son deterministas [28]. Pero, la mayoría de los proyectos de construcción son riesgosos, dado que la duración y el costo para una actividad planificada con inciertos, por lo tanto, el rango de posibles valores se puede representar en el modelo como una distribución de probabilidad [3], [4]. De este modo se permite una administración más realista del proyecto [15].

#### 4. DESARROLLO

El diseño de la herramienta de simulación de Monte Carlo en Excel, enfocada en el análisis cuantitativo de riesgos en un proyecto, se llevó a cabo para dos funcionalidades; en primer lugar, para la simulación del tiempo y en segundo lugar para costos.

Para el caso del tiempo, se creó una planilla que permite ingresar una Carta Gantt con las actividades necesarias para completar el proyecto, cuyas actividades son presentadas de forma gráfica. Esta planilla permite tres tipos de vínculos entre actividades: Fin-Comienzo (FC), Comienzo-Comienzo (CC) y Fin-Fin (FF). Para garantizar el correcto funcionamiento de la herramienta, se realizó la verificación de los resultados, a través de comparaciones con el software Microsoft Project. En cuanto al costo, se generó una planilla que permite ingresar los costos correspondientes a las actividades. Esta información puede estar relacionada con datos históricos o de juicio de expertos. La herramienta se elaboró para que en ambos casos se

pueda aplicar SMC. Esta simulación fue desarrollada con base en las etapas mencionadas en la sección anterior. Para validar los resultados de la herramienta construida, se compararon las simulaciones realizadas en la herramienta de Excel y @Risk.

El proceso de simulación considera el desarrollo de las primeras cinco etapas, las cuales se detallan a continuación.

# 4.1. Etapas básicas para el poceso de SMC para el análisis cuantitativo de riesgos

4.1.1. Identificar las distribuciones de probabilidad de cada componente aleatoria del modelo

En esta etapa, fue necesario determinar los elementos expuestos a variabilidad dentro del proyecto a simular, respecto al cronograma y costo. Para la simulación del cronograma, se hace uso del método PERT, apropiado para estimar la incertidumbre de actividades sujetas a

posibles variaciones [15]. En PERT, el tiempo de la actividad se considera como una variable aleatoria según una distribución de probabilidad beta general. Esto permite llevar a cabo la simulación de duración de proyectos utilizando las herramientas disponibles en Excel. Por lo tanto, a esta distribución se le denomina PERT-Beta, ya que se exhiben medias y varianzas de PERT y los dos parámetros de forma de Beta correspondiente a  $\alpha$  y  $\beta$  en el entorno de Excel. En el caso del tiempo, para esta simulación se incorporan tres duraciones para cada actividad, conocidas como: duración optimista, duración pesimista y duración más probable.

En cuanto al costo, existen dos situaciones; la primera, depende del conjunto de datos disponibles del proyecto respecto al costo, y con ello se determina la distribución a utilizar. Estas distribuciones pueden ser: normal o uniforme, puesto que son las dos típicamente utilizadas para la obtención de números aleatorios [15]. La segunda situación, corresponde al caso de que estas distribuciones no definen el conjunto de datos que se posee, por lo tanto, se impone la distribución PERT-Beta para su simulación.

4.1.2. Seleccionar un proceso de generación de números aleatorios, de modo que represente adecuadamente la ocurrencia de los eventos durante la simulación.

La generación de números aleatorios se llevó a cabo mediante la simulación de Monte Carlo, cuyo comportamiento lo describe las distribuciones de probabilidad mencionadas anteriormente, según la variabilidad de los datos. Este proceso permite transformar los números aleatorios en valores de interés. Para la implementación de la simulación de Monte Carlo, se debe ingresar información del proyecto, en cuanto a tiempo y costo, según corresponda. Para esto, se requieren datos históricos de proyectos similares y en caso de no haber, se asignan en base a la opinión de expertos.

# 4.1.3. Asegurar que los intervalos de los números aleatorios correspondan a la distribución de probabilidad

Se utilizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov. En esta prueba no es necesario agrupar los datos por intervalo, por lo tanto, no es elemento para considerar en esta oportunidad. Kolmogórov-Smirnov se empleó para conocer la distribución del conjunto de datos del costo, en el caso de contar con información histórica. Esto permitió verificar si las muestras seguían o no una distribución normal o uniforme.

Para las situaciones en que el tiempo, y el costo no siguen una distribución normal o uniforme, se utilizó PERT-Beta, de modo que, al ingresar el valor optimista y valor pesimista, se establece el límite inferior y el límite superior, respectivamente.

# 4.1.4. Obtener los números aleatorios para cada corrida de simulación

Los números aleatorios fueron generados mediante la simulación de Monte Carlo, a partir de las distribuciones de probabilidad de entrada, donde cada conjunto de muestra se denomina iteración. El resultado es una distribución de probabilidad de los posibles resultados. Los valores que fueron obtenidos en cada iteración se convierten en datos de entrada para el análisis, para describir el rango de valores posibles y la probabilidad de que ocurra cada valor. Por ejemplo, para una actividad como la instalación de moldaje, se le atribuye una duración, sometida a la generación de variables aleatorias, que siguen la distribución de probabilidad concedida anteriormente. De modo que, para cada una de las iteraciones se tendrán distintas duraciones que, en conjunto, seguirán la distribución de probabilidad que se asumió. El mismo procedimiento se hace para cada una de las actividades sujetas a variabilidad.

Con la herramienta se llevó a cabo una simulación con 100 iteraciones para cada prueba, esto debido al tiempo de ejecución para realizar la simulación de tiempo y costo. El número de iteraciones afecta tanto el tiempo de ejecución de su simulación como la calidad y precisión de los resultados [29]. Para la ejecución de la cantidad de simulaciones e iteraciones utilizadas, @Risk toma 10 veces menos tiempo que la herramienta propuesta en Excel.

4.1.5. Transformar los números aleatorios en valores de los parámetros del modelo usando las distribuciones acumulativas asociadas a dichos parámetros

En base a los datos de entrada extraídos aleatoriamente según la distribución designada, se obtienen las salidas, que representan el rango de posibles resultados para el proyecto, respecto al tiempo y al costo. Las salidas fueron representadas gráficamente mediante la distribución de probabilidad acumulada que corresponde a la probabilidad de alcanzar distintas duraciones deseadas. Estas representaciones gráficas se realizaron en la herramienta Excel y en @Risk para distribución beta general y PERT, para ser comparadas posteriormente.

#### 4.2. Funcionamiento de la herramienta propuesta

Finalmente, luego de desarrollar las correspondientes etapas, se obtiene la herramienta propuesta para el análisis cuantitativo de riesgos basado en la SMC, para las variables tiempo y costo. La herramienta fue elaborada en MS Excel a partir de las funciones que este posee y el lenguaje de programación *Visual Basic for Applications* (VBA) para las macros.

Para el caso del tiempo, la herramienta permite ingresar los datos de una carta Gantt. Para comenzar se ingresa la fecha de inicio del proyecto y luego las actividades con sus respectivos datos. Se debe ingresar el nombre de la actividad, con la duración determinística que le corresponde, además de indicar la tarea que se le vincula, junto al tipo de vínculo (FC, CC o FF) y la cantidad de días de adelanto o retraso, si es que corresponde. Seguidamente la herramienta pregunta si la duración de la actividad es variable; en caso de ser así, se deben ingresar las duraciones más probable, optimista y pesimista. En caso contrario, continuar ingresando las siguientes actividades hasta completar la

información del cronograma. Una vez completada la carta Gantt se procede a iniciar la simulación. En la Figura 2a se puede observar el diagrama del funcionamiento mencionado anteriormente para la SMC para el cronograma y en la Figura 3a se muestra una captura de la herramienta propuesta.

Para el costo, la herramienta permite ingresar los valores más probables, optimista y pesimista del total de cada ítem según juicio de expertos. Para comenzar, se deben ingresar los nombres de los ítems con los tres valores mencionados anteriormente. La simulación, entrega como resultado la probabilidad de ocurrencia del costo total del presupuesto. La herramienta también permite datos históricos del costo de cada ítem, lo cual genera una alerta en caso de que los datos no se ajusten a la distribución normal y uniforme. En ese caso hay que considerar la alternativa de ingresar los valores más probables, optimistas y pesimistas. Si los datos se ajustan a las distribuciones de probabilidad, la simulación entrega como resultado las probabilidades de ocurrencia del porcentaje del costo de cada ítem sobre el costo total. Sin embargo, es menos usual simular con datos históricos, dado que no siempre es posible que todos los valores del costo de los ítems se ajusten a las distribuciones de probabilidad normal y uniforme. En la Figura 2b se puede observar el diagrama del funcionamiento de la herramienta para la SMC para el costo y en la Figura 3b se muestra una captura de la herramienta propuesta.

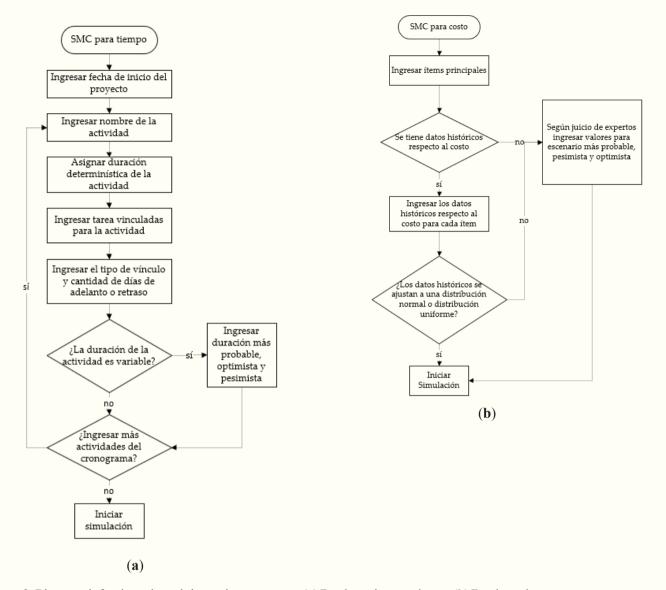


Figura 2: Diagrama de funcionamiento de herramienta propuesta. (a) Funcionamiento en tiempo; (b) Funcionamiento en costo.



(a)

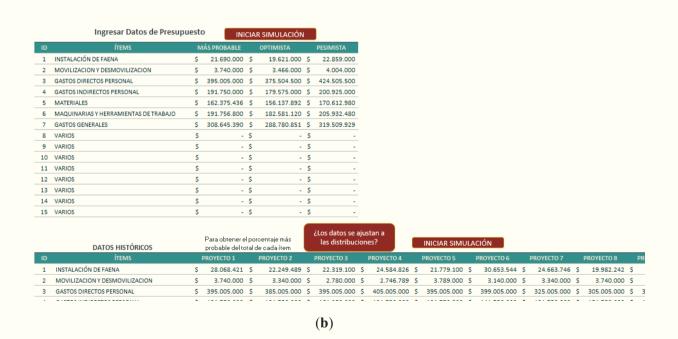


Figura 3: Captura de herramienta propuesta para SMC. (a) Para cronograma; (b) Para costo.

# 5. RESULTADO Y ANÁLISIS

La herramienta propuesta generada en una planilla Excel, fue aplicada a un caso de prueba, para llevar a cabo la SMC empleada al tiempo y costo. Como herramienta de calibración se utilizó @Risk, la cual permitió realizar el proceso de comparación de los resultados con Excel.

# 5.1. Simulación de Monte Carlo: Tiempo

El caso de prueba respecto al tiempo consiste en 10 actividades, que fueron sometidas a simulación de Monte Carlo con una distribución PERT-Beta

Con el propósito de asegurar el funcionamiento de la herramienta, se realizaron 10 pruebas, sometidas a simulación con distintos niveles de variación. Estas pruebas consistieron en ir añadiendo en cada una, una nueva actividad sujeta a variación. De modo que, la primera y última prueba contenían, 1 y 10 actividades con variabilidad, respectivamente. Estas actividades fueron seleccionadas de forma aleatoria para cada prueba. Las duraciones establecidas para la simulación, como más probable, optimista y pesimista fueron determinadas de modo que, las diferencias entre ellas fueran distintas, lo cual se comprobó con los parámetros de forma de la distribución beta general.

La información mencionada para el caso de prueba se muestra en la Tabla 2 y las actividades a simular para cada uno de los casos se aprecian en la Tabla 3.

**Tabla 2:** Datos de caso de prueba relacionada al tiempo para su posterior simulación.

	Actividades	Duración	Vínculos	Más probable	Optimista	Pesimista
1	Actividad A	7 días		7 días	4 días	8 días
2	Actividad B	3 días	1FC-2 días	3 días	1 días	5 días
3	Actividad C	5 días	2FC	5 días	4 días	10 días
4	Actividad D	8 días	2CC+1 día	8 días	6 días	15 días
5	Actividad E	5 días	4FC+2 días	5 días	2 días	12 días
6	Actividad F	4 días	5FC-1 día	4 días	2 días	8 días
7	Actividad G	8 días	6CC	8 días	6 días	13 días
8	Actividad H	12 días	7FC	12 días	9 días	17 días
9	Actividad I	10 días	8FC	10 días	9 días	15 días
10	Actividad J	2 días	9FC	2 días	1 días	5 días
	Duración total	52 días				

Tabla 3: Actividades sujetas a variación para las pruebas de simulación del tiempo.

Danahas	Actividad									
Pruebas	A	В	С	D	E	F	G	Н	I	J
Prueba 1					✓					
Prueba 2						✓				✓
Prueba 3	✓				$\checkmark$				$\checkmark$	
Prueba 4				✓		✓		✓	✓	
Prueba 5		✓			$\checkmark$	✓		$\checkmark$		✓
Prueba 6	✓	✓		✓			✓	✓		✓
Prueba 7	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓
Prueba 8		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Prueba 9	$\checkmark$	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Prueba 10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Las pruebas de simulación fueron ejecutadas en la herramienta Excel, y en @Risk, siendo esta última la herramienta usada para fines de calibración. Por lo tanto, los resultados obtenidos en Excel según distribución PERT-Beta, son comparados con los entregados por @Risk para una distribución Beta General y distribución PERT. Los resultados de las simulaciones de Monte Carlo se detallan en el

Documento S1 donde se presenta un resumen estadístico y percentil de las duraciones para cada prueba, además de las representaciones gráficas de la distribución acumulada. Estos resultados fueron sometidos a un análisis de correlación, construida partir de los valores de duración para las probabilidades acumuladas, como se ejemplifica en la **Tabla 4.** 

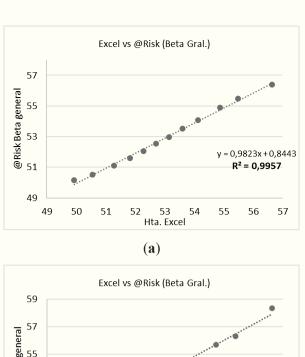
Tabla 4: Ejemplo de datos a utilizar para el análisis de correlación entre los valores de duración, según la probabilidad acumulada.

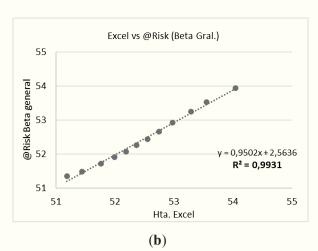
Prueba N°1	Herramienta	Beta General	PERT
Probab. Acum.	Excel	@Risk	@Risk
5%	50	50	50
10%	51	51	50
20%	51	51	51
30%	52	52	51
40%	52	52	52
50%	53	53	52
60%	53	53	53
70%	54	54	54
80%	54	54	54
90%	55	55	55
95%	55	55	56
99%	57	56	57

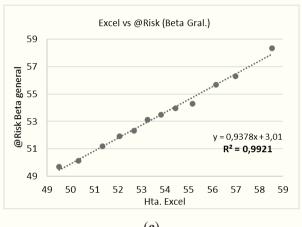
# 5.1.1. Análisis de correlación entre herramienta propuesta y @Risk con distribución Beta general

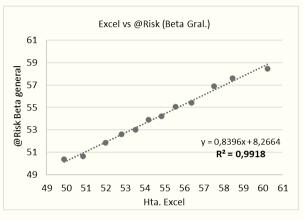
En la Figura 4, se aprecian los resultados obtenidos a partir del análisis de correlación entre la duración de la herramienta propuesta y @Risk para distribución Beta general, donde se puede observar gráficamente el ajuste existente. Este análisis entrega como resultados

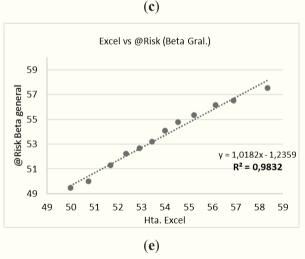
coeficientes de correlación de Pearson (Tabla 5), los cuales en su valor mínimo alcanzó un 0,9798 y el mejor, un valor de 0,9962, por lo tanto, se trata de una correlación positiva fuerte.

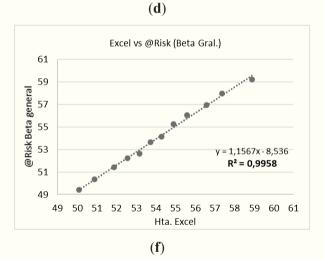


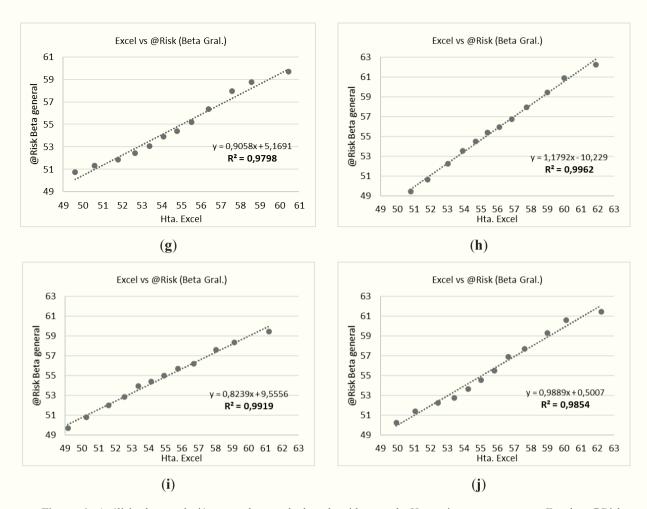












**Figura 4:** Análisis de correlación entre los resultados obtenidos por la Herramienta propuesta en Excel y @Risk para distribución beta general, con respecto al tiempo. (a) Caso prueba n°1; (b) Caso prueba n°2; (c) Caso prueba n°3; (d) Caso prueba n°4; (e) Caso prueba n°5; (f) Caso prueba n°6; (g) Caso prueba n°7; (h) Caso prueba n°8; (i) Caso prueba n°9; (j) Caso prueba n°10.

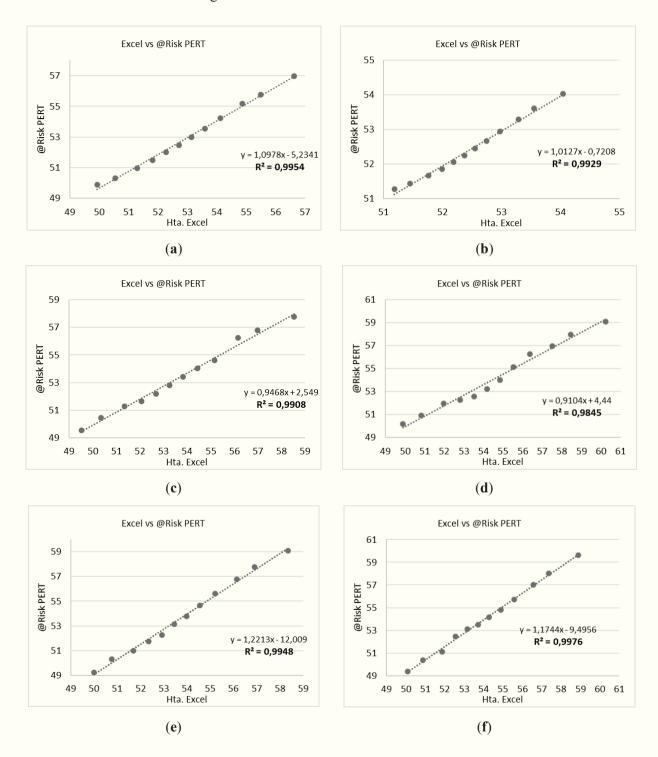
**Tabla 5:** Coeficientes de correlación para casos de prueba de tiempo entre herramienta propuesta en Excel y @Risk para distribución beta general.

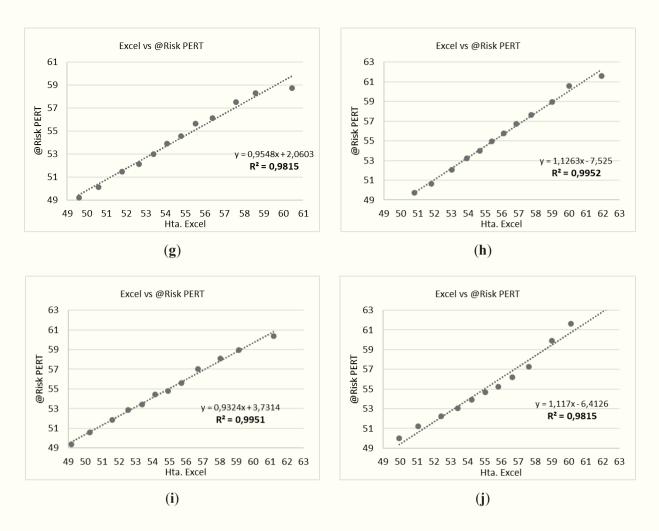
Casos de pruebas	$\mathbb{R}^2$
Prueba 1	0,9957
Prueba 2	0,9931
Prueba 3	0,9921
Prueba 4	0,9918
Prueba 5	0,9832
Prueba 6	0,9958
Prueba 7	0,9798
Prueba 8	0,9962
Prueba 9	0,9919
Prueba 10	0,9854

# 5.1.2. Análisis de correlación entre herramienta propuesta y @Risk con distribución PERT

En la Figura 5, se aprecian los resultados obtenidos a partir del análisis de correlación entre la duración de la herramienta propuesta y @Risk para distribución PERT, donde se puede observar gráficamente el ajuste existente. Este análisis entrega como resultados

coeficientes de correlación de Pearson (Tabla 6), los cuales en su valor mínimo alcanzó un 0,9815 y el mejor, un valor de 0,9976, por lo tanto, se trata de una correlación positiva fuerte.





**Figura 5:** Análisis de correlación entre los resultados obtenidos por la Herramienta Excel y @Risk para PERT, con respecto al tiempo. (a) Caso prueba n°1; (b) Caso prueba n°2; (c) Caso prueba n°3; (d) Caso prueba n°4; (e) Caso prueba n°5; (f) Caso prueba n°6; (g) Caso prueba n°7; (h) Caso prueba n°8; (i) Caso prueba n°9; (j) Caso prueba n°10.

**Tabla 6:** Coeficientes de correlación para casos de prueba de tiempo entre herramienta propuesta en Excel y @Risk para PERT.

Casos de pruebas	$\mathbb{R}^2$	
Prueba 1	0,9954	
Prueba 2	0,9929	
Prueba 3	0,9908	
Prueba 4	0,9845	
Prueba 5	0,9948	
Prueba 6	0,9976	
Prueba 7	0,9815	
Prueba 8	0,9952	
Prueba 9	0,9951	
Prueba 10	0,9815	

#### 5.2. Simulación de Monte Carlo: Costo

Para el costo, se planteó un caso basado en el presupuesto resumido de un proyecto, con enfoque en sus principales ítems. Las pruebas de simulación, con los siete ítems que comprende el proyecto, se llevó a cabo del mismo modo que para la duración del caso de prueba anterior, por ende, corresponde a siete la cantidad de pruebas a realizar. Siguiendo el comportamiento de una distribución PERT-Beta en la herramienta propuesta. En la Tabla 7 se muestran los datos requeridos para realizar la simulación de Monte Carlo. Para su ejecución, los costos de los ítems sujetos a variabilidad fueron determinados de forma aleatoria y se observan en la Tabla 8.

Las pruebas de simulación para este caso fueron ejecutadas en la herramienta Excel, y en @Risk, siendo esta última la herramienta usada para fines de calibración. Por lo tanto, los resultados obtenidos en Excel según distribución PERT-Beta, son comparados con los entregados por @Risk para una distribución Beta General y distribución PERT. Los resultados de las simulaciones de Monte Carlo se detallan en el Documento S1, donde se presenta un resumen estadístico y percentil del costo para cada prueba. Estos resultados fueron sometidos a un análisis de correlación.

Tabla 7: Datos de caso de prueba relacionada al costo para su posterior simulación.

	Ítems	Total -	Total			
	Items	Total	Más probable	Optimista	Pesimista	
1	Instalación de faena	\$ 21.690.000	\$ 21.690.000	\$ 19.621.000	\$ 22.859.000	
2	Movilización y desmovilización	\$ 3.740.000	\$ 3.740.000	\$ 3.466.000	\$ 4.004.000	
3	Gastos directos personal	\$395.005.000	\$395.005.000	\$ 375.504.500	\$ 424.505.500	
4	Gastos indirectos personal	\$ 191.750.000	\$ 191.750.000	\$ 179.575.000	\$ 200.925.000	
5	Materiales	\$ 162.375.436	\$ 162.375.436	\$ 156.137.892	\$ 170.612.980	
6	Maquinarias y herramientas	\$191.756.800	\$191.756.800	\$ 182.581.120	\$ 205.932.480	
7	Gastos generales	\$ 308.645.390	\$ 308.645.390	\$ 288.780.851	\$ 319.509.929	
	Costo Total	\$1.274.962.626				

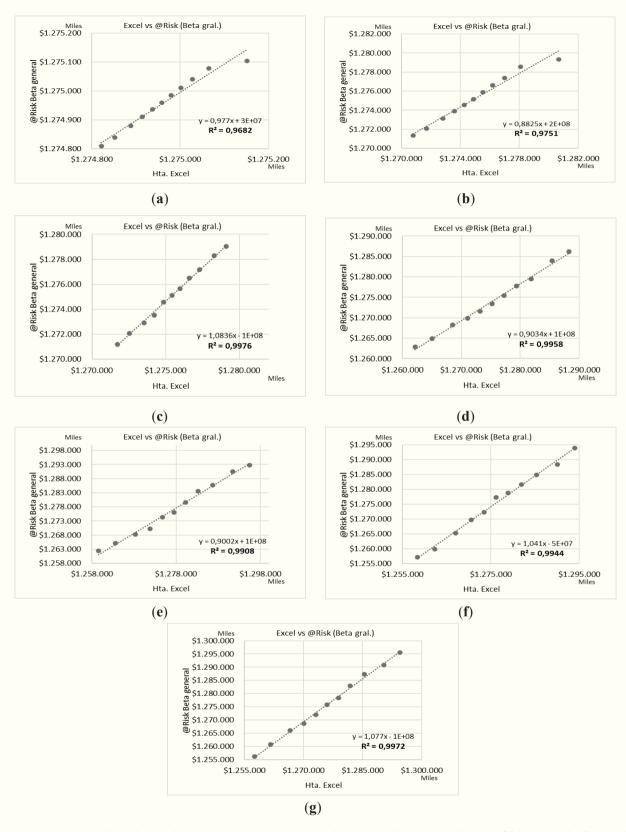
Tabla 8: Ítems expuestos a variación para realizar las pruebas de simulación.

Pruebas	Ítem						
rruebas	1	2	3	4	5	6	7
Prueba 1		✓					
Prueba 2		$\checkmark$			$\checkmark$		
Prueba 3	$\checkmark$	$\checkmark$			$\checkmark$		
Prueba 4				$\checkmark$	$\checkmark$	$\checkmark$	$\checkmark$
Prueba 5		✓	$\checkmark$	$\checkmark$	✓	✓	
Prueba 6	$\checkmark$		$\checkmark$	$\checkmark$	$\checkmark$	$\checkmark$	$\checkmark$
Prueba 7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

## 5.2.1. Análisis de correlación entre herramienta propuesta y @Risk con distribución Beta general

En la Figura 6, se aprecian los resultados obtenidos a partir del análisis de correlación entre el costo de la herramienta propuesta y @Risk para distribución Beta general, donde se puede observar gráficamente el ajuste existente. Este análisis entrega como resultados

coeficientes de correlación de Pearson, (Tabla 9), los cuales en su valor mínimo alcanzó un 0,9682 y el mejor, un valor de 0,9976, por lo tanto, se trata de una correlación positiva fuerte.



**Figura 6:** Análisis de correlación entre los resultados obtenidos por la Herramienta Excel y @Risk para distribución beta general, con respecto al costo. (a) Caso prueba n°1; (b) Caso prueba n°2; (c) Caso prueba n°3; (d) Caso prueba n°4; (e) Caso prueba n°5; (f) Caso prueba n°6; (g).

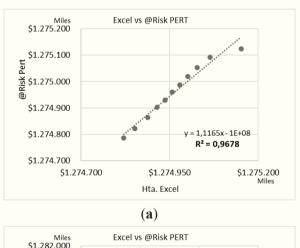
**Tabla 9:** Coeficientes de correlación para casos de prueba de costo entre herramienta propuesta en Excel y @Risk para distribución beta general.

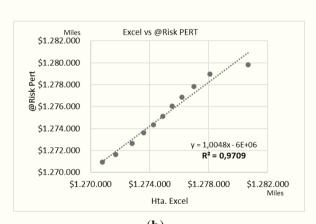
Casos de pruebas	$\mathbb{R}^2$	
Prueba 1	0,9682	
Prueba 2	0,9751	
Prueba 3	0,9976	
Prueba 4	0,9958	
Prueba 5	0,9908	
Prueba 6	0,9944	
Prueba 7	0,9972	

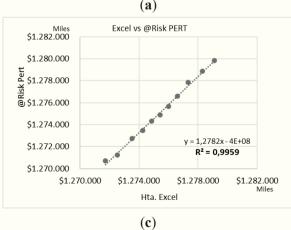
# 5.2.2. Análisis de correlación entre herramienta propuesta y @Risk con distribución PERT

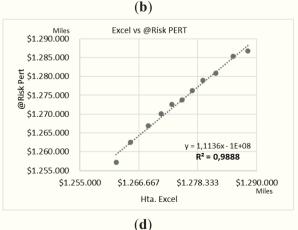
En la Figura 7, se aprecian los resultados obtenidos a partir del análisis de correlación entre el costo de la herramienta propuesta y @Risk para distribución PERT, donde se puede observar gráficamente el ajuste existente. Este análisis entrega como resultados

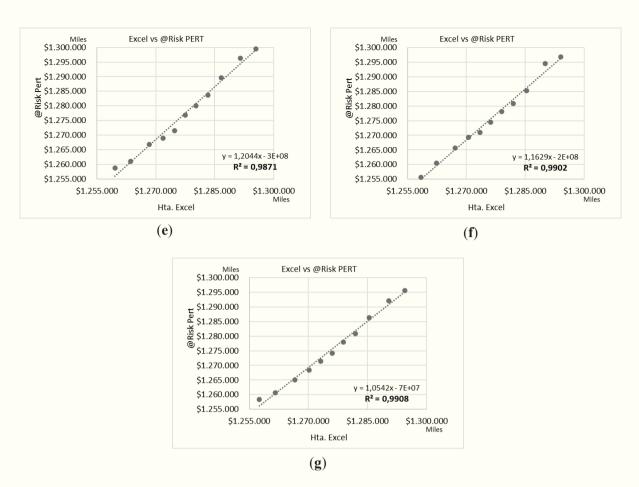
coeficientes de correlación de Pearson (Tabla 10), los cuales en su valor mínimo alcanzó un 0,9678 y el mejor, un valor de 0,9959, por lo tanto, se trata de una correlación positiva fuerte.











**Figura 7:** Análisis de correlación entre los resultados obtenidos por la Herramienta Excel y @Risk para PERT, con respecto al costo. (a) Caso prueba n°1; (b) Caso prueba n°2; (c) Caso prueba n°3; (d) Caso prueba n°4; (e) Caso prueba n°5; (f) Caso prueba n°6; (g).

**Tabla 10:** Coeficientes de correlación para casos de prueba de costo entre herramienta propuesta en Excel y @Risk para distribución beta general.

Casos de pruebas	$\mathbb{R}^2$
Prueba 1	0,9678
Prueba 2	0,9709
Prueba 3	0,9959
Prueba 4	0,9888
Prueba 5	0,9871
Prueba 6	0,9902
Prueba 7	0,9908

Los casos de prueba, tanto para la duración como para el costo, demostraron que la herramienta propuesta se ajusta de buena manera al comportamiento del software @Risk. Sin embargo, según los coeficientes de correlación obtenidos en las series de pruebas de simulación, se observa un error de 1% aproximadamente, esto se puede deber a la aproximación de valores, dado que las simulaciones

fueron realizadas mediante variables continuas. De todas formas, se considera como un buen ajuste de la herramienta propuesta con @Risk, lo cual quedó demostrado a través de los coeficientes de correlación arrojados, por lo tanto, se procede a aplicar esta herramienta de SMC en un caso de estudio, para analizar las duraciones determinísticas y probabilísticas.

## 5.3. Aplicación de herramienta de simulación de Monte Carlo en caso de estudio

El caso de estudio se trata de un proyecto de obras menores de construcción, que consiste en la habilitación del acceso a una tienda de un centro comercial. Estas obras comprenden demolición y refuerzo de tres sectores. La carta Gantt del proyecto, contiene 55 actividades con una duración de 30 días

laborales, la cual se aprecia de forma resumida en la Figura 8.

Para llevar a cabo la SMC, se someten a variación las actividades contenidas en la Tabla 11. Se ingresaron los parámetros de variabilidad según juicio de expertos.

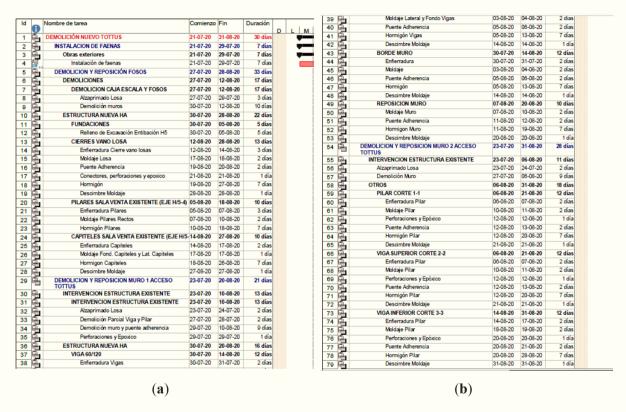


Figura 8: Actividades Carta Gantt de caso de estudio. Fuente: Microsoft Project.

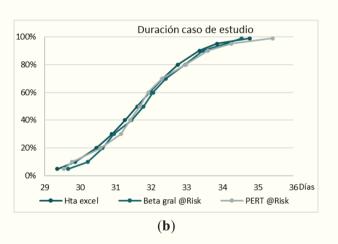
Tabla 11: Actividades sujetas a variación del caso de estudio, para su simulación de SMC.

	Actividades	Duración	Vínculo	Duraciones			
	Actividades	Duracion	Viliculo	Más probable	Optimista	Pesimista	
1	Instalación de Faenas	7 días		7 días	6 días	10 días	
2	Demolición Muros	10 días	8FC	10 días	9 días	15 días	
3	Relleno de Excavación Entibación	5 días	8FC	5 días	4 días	8 días	
4	Enfierradura Cierre vano losas	3 días	9FC-1 día	3 días	2 días	5 días	
5	Enfierradura Capiteles	2 días	23FC-3 días	2 días	1 días	4 días	
6	Alzaprimada losa/Muro 1 Acceso	2 días	4FC-5 días	2 días	1 días	3 días	
7	Demolición Muro 1 Acceso	9 días	33FC	9 días	8 días	15 días	
8	Enfierradura Viga 60/120	2 días	35FC	2 días	1 días	4 días	
9	Demolición Muro 2 Acceso	9 días	56FC	9 días	8 días	14 días	
10	Enfierradura Pilar/viga sup. 2-2	2 días	57FC-1 día	2 días	1 días	4 días	
11	Moldaje Pilar/viga sup. 2-2	2 días	67FC	2 días	1 días	4 días	
12	Enfierradura Pilar/viga inf. 3-3	2 días	70FC	2 días	1 días	4 días	

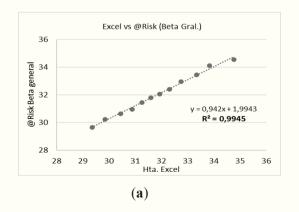
Las duraciones del caso de estudio fueron simuladas en la herramienta propuesta en Excel, y en @Risk. Esta última solo se realizó para fines comparativos. Los resultados de la SMC se detallan en la Figura 9, donde se presenta el resumen estadístico y las probabilidades acumuladas. Mientras que en la Figura 10, muestra los resultados del análisis de correlación entre la herramienta propuesta y @Risk. El coeficiente de correlación es de 0,99, cercano a 1, lo que indica que es adecuado para considerar los resultados arrojados por la herramienta Excel.

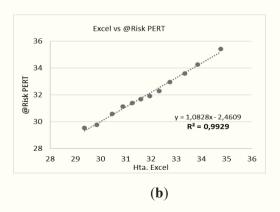
Con un análisis cuantitativo mediante SMC se pueden obtener las reservas de contingencia para una probabilidad de ocurrencia de la duración del proyecto. Esto permite tener información más completa para la toma de decisiones con una visión más amplia que la obtenida con duraciones determinísticas. Por lo tanto, como recomendación se puede considerar como reserva de contingencia del tiempo la variación que existe entre la duración determinística y de probabilística P80 de los resultados de SMC, en este caso 3 días.

Duración caso de estudio	Herramienta Excel	Beta General @Risk	PERT @Risk
Estadísticos			
Mínimo	29	28	28
Máximo	35	35	36
Media	32	32	32
Desv. Est.	1,363	1,312	1,455
Percentil			
5%	29	30	30
10%	30	30	30
20%	30	31	31
30%	31	31	31
40%	31	31	31
50%	32	32	32
60%	32	32	32
<b>70%</b>	32	32	32
80%	33	33	33
90%	33	33	34
95%	34	34	34
99%	35	35	35
	(9)		



**Figura 9:** Resultados de caso de estudio con SMC respecto al tiempo. (a) Resumen estadístico; (b) Distribución de probabilidad acumulada de duraciones.





**Figura 10**: Análisis de correlación entre los resultados obtenidos en la SMC por la Herramienta Excel y @Risk. (a) Excel vs @Risk para distribución Beta general; (b) Excel vs @Risk para distribución Beta general.

#### 6. CONCLUSIONES

Conforme a la revisión de literatura, la Simulación de Monte Carlo (SMC) es cada vez más utilizada actualmente en diferentes disciplinas, puesto que permite representar de mejor forma los posibles escenarios de una realidad incierta, como es el caso de los proyectos de la industria de la construcción en cuanto a tiempo y costo, principalmente.

Este trabajo se basó en la propuesta de una herramienta para el análisis cuantitativo basado en la SMC.

A través de una serie de pruebas de simulación, con distintos niveles de variabilidad sobre la duración de las actividades del cronograma del proyecto, y de los ítems del costo, se comprueba que la herramienta propuesta se ajusta de buena manera al comportamiento de @Risk. Lo cual se verifica para cada una de las pruebas de simulación, mediante un análisis de correlación entre los resultados estadísticos arrojados por la herramienta propuesta en Excel y por @Risk. La correlación alcanzada entre ambas herramientas es fuerte, ya que, para todas las pruebas de simulación, el coeficiente de correlación está sobre 0,96, lo cual indica una

correlación estadísticamente significativa. Teniendo en cuenta el buen resultado de la herramienta, se puede generar una recomendación para una reserva de contingencia del proyecto con una visión más amplia que la obtenida con duraciones y costos determinísticos

La herramienta propuesta en Excel para el caso del cronograma permite a lo más 55 actividades con una vinculación por tarea. Esto es debido a que Excel establece un límite máximo de caracteres en la longitud de una fórmula, lo cual es fundamental para la construcción de la herramienta.

Para futuros trabajos, se deberá procurar que la herramienta propuesta para la SMC sea aplicada para la programación de tiempo o costo en un proyecto ejecutado, con el fin de comparar la variación entregada a través de la simulación, con las variaciones reales experimentadas en el proyecto.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Al equipo que participa en el espacio colaborativo TIMS (*Technology, Innovation, Management and Sustainability in Civil Engineering*) de la Escuela de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

#### REFERENCIAS

- [1]M. C. Ugwu, T. O. Osunsanmi, and C. O. Aigbavboa, "Evaluation of Risk Management Practice in the Nigeria Construction Industry," Modul. Offsite Constr. Summit Proc., no. July, pp. 373–380, 2019.
- [2]A. F. Serpell, X. Ferrada, and L. Rubio, "Measuring the performance of project risk management: a preliminary model," Organ. Technol. Manag. Constr. an Int. J., vol. 11, no. 1, pp. 1984–1991, 2019.
- [3]P. M. Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (Guía PMBOK®), Sixth edit. 2017.
- [4]E. Chinenye and K. Aku, "Project Risk Management Issues in the Nigerian Construction Industry," Int. J. Eng. Tech. Res., no. 1, pp. 217–232, 2016.
- [5]M. Raj and N. K. Wadsamudrakar, "Risk Management in Construction Project," Int. J. Eng. Manag. Res., vol. 8, no. 3, pp. 162–167, 2018.
- [6]P. Szymański, "Risk management in construction projects," Procedia Eng., vol. 208, no. 1, pp. 174–182, 2017.
- [7]P. Corporation, "@ RISK Getting Started Guide," 2020.
- [8]R. Davis, "Teaching Note —Teaching Project Simulation in Excel Using PERT- Beta Distributions," INFORMS Trans. Educ., vol. 8, no. 3, pp. 139–148, 2008.
- [9]M. Hajdu and O. Bokor, "Sensitivity analysis in PERT networks: Does activity duration distribution matter?," Autom. Constr., vol. 65, pp. 1–8, 2016.
- [10]K. Peffers et al., "The Design Science Research Process: A Model for Producing and Presenting Information Systems Research," 2006.
- [11]K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, and S. Chatterjee, "A Design Science Research Methodology for Information Systems Research A Design Science Research Methodology for Information Systems Research," 2007.

- [12]"J. Walls G. Widmeyer and O. El SawyBuilding an information system design theory for vigilant EIS Inf. Syst. Res. no. 3(1) pp. 36–59 1992..pdf.".
- [13]V. Vaishnavi and W. Kuechler, "Design Research in Information Systems Overview of Design Research," Inf. Syst. J., vol. 28, pp. 1–16, 1996.
- [14]A. Baumgertel, N. Dragovic, and V. Tijana, "Risk management of a torrential flood construction project using the Monte Carlo simulation," no. 043007, 2016.
- [15]L. F. Alarcón and A. Serpell, Planificación y Control de Proyectos, UC. 2015.
- [16]J. Mousa, "Risk Management in Construction Projects from Contractors and Owners" perspectives," J. Sustain. Dev. Africa, vol. 3, no. 2, pp. 18–24, 2015.
- [17]E. Kasapoğlu, "Risk Management in Construction," Intech, vol. Vol. I, no. 1, pp. 10–13, 2018.
- [18]M. Abazid and H. Harb, "An overview of risk management in the construction projects," Acad. Res. Int., vol. 9, no. 1, pp. 73–79, 2018.
- [19]M. M. Stoian and R. G. Stoian, "Financial risk management: An introduction," SSRG Int. J. Econ. Manag. Stud., vol. 5, no. 1, pp. 97–108, 2018.
- [20]A. A. Mahmoud al-Mukahal, "Risk Management of Construction Projects," Eng. Manag. Res., vol. 9, no. 1, p. 15, 2020.
- [21]M. K. Sharma, "Monte Carlo Simulation Applications for construction," Int. J. Civ. Eng. Technol., vol. 11, no. 2, pp. 88–100, 2020.
- [22]"Organización Internacional de Normalización ISO 31000 Gestión del riesgo-Directrices Risk management-Guidelines," vol. 2018, 2018.

[23]S. Filyppova, I. Bashynska, B. Kholod, L. Prodanova, L. Ivanchenkova, and V. Ivanchenkov, "Risk management through systematization: Risk management culture," Int. J. Recent Technol. Eng., vol. 8, no. 3, pp. 6047–6052, 2019.

[24]Instituto Nacional de Normalización - INN, NORMA CHILENA NCh-ISO 31010. 2013.

[25]R. Li, "Properties of Monte Carlo and Its Application to Risk Management," Int. J. u- e- Serv. Sci. Technol., vol. 8, no. 9, pp. 381–390, 2015.

[26]T. Radu, M. Vlad, V. Dragan, and V. Basliu, "Occupational risk management in industry," Ann. "dunarea jos" Univ. galati, vol. 3, no. June, 2013.

[27]C. Azofeifa Z., "Aplicación de la Simulación Monte Carlo en el cálculo del riesgo usando Excel," Tecnol. en Marcha, vol. 17, no. 1, pp. 97–109, 2013.

[28] Project Management Institute (PMI), Practice standard for project risk management. 2009.

[29]P. Corporation, Guia para el uso de @RISK: Programa de complemento para el análisis y simulación de riesgos en Microsoft® Excel, vol. 6. 2013.

# APLICACIÓN EN ALGUNOS RÍOS EN CHILE DE UNA METODOLOGÍA PARA CALIFICAR LA VULNERABILIDAD DE PUENTES EN RELACIÓN CON FACTORES HIDRÁULICOS

Juan Soto C.1, Alejandra Muñoz M.2, Matías Chávez A.2, Rodrigo Castro C.2, Felipe Núñez D.3 y Alejandro López A.4

#### RESUMEN

Este trabajo da cuenta de la experiencia obtenida al aplicar una metodología de calificación de la vulnerabilidad de puentes en relación a los llamados factores hidráulicos (Farías, 2008) en diez puentes de Chile central. Tal metodología califica la vulnerabilidad de una obra por el incumplimiento de condiciones que se consideran ideales para evitar el efecto de fenómenos hidráulicos perjudiciales para la estructura (socavación, impacto de cuerpos flotantes, etc.). En este sentido se muestra que los aspectos más relevantes para determinar la calificación de vulnerabilidad son: el diseño de los elementos de la infraestructura (cepas y estribos), la inexistencia de obras de control de la erosión y acciones antrópicas. Se presenta la calificación estimada para los diez puentes analizados, se exponen las dificultades que se presentaron para la aplicación de la metodología y se sugieren recomendaciones para la aplicación del método en un plan de seguimiento continuo de puentes.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Estudiante Ingeniería Civil Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Ingeniero Civil Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Ingeniero Civil Universidad Andrés Bello.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>Ingeniero Civil. Académico Escuela de Ingeniería Civil Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

#### 1. INTRODUCCIÓN

Según estudios realizados en diversos lugares del mundo referentes a fallas y colapsos de puentes implantados en cauces fluviales, entre el 62% y 82% de las fallas se producen a causa de eventos asociados a problemas hidráulicos (Melville & Coleman, 2000; May et al, 2002).

Nuestro país no ha estado ausente de haberse visto enfrentado a este problema, que ha ido tomando una importancia cada día mayor, por lo cual es importante prevenir el comportamiento de estas obras, sean las existentes como las que se proyecten a futuro, ante eventos hidrológicos extremos, como son crecidas u otros problemas hidráulico-sedimentológicos, y los efectos de acciones antrópicas en los cauces, por ejemplo, explotación de áridos, alteración de riberas, etc.

En los últimos años se han propuesto metodologías para determinar la vulnerabilidad de estas estructuras ante la acción de los denominados factores hidráulicos (Farías, 2008), las que están siendo aplicadas con éxito en países como Argentina y España (Farías, 2008), experiencia que es de conocimiento de los autores.

Con estos antecedentes y conociendo la relevancia del problema, la Escuela de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, inició un estudio tendiente a establecer la aplicabilidad de esta metodología en nuestros cauces, llevando a la fecha revisada la situación de 10 puentes en diferentes cuencas, comenzando por verificar las actuales condiciones de ellos, recopilando la información requerida para la aplicación del método, y proponer lo que se requiere para fijar un seguimiento sistemático del comportamiento hidráulico de puente.

Actualmente se ha continuado con este programa de estudio y se encuentra en revisión la situación de 4 puentes de la V región.

# 2. METODOLOGÍA APLICADA

# Vulnerabilidad Hidráulica y Factores Hidráulicos

El concepto de vulnerabilidad se entiende como la susceptibilidad a sufrir daño parcial o total en una estructura, en un periodo de tiempo (Espinoza, 2010), debido a procesos que implican un deterioro en elementos del puente, siendo estos, en el aspecto hidráulico, consecuencia de crecidas y al propio emplazamiento de la estructura. Entre los procesos más destacables se encuentran los procesos erosivos, la posibilidad de desborde y el impacto de cuerpos flotantes con el puente. Es así como se ha introducido el concepto de factores hidráulicos (Farías, 2008), los que se enmarcan en 4 categorías fundamentales: geomorfológicos. hidrológicos. geotécnicos hidráulicos propiamente tales. Dichos factores inciden en los parámetros que, finalmente, se conjugan en el desarrollo de procesos riesgosos para la estructura.

Como existen distintos tipos de procesos, los factores se pueden diferenciar por el contexto espacial y temporal en que actúan. Así, en la escala espacial se distingue un campo cercano, donde suceden procesos de erosión local en crecidas y degradación (erosión de largo plazo), y un campo lejano, asociado a fenómenos hidrodinámicos y morfológicos relacionados con el proceso de erosión general. Mientras que la escala temporal se refiere a la variabilidad de los caudales líquidos, los que dependerán principalmente de las propiedades de la cuenca y los eventos hidrológicos extremos.

#### Resumen de la Metodología

La metodología propuesta por Farías (2008) estima la vulnerabilidad hidráulica de un puente según la combinación de los factores que favorecen procesos fundamentalmente erosivos, especialmente en zonas de fundación de elementos de la estructura como cepas y estribos (socavación local y general). Esto se realiza en base a la comparación de características del caso estudiado con las de un concepto denominado Puente Hidráulicamente Ideal (PHI) consistente en una estructura y cauce cuyas condiciones óptimas de diseño, operación v mantenimiento hacen despreciable la vulnerabilidad hidráulica de la obra. Así, la metodología identifica el grado de vulnerabilidad hidráulica de un puente y las acciones correctivas necesarias según las causas que ocasionan su condición de riesgo.

# Clasificación de la Vulnerabilidad Hidráulica de un Puente según la Metodología

Se asigna una nota por el incumplimiento de condiciones ideales mediante una escala de 1 a 10, correspondiendo notas menores a una vulnerabilidad hidráulica mayor, y nota 10 para un PHI.

Se considera a los puentes con nota menor o igual a 5 como hidráulicamente vulnerables, sugiriendo de forma indispensable inspecciones especializadas. Además, para calificaciones de 1 a 4 se recomienda implementar medidas a corto plazo para mitigar los procesos erosivos más influyentes para el caso estudiado, mientras que para puentes con nota 5 se recomiendan medidas a mediano plazo.

Farías (2008), basado en Melville & Coleman (2000), propone algunas acciones correctivas en función del tipo de erosión. Para erosión general propone implementar umbrales de fondo, cubiertas de lecho o la modificación de la geometría de la obra (aumentar la luz del puente). Si el principal problema es la erosión local se recomiendan cubiertas de protección, dispositivos que alteren el patrón de flujo o terraplenes de guía, mientras que para el caso de erosión lateral se nombra la construcción de espigones, retardos y revestimientos.

# Antecedentes Requeridos para Aplicar el Modelo

Para la aplicación de la metodología resulta esencial la recopilación de antecedentes de origen instrumental y observacional. En la Tabla 1 se muestra el resumen de la información necesaria para su aplicación.

El modelado del flujo tiene como fin obtener las alturas de escurrimiento y anchos de planicie de inundación para distintos periodos de retorno. Además de datos topográficos e hidrológicos, se requiere la estimación de los coeficientes de rugosidad de Manning para las distintas zonas del cauce incluidas en el análisis, también, el conocimiento de la granulometría del material que conforma el lecho es indispensable para determinar la estabilidad morfológica del cauce, en cuanto a los procesos de socavación que puedan presentarse.

Para estimar el riesgo de socavación se necesitan, además de la información granulométrica, datos de la geometría de los elementos del puente, de su emplazamiento y de la distribución lateral del flujo, poniendo atención en posibles corrientes turbulentas y el ángulo de incidencia en cepas y estribos.

Además, se debe tener información general del sector, especialmente del efecto de actividades humanas conflictivas (ejemplo: extracción de áridos o presencia de basurales), existencia de obras de control de erosión u otras obras, y presencia de vegetación en el tramo en estudio del cauce.

 Tabla 1. Antecedentes necesarios para aplicación de metodología.

Objetivo	Antecedentes Requeridos		
Características del cauce	Sinuosidad del tramo		
Cálculo de socavación	Granulometría		
Efecto antrópico	Obras conflictivas		
Efecto antropico	Vegetación y residuos		
Control de erosión Obras de protección			
	Perfiles transversales		
Modelado	Rugosidad lecho y márgenes		
	Datos Fluvio/Pluviométricos		
	Geometría pilas y estribos		
Diseño puente	Geometría puente		
	Incidencia de filetes líquidos		
Factor de Seguridad por socavación Profundidad de fundación			

#### 3. ESTUDIOS REALIZADOS

Entre los años 2010 y 2018 se ha aplicado la metodología expuesta para analizar el estado de diversos puentes en 3 regiones del país, siempre en el contexto de trabajos para optar al título de Ingeniero Civil: Núñez (2010), Castro (2010) y Chávez y Muñoz (2018). Los puentes analizados corresponden a 2 puentes de la región Metropolitana, 2 de la región del Maule y 6 de la región de Valparaíso, totalizando 10 puentes, como se muestra en la Tabla 2, en donde se incluyen también las características de los cauces en la

sección donde se localizan los puentes estudiados, identificándose allí el nombre de dichas estructuras.

# **Antecedentes Recopilados**

Los antecedentes necesarios para aplicar la metodología, señalados en la Tabla 1, se obtuvieron de informes técnicos y publicaciones de estudios anteriores. El resumen de los antecedentes y la fuente de origen se muestran en las Tablas 3 y 4.

Tabla 2. Características de los cauces estudiados.

Autor	Cauce	Puente	Pendiente	Granulometría (mm)			
Autor	Cauce		i %	$\mathbf{D}_{50}$	$D_{84}$	$\mathbf{D}_{\mathbf{m}}$	σ
	Día Maina	Naltahua	0,42	25,5	102,6	59,1	14,8
Núñez	Río Maipo	Maipo	0,98	23,7	46,3	29,5	5,4
(2010)	Río Teno	Teno	0,67	7,3	42,5	21,8	11,6
	Río Maule	Maule	0,4	80	193,4	72	5,2
G .	Estara Ouilnuá	Roosvelt	0,56	3,5	32	12,3	6,3
Custro	Estero Quilpué	Paso Hondo	0,62	1,7	45	16,8	13,4
(2010) Río Maipo	Río Maipo	Maipo	1,2	30,5	217,9	78,6	31,3
Chávez y Muñoz (2018)	Río Aconcagua	Colmo	0,23	22	40	27	2,9
		Concón	0,08	22	40	27	2,9
	Est. Mala Cara	Santa Julia	0,51	2,74	35,8	16,9	8,3
(2018)	Est. Lliu Lliu	Lo Chaparro	0,88	35,8	95,2	49,4	7,5

Tabla 3. Antecedentes recopilados.

Medio de obtención	
Imágenes satelitales	
Base de datos online (DGA)	
Visita a terreno	
Fate-diag autoriana	
Estudios anteriores	

Tabla 4. Antecedentes obtenidos de estudios anteriores.

	Medio de obtención			
Antecedentes Requeridos	Núñez (2010)	Castro (2010)	Chávez y Muñoz (2018)	
Parámetros Granulométricos	López y Arenas (2004) y		Alvarado et al. (2002)	
Perfiles transversales	Estudio de Mecánica Fluvial en puente nuevo (Naltahua)	Arrau (1999)	Modelos de elevación Digital (DEM)	
Profundidad de socavación	Calculado según Manual de Carreteras del MOP			

# 4. APLICACIÓN DEL MÉTODO

## Resultados

En la Tabla 5 se propone una clasificación de vulnerabilidad dada la calificación obtenida según la metodología. Cabe destacar que para puentes con nota 5 sí se sugieren medidas correctivas, pero al ser estas a mediano plazo se consideró vulnerabilidad media.

Los resultados obtenidos en los estudios realizados se pueden resumir en la Tabla 6, y una estadística global del estado de los puentes se muestra en Figura 1.

Tabla 5. Escala de evaluación cualitativa de vulnerabilidad hidráulica.

Calificación	Vulnerabilidad Hidráulica	
1	Riesgo Extremo	
2 – 4	Alta	
5 – 6	Media	
7 – 9	Baja	
10	Nula	

Tabla 6. Resumen calificación puentes.

Autor	Región	Cauce	Puente	Calificación	Vulnerabilidad
	RM	Río Maipo	Naltahua	3	Alta
Foling Nijag (2010)			Maipo	5	Media
Felipe Núñez (2010)	VII	Río Teno	Teno	2	Alta
	V 11	Río Maule	Maule	4	Alta
Dadriga Castro	V	Estero Quilpué	Roosvelt	5	Media
Rodrigo Castro			Paso hondo	5	Media
(2010)	RM	Río Maipo	Maipo	6	Media
Matías Chávez y Alejandra Muñoz (2018)	V	Río Aconcagua	Colmo	7	Baja
			Concón	5	Media
		Estero Mala Cara	Santa Julia	7	Baja
		Estero Lliu Lliu	Lo Chaparro	7	Baja

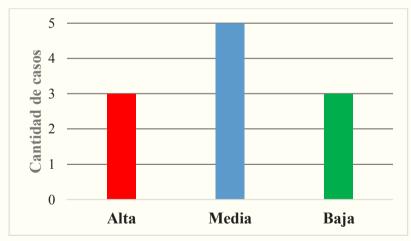


Figura 1. Agrupación de casos por vulnerabilidad hidráulica.

A continuación, en Tabla 7, se presentan las causas de la calificación en puentes de alta vulnerabilidad hidráulica.

**Tabla 7.** Causas de vulnerabilidad hidráulica de puentes altamente vulnerables.

PUENTE NALTAHUA		
Calificación	3	
Vulnerabilidad	Alta. Es probable que socavación sea mayor que profundidad de fundación.	
	Causas	
Diseño del puente	Esviaje. Pilas rectangulares y estribos sin extremos redondeados ni troncocónicos.	
Hidráulica	No existen elementos de control hidráulico ni de regulación de crecidas.	
Mecánica Fluvial	Sin obras de protección contra erosión.	
	PUENTE TENO	
Calificación	2	
Vulnerabilidad	Alta. Es probable que socavación llegue a 80-100% de la profundidad de fundación.	
	Causas	
Diseño del puente	Esviaje, pilas rectangulares, estribos sin extremos redondeados ni troncocónicos.	
Características del cauce	Ancho de cauce y de inundación variables.	
Hidráulica	No existen elementos de control hidráulico ni de regulación de crecidas. Flujo no uniforme en dirección lateral.	
Acción antropogénica	Gran impacto de otras obras sobre cauce	
	PUENTE MAULE	
Calificación	4	
Vulnerabilidad	Alta. Es probable que socavación llegue a 50-80% de la profundidad de fundación.	
Causas		
Diseño del puente	Esviaje.	
Hidráulica	No existen elementos de control hidráulico ni de regulación de crecidas.	
Mecánica Fluvial	Sin obras de protección contra erosión. Vegetación en cauce.	
Acción antropogénica	Extracción de material en cauce.	

# Discusión de Resultados

Respecto a las causas que influyeron en la calificación de los puentes estudiados, en la Figura 2 se observa que las causas más frecuentes de vulnerabilidad de estos puentes son el diseño de sus estribos y cepas, presentando una geometría que favorece la socavación, y la inexistencia de obras de control de la erosión.

Además, si se ordenan las causas presentadas en Figura 2 según los aspectos hidráulicos considerados en la metodología, se puede observar la proporción en que estos aparecen influyendo en la calificación de vulnerabilidad de los puentes estudiados. Tal información se muestra en la Figura 3.

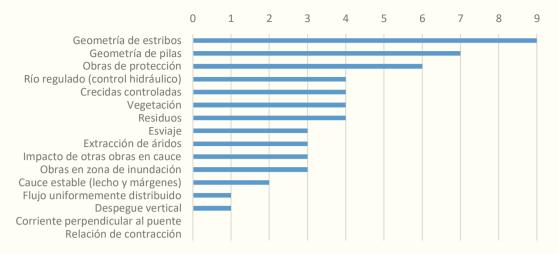


Figura 2. Frecuencia de causas de vulnerabilidad.

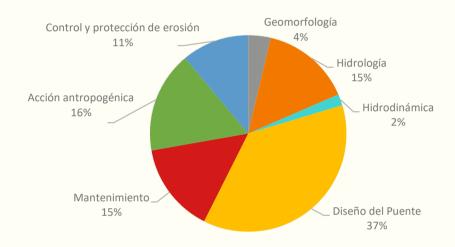


Figura 3. Proporción de factores hidráulicos en la calificación de vulnerabilidad hidráulica de puentes estudiados.

De lo anterior se infiere que la mayor parte de los parámetros asociados al riesgo de la obra tienen su origen en el diseño del puente (37%), lo que muestra la importancia de incluir los aspectos hidráulicos desde la etapa de diseño, sumado a los elevados costos que podría conllevar no hacerlo.

Un 31% de las causas corresponden a los factores de mantenimiento y acción antropogénica, 2 sectores

perfectamente corregibles si en el futuro se incluye el riesgo hidráulico en la inversión realizada periódicamente para la conservación de obras, por ejemplo, con el retiro de residuos y control de vegetación en los sectores del cauce cercano a los puentes. Mientras que un 19% representa situaciones algo más difíciles de optimizar ya que dependen de las condiciones del escurrimiento y el lecho (geomorfología e hidrología).

#### Dificultades Encontradas en la Aplicación de la Metodología

La mayor dificultad para aplicar la metodología consiste en contar con los antecedentes requeridos por el método, en particular lo concerniente a estudios granulométricos y topográficos en el sector de emplazamiento de las obras. Esto debido a que usualmente la información generada en la etapa de estudios para el diseño de la obra es de muy difícil acceso considerando la antigüedad de los puentes y de los mecanismos de almacenamiento de información. Para suplir esta deficiencia se recogió información obtenida en visitas a terreno pero que podría haber sido recabada desde los planos de la estructura, como la geometría del puente y sus elementos.

Respecto a la recopilación de antecedentes, se han tenido distintas experiencias en los estudios realizados. Núñez (2010) y Castro (2010) consiguieron datos de estudios representativos de las obras y de la zona, mientras que Chávez y Muñoz (2018) obtuvieron la información granulométrica de datos provenientes de un estudio de características granulométricas de ríos chilenos realizado con anterioridad (Alvarado et al., 2002); además, debieron recurrir al procesamiento de información de modelos de elevación digital (DEM), proveniente de imágenes satelitales, para obtener los

perfiles transversales necesarios en el proceso de modelado.

Además, la profundidad de socavación máxima se calculó utilizando los métodos recomendados en el Manual de Carreteras (vol.3, 2018), pero resulta recomendable, para aumentar la seguridad de los resultados, contrastar este cálculo con lo que ocurre en la realidad.

Todo lo anterior evidencia la ausencia de un sistema público de datos y gestión de puentes en el territorio nacional.

Los estudios de Felipe Núñez (2010) y Rodrigo Castro (2010) son simultáneos y arrojaron una nota distinta para un mismo puente estudiado (puente Maipo), esto puede deberse a diferencias en la información recopilada, ya sea por los métodos de obtención de antecedentes o por el criterio de los autores. En este aspecto, y en futuras modificaciones del método, se deben hacer esfuerzos para lograr un menor espacio a subjetividades. Sin embargo, por el criterio de urgencia de obras necesarias, la vulnerabilidad se considera media en ambos casos.

#### 5. PROPUESTA DE SEGUIMIENTO CONTINUO

## **Mediciones Requeridas**

Como se explicó en puntos anteriores, para realizar una estimación óptima del grado de riesgo en que se encuentra un puente usando la metodología propuesta por Héctor Farias, la obtención de información más precisa se vuelve fundamental. En el afán de minimizar la cantidad de estimaciones y parámetros de apreciación, se llega irremediablemente a la necesidad de realizar algunas mediciones de forma periódica y otras que serán invariables en el tiempo.

# Formación de un Banco de Datos

Existen algunos parámetros que son constantes en el tiempo y que además se pueden obtener de manera

precisa, como la geometría de la estructura y sus elementos o la profundidad de fundación.

En este sentido, considerando la época actual, el valor de las obras y el grado de desarrollo al que aspira llegar el país, resulta de vital importancia implementar un sistema de gestión de puentes que contenga la información de su diseño y entorno, además de una calificación para priorizar la futura inversión en obras públicas de este tipo. Además, parte de la información de este banco de datos (especialmente el diseño) podría ser de acceso público, tomando en cuenta la relevancia y utilidad de algunos estudios realizados por organismos, como universidades e institutos, o para la formación de futuros ingenieros, como sucede, por ejemplo, con el banco de datos de diversas estaciones de la DGA.

# Campañas de Terreno y Seguimiento

Los puentes y obras fluviales están en contacto, y, por lo tanto, a merced de los efectos producidos por el flujo de agua, cuya naturaleza es dinámica, por lo que el monitoreo de la evolución de ciertos aspectos brindará información clave en la estimación del riesgo estructural. Esto cobra aún mayor importancia si se incluyen en el análisis los efectos del cambio climático, que, por experiencias recientes, suelen ser catastróficos.

Por esto, se debe impulsar una campaña de seguimiento del estado de puentes mediante salidas a terreno con cierta frecuencia, la que dependerá del entorno de emplazamiento (mayor riesgo de socavación implica visitas más frecuentes) y de la vulnerabilidad del puente.

Entre los aspectos a tener en cuenta en cada visita, prestando atención a su evolución, se cuentan: uniformidad del flujo (ángulo de incidencia de filetes líquidos respecto a ejes de cepas), presencia de vegetación en lecho y márgenes, estado y eficacia de obras de protección de erosión, presencia de residuos en el entorno, y especialmente la acción del ser humano en el cauce, como la extracción de áridos, que suelen realizarse en periodos acotados pero que generan un gran efecto negativo en la estabilidad del lecho (produciendo socavación), u otras obras que afecten a las condiciones de escurrimiento, como surgimiento de corrientes por descargas de caudal aguas arriba de la obra

#### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El riesgo asociado a factores hidráulicos es la causa más frecuente de falla en puentes, por lo que es esencial estudiar y monitorear la vulnerabilidad de estas obras desde el punto de vista hidráulico, prácticas que hasta la fecha no se han normalizado en Chile, generando una situación crítica respecto a los colapsos estructurales ocurridos recientemente, y al aumento de eventos extremos producto del cambio climático.

En este ámbito, con el objetivo de implementar en el corto-mediano plazo un sistema de gestión de puentes que pueda ser útil al momento de dar prioridad al mantenimiento de obras, es necesario crear una base de datos que facilite el acceso a la información de las obras, y a su vez resulta prioritario digitalizar tal información, que, por la fecha de la realización de los estudios, actualmente solo son almacenadas en formato físico.

La aplicación de la metodología propuesta por Farías en los estudios llevados a cabo hasta el momento en Chile ha sido útil para visualizar el estado altamente vulnerable de un puente de la región Metropolitana y 2 de la región del Maule. Se recomienda seguir aplicando esta metodología incorporando los cambios propuestos por los autores para la adaptación de esta al caso chileno, e incluirla en un eventual plan de monitoreo de puentes.

Es recomendable adaptar la definición original de puente hidráulicamente ideal a la realidad chilena, para lo cual se debe dar mayor importancia a efectos de socavación, necesitando para esto una medición de parámetros que no se realiza en el país.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen debidamente a los ingenieros civiles Sra. Mireya Parrini J. y Sr. Fernando Cancino A. de la Dirección de Vialidad V Región y al ingeniero civil Sr. Gabriel Castro A. por haber proporcionado

información proveniente de estudios anteriores realizados en los puentes analizados, lo que facilitó el desarrollo de este trabajo.

#### REFERENCIAS

Alvarado, L., Garcés, E. y López, A. 2002. Características granulométricas de los ríos aluviales chilenos. XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, La Habana, Cuba.

Arrau, L. 1999. Estudio de zonas de inundación en el estero Quilpué, en las comunas de Quilpué y Villa Alemana, V región. Chile.

Castro, R. 2010. Análisis de la vulnerabilidad hidráulica de puentes ante la acción de crecidas. Aplicación en cuencas de la zona central. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.

Chávez, M., Muñoz, A. 2018. Estudio de la vulnerabilidad hidráulica de puentes de la quinta región. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.

Dirección de Vialidad. 2018. Manual de Carreteras, Vol. 3. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.

Espinoza, D. 2010. Vulnerabilidad por socavación de puentes carreteros ante avenidas. Universidad Autónoma Metropolitana. México DF, México.

Farías, H. D. 2008. Metodología para la calificación de puentes en relación a los factores hidráulicos. XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias, Colombia.

López, A. y Arenas, A. 2004. Análisis de una de las pilas del puente Naltahua en el río Maipo, Chile. XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Sao Pedro, Estado de Sao Paulo, Brasil.

May, R., Ackers, J., Kirby, A. 2002. Manual on scour at bridges and other hydraulic structures. CIRIA Publication C551, Construction Industry Research and Information Association, London, U.K.

Melville, B. W. & Coleman, S. E. 2000. Bridge Scour. Water Resources Publications, LLC, Highlands Ranch, Colorado, USA.

Núñez, F. 2010. Metodología para la determinación de la vulnerabilidad hidráulica de puentes ante el efecto de crecidas aplicado en algunos ríos de Chile. Universidad Andrés Bellos, Santiago, Chile.

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN OPERACIONAL DEL SISTEMA INTEGRADO PARA LA PREDICCIÓN Y ALARMA DE TSUNAMIS (SIPAT) **EN CHILE**

Patricio Catalán M. <sup>1</sup>, Alejandra Gubler L. <sup>2</sup>, Javier Cañas R. <sup>3</sup>, Carlos Zúñiga <sup>4</sup>, Cecilia Zelaya <sup>5</sup>, Leonardo Pizarro B. <sup>6</sup>, Carlos Valdés F. <sup>7</sup>, René Mena M. <sup>8</sup>, Eduardo Toledo D. <sup>9</sup> y Rodrigo Cienfuegos C. <sup>10</sup>

#### Resumen

Este trabajo describe la filosofía de diseño, la implementación operacional y el desarrollo futuro del Sistema Integrado para la Predicción y Alarma de Tsunamis (en adelante abreviado como SIPAT), que es un sistema de soporte de decisiones para el Sistema Nacional de Alarma de Maremoto de Chile (SNAM), que es operado por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA). SIPAT entrega una estimación rápida y detallada del peligro de tsunami después de que ocurre un sismo, discretizando la amenaza en cuatro niveles y haciendo una sectorización espacial del peligro para Chile continental, Insular y Antártico. SIPAT entrega la evaluación en menos de 20 segundos, tiempo muy por debajo del límite de los 5 minutos establecidos por el protocolo vigente, permitiendo así evaluaciones consecutivas, si los operadores las consideran necesarias.

SIPAT fue inicialmente desarrollado en el marco del proyecto entre Chile y Japón denominado "Investigación de Mejoramiento Tecnológico para el Desarrollo de una Comunidad con Resiliencia a Tsunamis"<sup>1</sup>, patrocinado por el programa SATREPS de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA, por su sigla en inglés<sup>2</sup>), y continuó su desarrollo con el patrocinio de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT)<sup>3</sup>. SIPAT entró en operación en el SNAM en mayo de 2016, y fue utilizado oficialmente por primera vez el 25 de diciembre de 2016 para el evento de Quellón (Mw7,6), con resultados exitosos.

<sup>3</sup> A partir del 1 de enero de 2020, CONICYT dio paso a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Ingeniero Civil - PhD en ingeniería civil, Profesor del Departamento de Obras Civiles, Universidad Técnica Federico Santa María, Av. España 1680, Valparaíso, Chile. Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales, CIGIDEN, Santiago, Chile. Centro Científico Tecnológico de Valparaíso, CCTVal, Valparaíso, Chile., patricio.catalan@usm.cl.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Ingeniero Civil y MSc en ingeniería civil, Dep. Obras Civiles, Universidad Técnica Federico Santa María, Av. España 1680, Valparaíso, Chile. Dep. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, P.Universidad Católica de Chile, Av. Vicuña Mackenna 4860, Macul, Chile. alejandra.gubler@alumnos.usm.cl.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Ingeniero Civil Electrónico y MSc mención en Computación – Profesor Departamento de Informática, Universidad Técnica Federico Santa María, Av. España 1680, Valparaíso, Chile, jcanas@inf.utfsm.cl

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Capitán de Fragata– Jefe del Departamento de Oceanografía, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, Av. Errázuriz 254, Valparaíso, Chile, czuniga@shoa.cl

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Oceanógrafa– Jefa Sección Modelación Tsunamis, Departamento de Oceanografía, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, Av. Errázuriz 254, Valparaíso, Chile, sipat@shoa.cl

<sup>6</sup> Ingeniero Civil Informático. Departamento de Informática, Universidad Técnica Federico Santa María, Av. España 1680, Valparaíso, Chile, lpizarrobaeza@gmail.com

<sup>7</sup> Ingeniero Civil Informático. Departamento de Informática, Universidad Técnica Federico Santa María, Av. España 1680, Valparaíso, Chile, carlos.valdes.flores@gmail.com

<sup>8</sup> Ingeniero en Ejecución en Informática. Departamento de Informática, Universidad Técnica Federico Santa María, Av. España 1680, Valparaíso, Chile, rene.mena.m@gmail.com

<sup>9</sup> Ingeniero Civil Informático. Departamento de Informática, Universidad Técnica Federico Santa María, Av. España 1680, Valparaíso, Chile, etoledo@inf.utfsm.cl

<sup>10</sup> Ingeniero Civil y PhD en Ciencias de la Tierra. Profesor Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile, Av. Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago, Chile, racienfu@ing.puc.cl

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Nombre original en inglés "Research Project on Enhancement of Technology to Develop Tsunami Resilient Community"

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Japan Science and Technology Agency.

#### INTRODUCCION

El gran terremoto (Mw8.8) y posterior tsunami que ocurrieron el 27 de febrero de 2010 (03:34 a.m. hora local) en Maule, Chile, demostraron que el país, el estado ni la población estaban bien preparados para enfrentar un desastre natural tan destructivo y devastador.

El procedimiento efectuado en febrero de 2010 consideraba la evaluación temprana de la amenaza de tsunami utilizando solamente información sísmica preliminar, como la magnitud y la ubicación del epicentro, emitiendo una única evaluación a lo largo del país. Posteriormente, para evaluar el nivel de amenaza real y promulgar el retorno seguro de la población, se determinaban con la observación del tsunami, ya sea siendo un testigo directo u monitoreando las series del tiempo del nivel del mar registradas en los mareógrafos o boyas DART.

Para el evento de Maule de 2010 este procedimiento fue insuficiente, ya que la amenaza del tsunami fue subestimada, pero también lo fue para los terremotos y tsunamis de Pisagua en 2014 e Illapel en 2015, para los cuales la amenaza del tsunami estuvo bien estimada, sin embargo, según el protocolo vigente de esa época la evacuación se tuvo que realizar para el todo el país, lo que derivó que en algunos lugares se tuviera que evacuar aun cuando el tsunami fuese imperceptible, lo que implica una pérdida de confianza de la población hacia el sistema.

Como consecuencia, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), única institución responsable de evaluar la amenaza de tsunami en Chile, identificó la necesidad de actualizar sus procedimientos y sistema. Una de las acciones realizada fue el fortalecimiento de sus capacidades de monitoreo, pasando de tener 18 estaciones de nivel del mar en febrero de 2010 (con un solo sensor de presión y transmisión de datos cada 2 minutos) a 45 estaciones en julio de 2019 (con redundancia de sensores, de presión y radar, con transmisión de datos cada 1 minuto), y de tener una boya DART en febrero de 2010 a tener cinco boyas DART fondeadas frente a las costas de Chile (tres de ellas en cooperación SHOA con SHOA y la (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA).

Sin embargo, la mejora más significativa fue el desarrollo y la implementación de un Sistema de Soporte de Decisiones capaz de realizar una evaluación rápida y precisa de la amenaza de tsunami para eventos de campo cercano para las costas de Chile. El objetivo de este artículo es dar a conocer el Sistema Integrado para la Predicción y Alarma de Tsunamis (SIPAT), que abordó las limitaciones de los procedimientos anteriores y al mismo tiempo permitió expandir el sistema para incorporar nuevos desarrollos y capacidades.

# **ANTECEDENTES**

# Instituciones involucradas en la emergencia de tsunami

La cadena completa del sistema de alerta de tsunamis involucra a cuatro instituciones, que hoy en día operan 24/7. Primero, el Centro Sismológico Nacional (CSN) es responsable monitorear, detectar sismos y de proporcionar información sísmica a otras instituciones. Posteriormente el SNAM, que es operado por el SHOA, tiene responsabilidad de evaluar las informaciones sísmicas preliminares y de nivel del mar para determinar la posibilidad de generación de un tsunami, y tiene responsabilidad exclusiva de evaluar la amenaza de tsunami para las costas de Chile.

SNAM debe transmitir boletines informativos a la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI) y la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina

Mercante (DIRECTEMAR), para que ellas adopten las medidas de mitigación y protección de la población costera y de vidas en el mar. ONEMI debe diseminar la información al Sistema Nacional de Protección Civil (SNPC), quien a su vez informará a la población, y dispondrá la evacuación de las localidades costeras si el evento lo requiere. Los tomadores de decisiones no se encuentran en el mismo lugar geográfico, y se deben usar varios procedimientos de comunicación para transmitir la evaluación del peligro de tsunami de una manera clara y eficiente.

La última versión del Protocolo ONEMI-SHOA de abril de 2016 establece que SNAM deberá informar la evaluación de la amenaza en un plazo inferior a 5 minutos desde que es recibida la información sísmica. La información sísmica preliminar puede ser de fuentes nacionales (la provista por CSN) o por fuentes

internacionales (United States Geological Survey, NEIC/USGS, Pacific Tsunami Warning Center, PTWC, National Tsunami Warning Center of the United States, NTWC y Centro de Investigación de Geociencias Alemán, GEOFON). El SNAM permanentemente recibe información sísmica, vía correo electrónico, de todos estos centros. A medida que transcurre el tiempo y los centros especializados van recopilando registros más largos de datos sísmicos, SNAM va recibiendo la información sísmica actualizada que caracteriza mejor al sismo ocurrido.

## Desafíos locales para un sistema de alerta

En Chile han ocurrido una gran cantidad de terremotos y tsunamis que han sido registrados en su corta historia escrita, donde se puede ver la gran variabilidad en la ubicación y magnitud de los terremotos y el comportamiento de los tsunamis. Además, la distancia entre la fosa y la costa es una de las más cortas del mundo, lo que implica que los tsunamis pueden arribar a la costa en tiempos muy cortos. En los eventos más recientes, como el de Maule 2010 (Mw8.8) y Pisagua 2014 (Mw8.2), los tsunamis fueron registrados por los sensores más cercanas a la fuente entre 15 y 20 minutos después de ocurrido el terremoto (Fritz et. al. 2011: Catalán et. al. 2015), e incluso menos de 10 minutos para el evento de Illapel 2015 de Mw8.3 (Aránguiz et. al., (2016). Por lo tanto, un sistema de alerta temprana de tsunamis en Chile debe ser capaz de entregar estimaciones de amenaza en menos de 10 minutos para que esta pueda ser información significativa para decretar una evacuación.

#### IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE SOPORTE DE DECISIONES

#### Filosofía del sistema

SIPAT fue diseñado contemplando un desarrollo a largo plazo. Se identificaron tres etapas en los procedimientos operacionales en las alertas de tsunamis, planeadas para ser atendidas de forma incremental. La primera etapa es la alerta temprana, cuvo objetivo es estimar la amenaza de tsunami usando la información sísmica que esté disponible más tempranamente, para poder determinar si es necesaria la evacuación. Esta evaluación debe ser rápida, precisa y sectorizada; es decir que el nivel de amenaza debe ser diferenciado a lo largo de la costa de Chile. La segunda etapa es la de monitoreo, donde se observa en tiempo real la evolución del tsunami, ya sea en los mareógrafos, en las boyas DART u otro tipo de sensor. En esta etapa se podría actualizar la evaluación de la amenaza usando técnicas de inversión y/o simulaciones en tiempo cercano al real, las cuales podrían arrojar una estimación más precisa del peligro. La última etapa que cierra el ciclo es la de cancelación, la cual indica que el tsunami ya no es una amenaza (puede ser determinado instrumental o presencialmente) y ONEMI podría determinar el retorno seguro de la población a sus hogares.

Los sistemas de soporte de decisiones de otros países del mundo pueden clasificarse en tres tipos según su metodología de pronóstico: i) basados en modelado de tsunamis en tiempo cercano al real, ii) basados en escenarios de fuentes unitarias de tsunamis precalculados y observación del tsunami en tiempo

real, iii) basados en escenarios precalculados y en observación sísmica o de tsunami, si es que están disponibles. En lugares donde el intervalo de tiempo entre la generación del tsunami y la llegada a la costa no es corto, las primeras dos metodologías son deseables para un sistema de alerta.

metodología fue desarrollada La tercera originalmente por la JMA (ver a Kamigaichi, 2009) y ha sido utilizado en sistemas de algunos países, como por ejemplo en India (Indian Tsunami Early Warning System, ITEWS), Indonesia (German-Indonesian Tsunami Early Warning System, GITEWS) y Australia (Joint Australian Tsunami Warning Centre, JATWC). Este enfoque es más apropiado para países afectados por tsunamis de campo cercano, donde el tiempo de reacción es escaso y las incertidumbres son grandes. Este método se basa en el uso de información sísmica preliminar solo para llevar a cabo un procedimiento de búsqueda en bases de datos, donde se escogen escenarios precalculados que más se asemejan al evento real, y con esos candidatos se caracteriza la amenaza de tsunami. La ventaja de este método es que requiere muy poco tiempo, a costa de usar fuentes sísmicas aproximadas y estimaciones de tsunamis. Sin embargo, este método toma harto tiempo en preparar y poblar las bases de datos.

El desarrollo inicial de SIPAT tuvo como objetivo abordar la etapa de alerta temprana, realizando evaluación de la amenaza y diseminación de información para eventos de campo cercano. Es por esto, que el diseño operacional de SIPAT se basó en el uso de escenarios precalculados, ya que es una metodología sólida y rápida que permite evaluar el peligro teniendo solo información sísmica preliminar (hipocentro y magnitud).

## Base de datos de tsunamis precalculados

# Configuración de los parámetros de las fallas de los escenarios sísmicos.

Un escenario sísmico se define como un evento sísmico representativo de un evento probable que ocurra en una cierta ubicación, caracterizada por su epicentro. El escenario sísmico se utiliza como condición para el modelado numérico de tsunamis. El Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (DGF) preparó dos catálogos de escenarios sísmicos para la zona de subducción entre las placas Sudamericana y Nazca entre las latitudes 11°S y 42°S (frente a Chile continental) y para la zona donde ocurren eventos en la placa de Scotia; a lo largo de fallas cercanas a la Isla de Pascua; y eventos en el Sur del Perú. Se simularon un total de 8164 escenarios. que abarcan seis valores de magnitud Mw: 7,0; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0 y 9,5 (ver Fig. 1a). Los valores del dip, rake y strike (que en español se traducen como ángulo de manteo, ángulo de deslizamiento y rumbo) se muestran en la Fig. 1.

#### Simulación numérica

Como condición inicial para la propagación del tsunami, se aceptó que la superficie libre del mar es idéntica a la deformación del fondo marino. La deformación cosísmica de la corteza terrestre se modela usando la teoría de dislocación elástica propuesta por Okada (1985), similar a lo que hacen los sistemas australianos y japonés.

La propagación del tsunami fue modelada numéricamente con COMCOT (Wang, 2009), que resuelve las Ecuaciones Lineales y No Lineales de Aguas Someras (NLSW, Non-Linear Shallow Water Equations). Se generaron tres grillas de 1 minuto de arco, una para escenarios frente a Chile contiental, otra para escenarios cercanos a Isla de Pasuca y la tercera para escenarios en la placa de Scotia

### Puntos de pronóstico.

Se almacenaron para cada escenario las series de tiempo de la desnivelación de la superficie libre en una serie de 635 puntos de interés, denominados puntos de pronóstico, que se ubican uniformemente distribuidos a lo largo de la costa. Se almacenaron 21 parámetros de resumen obtenidos de las series de tiempo, generando así una base de datos liviana y manejable que permite una búsqueda rápida durante la emergencia. Un aspecto clave es que el nivel de amenaza se asigna según los umbrales de amplitud máxima de tsunami en la costa (ver Tabla 1), que es como se categoriza la amenaza según el protocolo vigente ONEMI-SHOA (2016).

Los estados de Alerta y Alarma conducen a la misma acción, donde consiste en evacuar a la población de las zonas costeras hacia una zona segura, que según el International Tsunami Information Center (ITIC) corresponde a zonas con cota sobre 30 metros sobre el nivel del mar. Para el estado de Precaución, se debe evacuar a la población ubicada en la denominada zona de precaución, que se define a grandes rasgos como la franja del territorio de 80 metros de ancho medido desde la línea de playa o desde la ribera de los ríos. Para el estado Informativo no se requiere ninguna acción.

La amplitud máxima de tsunami estimada en la costa, que se obtiene usando la Ley de Green, con una profundidad de 10 metros.

Tabla 1. Estados establecidos en el protocolo vigente. Fuente: Protocolo ONEMI-SHOA (2016).

Tuchte. Trotocolo OttEvit Sitori (2010).					
Estado	Máxima amplitud de	Acción requerida			
	tsunamis en la costa				
Informativo	< 0,3 m	No se requiere acción.			
Precaución	[0,3-1,0  m)	Evacuar a la población ubicada en zona de precaución (franja de 80 metros			
		de ancho medida desde la línea de playa o ribera de ríos)			
Alerta	[1,0-3,0  m)	Evacuar a la población ubicada en zona costera hacia zona segura (cota			
Alarma	> 3,0 m	superior a 30 m.s.n.m)			

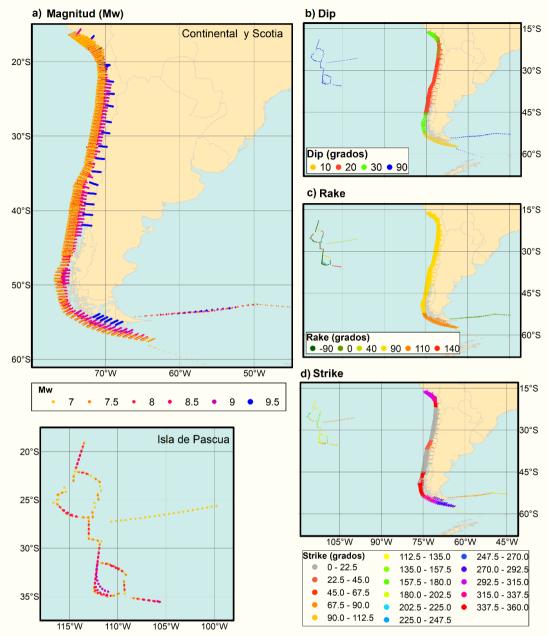


Figura 1. Escenarios sísmicos modelados en SIPAT. Los puntos correspondena los epicentros de los escenarios coloreados según: a) magnitud (entre Mw 7.0 hasta 9.5 cada 0.5 grados), b) dip o ángulo de manteo, c) rake o ángulo de deslizamiento y d) strike o rumbo. Figura adaptada de Catalán et al. (2020).

# Evaluación de la amenaza para la fase de alerta temprana

Una de las dificultades de utilizar bases de datos precalculados es que existe disparidad entre los escenarios modelados y el evento real, por lo tanto, es necesario incorporar dichas incertidumbres en el análisis para evitar una subestimación de la amenaza.

Por consiguiente, se introducen dos métodos. El primero, similar a los que realizan los sistemas de

Japón e Indonesia, aplica una variante del Método de Máximo Riesgo. Se define un área de incertidumbre, rectangular, cuyas dimensiones son W x L, que corresponden a al ancho y largo estimado del área de ruptura, respectivamente, y que se calculan a partir de la magnitud de momento del evento observado ( $M_{w,obs}$ ) y cuyo centro se ubica en el epicentro observado. Esta área se utiliza para seleccionar todos los escenarios precalculados, cuyo epicentro se encuentra dentro, sin importar aún la magnitud del

escenario. La razón de este método es que el epicentro estimado del evento real no entrega información sobre la dirección de ruptura, lo que resulta en una incertidumbre relacionada con la ubicación relativa del epicentro dentro de la proyección del plano de falla (e.g., Kamigaichi, 2009).

El segundo método tiene como propósito incorporar una corrección al uso de un deslizamiento uniforme de los escenarios. Por lo tanto, aumentar la magnitud se considera una forma de incluir esta incertidumbre epistémica. Además, para abordar las magnitudes intermedias, la implementación inicial consideró redondear hacia arriba la magnitud, a diferencia del sistema japonés que utiliza un método de interpolación de los resultados. Entonces, los escenarios ya filtrados espacialmente se seleccionan ahora por magnitud, seleccionando aquellos con una magnitud más cercana a  $M_{w,obs} + 0,5$  siguiendo a Mueller et al. (2015).

Una vez aplicados los filtros espaciales y de magnitud, el resultado es un conjunto de N escenarios candidatos (C), cuyos niveles de peligro  $HL_{FP,C}$ , en cada punto de pronóstico (FP) se rescatan. De estos, se selecciona el nivel máximo de peligro en cada punto de pronóstico como el peligro representativo ( $HL_{FP}$ ), es decir:

$$HL_{FP} = \max(HL_{FP,C}), \quad C = 1:N \tag{1}$$

Finalmente, la evaluación de la amenaza se hace a nivel de Bloque costero, que se basan en la división político-administrativa de Chile. SIPAT se subdividen las regiones en 21 bloques costeros, 17 de ellos son continentales y 4 de ellos corresponden a territorio insular y Antártico. En consecuencia, el nivel de amenaza para cada bloque costero ( $HL_B$ ) se determina como el mayor valor de amenaza de todos puntos de pronóstico (FP) que pertenecen a dicho bloque, es decir:

$$HL_B = \max(HL_{FP}, solo FP \text{ que pertenecen al bloque } B).$$
 (2)

#### Operación del sistema

Una novedad de diseño es que SIPAT es un software orientado a web basado en Arquitectura Orientada a Servicios (SOA, Service Oriented Architecture). **SIPAT** módulo tiene un aue consulta permanentemente el correo electrónico y la interfaz de programación de aplicaciones (API, Application Programming Interface) de los centros información oficiales (solo si esa herramienta está disponible). Cuando se detecta un sismo, la información se recopila y muestra automáticamente en el panel de detección (Figura 2a) mientras se crea simultáneamente el evento y se almacenan sus datos. Con el objetivo de minimizar errores inducidos por humanos al escribir o ingresar información a mano, el panel de detección contiene un módulo que reconoce el formato de correo electrónico proveniente de las distintas fuentes de información. Sin embargo, es probable que incluso para el mismo evento, la información del sismo como el tiempo de ocurrencia, la magnitud, la ubicación del hipocentro pueda diferir entre los centros sismológicos, debido a pueden

utilizar diferentes criterios. SIPAT agrupa la información para un mismo evento usando una ventana de tolerancia temporal y espacial, para el tiempo de ocurrencia del sismo y para la ubicación del hipocentro, respectivamente. El usuario verá toda la información desplegada del evento en una lista ordenada por magnitud, indicando el respectivo proveedor de la información sísmica. Este procedimiento se realiza permanentemente y para cada terremoto reportado, independientemente de la magnitud o ubicación en todo el mundo. Si se informa un terremoto con Mw> 7.0, SIPAT activa una alarma sonora para advertir a los operadores del SNAM. Si la magnitud difiere entre las fuentes de información, se utiliza el peor de los casos (mayor magnitud) y se resalta como señal visual. Luego, el operador evalúa el peligro utilizando solo información sísmica preliminar (magnitud y ubicación del hipocentro).

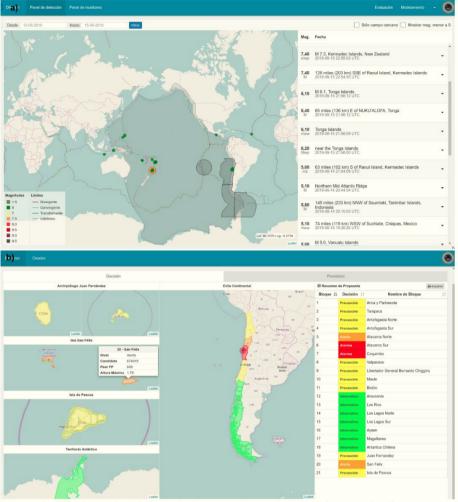


Figura 2. Ejemplo de paneles (dashboard) de SIPAT: a) panel de detección, que despliega en pantalla un mapa en tiempo real con la información sísmica recolectada. El área sombreada en gris oscuro delimita el área donde los sismos son considerados que generan tsunamis de campo cercano para Chile, b) panel de decisión: muestra el mapa con la evaluación de la amenaza para los 21 bloques costeros, los cuales son coloreados para su mejor comprensión. Figura adaptada de Catalán et al. (2020).

La evaluación del peligro sigue un árbol lógico. Primero se discrimina entre tsunamis de campo lejano y cercano en función de la ubicación del epicentro observado. Si el epicentro observado queda dentro del área sombreada mostrada en la Figura 2a, indica que es campo cercano, de lo contrario es campo lejano. Esta delimitación es definida por SHOA, y la extensión abarca generalmente 200 km desde cualquier punto a lo largo de la costa chilena. Para eventos de campo lejano, SNAM utiliza la información provista por el PTWC, considerada como la fuente oficial. SIPAT homologa la evaluación de peligro de PTWC, y entrega la evaluación del peligro para los 21 bloques costeros.

Para el caso de eventos de campo cercano, se pueden utilizar dos metodologías para evaluar el peligro: i) el

método de máximo riesgo, ii) un método basado en distancia desde la fuente, denominado método de evaluación por radios. El método de máximo riesgo, explicado anteriormente, supone que el terremoto es tsunamigénico y consulta la base de datos de escenarios precalculados. El método de evaluación por radios se utiliza cuando el evento es de campo cercano, pero se ubica fuera de la zona tsunamigénica (por ejemplo, en tierra adentro) o cuando la búsqueda usando el método de máximo riesgo no encuentra escenarios candidatos. En este caso, el peligro se evalúa utilizando como referencia la magnitud del sismo y la distancia desde sitio de interés al epicentro. Aunque los métodos de campo lejano y de evaluación por radios son procedimientos heredados que se usaron antes de la implementación del SSD actual, se incorporan a SIPAT para permitir la evaluación de

amenaza para todos los casos posibles, y también en caso de una falla de software o hardware que afecte al máximo método de riesgo.

El panel de decisión muestra un mapa con la evaluación de la amenaza para los 21 bloques costeros, coloreados de acuerdo con la estimación del nivel de peligro (Figura 2b). Al mismo tiempo, se genera un boletín informativo que contiene la misma evaluación del peligro, pero en un texto que sigue un formato estandarizado. Opcionalmente, el operador puede generar otros tipos de boletines a medida que haya más información disponible o actualizada: hora estimada de arribo del tsunami, observaciones de tsunami (en caso de que haya registros en mareógrafos o boyas DART), cambios de estado, cancelación parcial o cancelación total. Todos estos

procesos no requieren intervención humana, excepto la activación de la evaluación de la amenaza.

Es esperable que mientras se lleva a cabo el proceso de evaluación y difusión, pueda estar llegando información actualizada sobre tsunamis y sismos. En este caso, la evaluación y difusión puede iterarse y actualizarse, y esta información se va almacenando y anidando para el mismo evento. El usuario puede acceder al evento y revisar las evaluaciones anteriores en la misma interfaz web.

El proceso de evaluación finaliza cuando se decreta estado de cancelación para los 21 bloques, que se determina utilizando como referencia que tres ondas consecutivas de tsunami no superan los 30 centímetros de amplitud. Una vez que se decreta la cancelación total, el evento se cierra y se puede crear un nuevo evento.

### **DISCUSION**

### Pruebas y estado actual del sistema

SIPAT entró en operación en el SNAM en mayo de 2016 v fue utilizado oficialmente por primera vez para el Terremoto de Melinka (Mw7,6) ocurrido el 25 de diciembre de 2016, y los resultados fueron exitosos. En la Figura 3 se muestra la evaluación de amenaza realizada por SIPAT (bloques costeros coloreados) y en contraste se muestran las amplitudes máximas de tsunami observadas las estaciones del nivel del mar (círculos coloreados). Se puede apreciar que existe una pequeña tendencia a sobreestimar la amenaza. Por ejemplo, en la Estación de Castro se registró una amplitud máxima de tsunami de 0.46 metros (equivalente a estado de Precaución), pero en las estaciones circundantes los registros no superaron los 0,3 metros (equivalente a estado Informativo). SIPAT arrojó solamente un estado de Alerta para el bloque Nu. 15 y estados de Precaución para cuatro bloques.

La Figura 3b muestra la estimación de la población costera que se encuentra en zona de amenaza para cada bloque costero. Como resultado de la evaluación con SIPAT, se puede estimar que se requería evacuar cerca de 76.000 personas, aunque los reportes estimaron que casi 15.000 personas realmente lo hicieron. Sin embargo, la evaluación sectorizada de SIPAT evitó la evacuación innecesaria de los restantes 16 bloques, beneficiando a aproximadamente 985.000 personas ubicadas en zona

delimitada como área amenaza por tsunami. El evento anterior al de Melinka fue el terremoto y tsunami de Illapel en el año 2015 (Mw8.3). Si bien, este evento tuvo una mayor magnitud y ocasionó daños más graves, provocó la evacuación de casi un millón de personas a lo largo del país.

SIPAT entregó la evaluación en solo 18 segundos para Melinka. Esto permitió realizar múltiples comprobaciones y evaluaciones dentro de la ventana de 5 minutos establecidas por protocolo.

Antes de que SIPAT entrara en operación, se sometió a pruebas exhaustivas y revisión, utilizando como datos de referencia recopilados durante terremotos y tsunamis anteriores, como Maule 2010, Pisagua 2014 e Illapel 2015 (Fritz et al., 2011; Catalán et al., 2015; Aránguiz et al. 2016). En la Figura 4 se hace una comparación entre las amplitudes máximas de tsunamis observados en las estaciones de nivel del mar existentes (círculos coloreados) y la evaluación del peligro que hubiese resultado de una evaluación con SIPAT (bloques coloreados). Se puede ver que en general existe una ligera tendencia a sobreestimar el nivel de peligro, que se vuelve más significativo para eventos de mayor magnitud. Si bien este paso se considera conservador, se espera que ningún área haya sufrido una subestimación del peligro.

#### CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado la historia, justificación e implementación del sistema de soporte de decisiones para la evaluación de la amenaza de tsunami para la fase de alerta temprana para Chile. El diseño del sistema se basa en la experiencia japonesa, pero se amplía mediante la implementación de una arquitectura de software y hardware que es modular y flexible. Esto permite ampliar sus capacidades sin afectar el rendimiento y a bajo costo.

El sistema funciona bajo la premisa de que en Chile la alerta temprana puede estar sujeta a imprecisiones de los datos y falta de información durante los primeros minutos de una emergencia. En consecuencia, el sistema sacrifica cierto grado de precisión a cambio de mayor rendimiento y robustez. Si bien los resultados de la evaluación tienden a sobreestimar el peligro, esto se considera una consecuencia deseada en el contexto de salvar vidas.

La modularidad del sistema permite implementar nuevas capacidades. Como trabajo futuro se explorará la expansión hacia el modelado en tiempo cercano al real de la propagación e inundación de tsunamis, para refinar aún más la primera evaluación proporcionada por los escenarios precalculados.

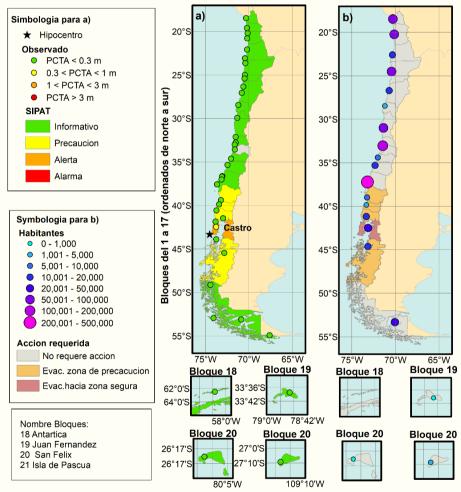


Figura 3. Resultados de la primera aplicación oficial de SIPAT ante el terremoto de Melinka (Mw7.6) el 25 de diciembre de 2016. a) los bloques coloreados muestran la evaluación de la amenaza de tsunami arrojada por SIPAT y los círculos coloreados muestran los niveles de amenaza real registradas en las estaciones del nivel del mar. La estrella negra indica la ubicación del epicentro del terremoto. PCTA se refiere a la amplitud máxima de tsunami en la costa, b) bloques coloreados indican la acción requerida para evacuación según los estados evaluados por SIPAT en a), los círculos coloreados indican la población estimada de las comunas costeras que se encuentran en zonas de amenaza por tsunami, agrupadas por bloque. Figura adaptada de Catalán et al. (2020).

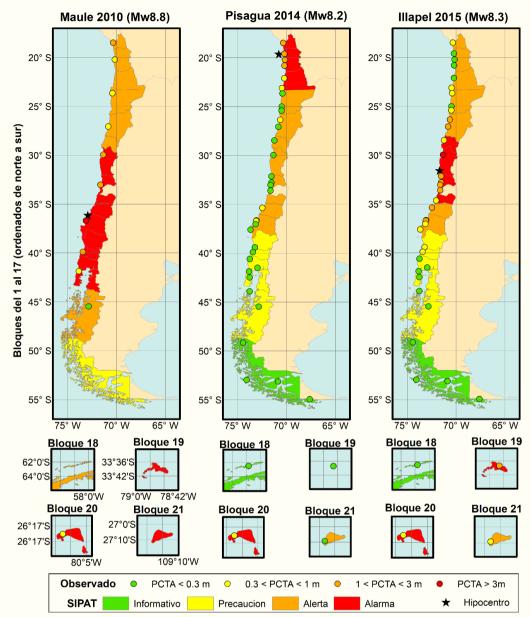


Figura 4. Testeo de SIPAT para terremotos y tsunamis que ocurrieron antes de su entrada en operación. Los bloques coloreados muestran la evaluación de la amenaza de tsunami generada por SIPAT, y los círculos coloreados muestran el nivel de amenaza obtenido a partir de la amplitud máxima de tsunami registrada en las estaciones de nivel del mar. La estrella indica los epicentros estimados para los terremotos de a) Maule 2010 (Mw8.8); b) Pisagua 2014 (Mw8.2), c) Illapel 2015 (Mw8.3). La diferencia en la cantidad de estaciones de nivel del mar (círculos) se debe a que la red de sensores se fue incrementando en los últimos años. Figura adaptada de Catalán et al. (2020).

#### **AGRADECIMIENTOS**

Esta investigación fue desarrollada bajo el marco del proyecto entre Chile y Japón denominado "Research Project on Enhancement of Technology to Develop Tsunami Resilient Community", patrocinado por el programa SATREPS de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y continuó su desarrollo con el patrocinio de Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT), el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), Universidad Técnica Federico Santa María y Pontificia Universidad

Católica de Chile. Fue financiada por CONICYT mediante los proyectos FONDEF/D11I1119, FONDEF IT15I10001, FONDEF ID19I10048 y con el apoyo del proyecto FONDAP 15110017 (CIGIDEN) y PIA/Basal FB0821(CCTVAL). Este artículo es derivado en parte del artículo publicado en la revista COASTAL ENGINEERING JOURNAL, publicado en febrero de 2020, disponible de manera online en:

https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21664 250.2020.1727402

#### REFERENCIAS

Aranguiz, R.; Catálan, P. A.; Cecioni, C.; Bellotti, G.; Henriquez, P. & González, J. (2019), 'Tsunami resonance and spatial pattern of natural oscillation modes with multiple resonators', *Journal of Geophysical Research: Oceans*, in press.

Catalán, PA, Aránguiz, R, González, G, Tomita, T, Cienfuegos, R, González, J, Shrivastava, MN, Kumagai, K, Mokrani, C, Cortés, P, and Gubler, A. (2015). "The 1 April 2014 Pisagua tsunami: Observations and modeling". *Geophys. Res. Lett.*, 42(8), 2918–2925. doi:10.1002/2015GL063333.

Catalán, P.A., Gubler, A., Cañas, J., Zuñiga, C., Zelaya, C., Pizarro, L., Valdes, C., Mena, R., Toledo, E., & Cienfuegos, R. (2020). "Design and operational implementation of the integrated tsunami forecast and warning system in Chile (SIPAT)", *Coastal Engineering Journal*, DOI: 10.1080/21664250.2020.1727402

Fritz, H.; Petroff, C., Catalán, P. A., Cienfuegos, R., Winckler, P., Kalligeris, N., Weiss, R., Barrientos, S., Meneses, G., Valderas-Bermejo, C., Ebeling, C., Papadopoulos, A., Contreras, M., Almar, R., Dominguez, J. and Synolakis, C. (2011). "Field Survey of the 27 February 2010 Chile Tsunami". *Pure and Applied Geophysics* 168, 1989-2010.

Kamigaichi, O. (2009). "Tsunami forecasting and warning". *Encyclopedia of Complexity and System Science*, pp. 9592-9617, Springer. doi: 10.1007978-0-387-30440-3 568

Mueller, C.; Power, W.; Fraser, S. & Wang, X. (2015), 'Effects of rupture complexity on local tsunami inundation: Implications for probabilistic tsunami hazard assessment by example', *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 120(1), 488--502.

Okada, Y. (1985). "Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space". *Bulletin of the seismological society of America* 75(4), 1135--1154.

Papazachos, B., Scordilis, E., Panagiotopoulos, D., Papazachos, C. and Karakaisis, G. (2004). "Global relations between seismic fault parameters and moment magnitude of earthquakes". *Bull. Geol. Soc. Greece*, 36, 1482-1489.

ONEMI (2016) Protocolo ONEMI-SHOA para evento de tsunami en las costas de Chile, Versión IV, Ministerio del Interior y Seguridad Pública de Chile, in Spanish.

Wang, X. (2009). "User manual for COMCOT version 1.7, first draft". Cornell Univ., 59 pp.

# INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

# **Empresas Socias**

AGUAS ANDINAS S.A.

AGUAS NUEVAS S.A.

ALSTOM CHILE S.A.

ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.

ANTOFAGASTA MINERALS S.A.

ARCADIS CHILE S.A.

ASOCIACIÓN DE CANALISTAS SOCIEDAD DEL CANAL DE MAIPO

BESALCO S.A.

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.

MINERA ESCONDIDA LTDA.

SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A.

SUEZ MEDIOAMBIENTE CHILE S.A.

# EMPRESAS DE INGENIERÍA COLABORADORAS

ACTIC CONSULTORES LTDA.

IEC INGENIERÍA S.A.

JRI INGENIERÍA S.A.

LEN Y ASOCIADOS INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

SYNEX INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

ZAÑARTU INGENIEROS CONSULTORES LTDA.



Porque detrás de cada producto o servicio existe un valor diferente. Uno que puede cambiar el mundo en base a la consciencia y sustentabilidad.



"No es solo un Banco, es un partner que además te prepara para enfretar todo tipo de desafíos"

Felipe Arrigorriaga - Cliente Bci - Zapatillas Kruza





Más información en bci.cl/empresarios/valorpyme









